



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

N° d'enregistrement

Université de Ghardaïa

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم الآلية والكهر وميكانيك

Département de Automatique et électromécanique

Memoire

Pour l'obtention du diplôme de master

Domaine: Sciences et de la Technologie

Filière: Energie renouvelable

Spécialité: Energie renouvelable en Electrotechnique

Theme

**Etude Numérique Des Performances Thermique d'un
Panneau Solaire Plan à air Muni des Chicanes**

Soutenue publiquement le...../...../.....

Par

DJILALI Khaled & ELFATMI Abdelouahed

Devant le jury composé de:

AISSAOUI Faris

MCB

Univ. Ghardaïa

Encadreur

BOUCHELGA Fatma

MCB

Univ. Ghardaïa

Examineur

LALMI Djemoui

MCB

Univ. Ghardaïa

Examineur

Année universitaire 2020/2021



Dédicaces

*Grâce à Dieu tout puissant, je dédie
ce modeste travail à tout les personnes qui
m'ont aidé de près ou de loin*

*A mes très chers parents, tout mon respect et affection
en de leur soutien, sacrifice, patience, ainsi que pour leurs conseils
et orientations dans ma vie.*

➤ *A ma chère mère et mon père*

A mes très sœurs chers,

➤ *A toute ma famille. Et a tout mes amis.*

➤ *A tout mes enseignants.*

➤ *A tous ceux qui me sont chers*

DJILALI khaled

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail : À mes parents,
avec toute ma reconnaissance et ma gratitude
pour leurs sacrifices.*

- *À toutes ma famille*
- *À tous mes enseignants chacun avec son nom*
- *À tous mes amis*
- *Mon binôme DJILALI khaled .*

ELFATMI Abdelouahed

Remerciement

- *Je dois tout d'abord remercier ALLAH, pour m'avoir donné la santé et la force pour accomplir ce travail.*
- *Nous voulons exprimer notre gratitude à notre encadreur Mr. AISSAOUI FARIS pour avoir proposé et diriger ce travail. Son soutien, sa disponibilité et ses précieux conseils tout au long de cette recherche.*
- *Nous tenons à remercier tous nos enseignants qui nous ont assuré tout notre cursus, ainsi que les responsables de l'administration de la Faculté des Sciences et des technologies de l'Université de Ghardaïa.*
- *Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail en acceptant de l'examiner et de l'enrichir par leurs propositions.*
- *Enfin nos remerciements vont également à toutes les personnes qui ont, de près ou de loin, apporté aide .*

دراسة عددية للأداء الحراري للوحة شمسية ذات هواء مسطح مع حواجز

الملخص :

يهدف عملنا في مجال الطاقة المتجددة إلى دراسة عددية لعمل الألواح الشمسية الحرارية الهوائية مع وجود حواجز في هذا العمل من المذكرة يتكون من دراسة المحاكاة العددية للأداء الحراري لألواح شمسية مجهزة بحواجز ذات شكل مسطح (لواقط شمسية مسطحة) .

وقد أجريت البحوث على مجمعات الطاقة الشمسية حول التحويل الحراري للطاقة الشمسية و مبدأ التشغيل و مكوناته وأنواعه وكذا تصنيفها وتطبيقاتها على سبيل المثال التجفيف والحديث عن طرق حساب النتائج بالمعادلات والكفاءة الحرارية ومحاكاته .

وأنشئت معادلات موازين الطاقة على المكونات المختلفة للاقط الشمسي الهوائي (الزجاج، اللوحة الماصة، الهواء الحامل للحرارة واللوحة السفلية) . تم حل أنظمة المعادلة بواسطة طريقة الاختلافات المحدودة لحساب درجات الحرارة على مستوى كل عنصر استشعار.

والحديث عن النتائج ومناقشتها .

كلمات مفتاحية: مسطح، حواجز، التبادل الحراري، شمسي هوائي، نمذجة رياضية، محاكاة عددية.

Etude Numérique Des Performances Thermique d'un Panneau Solaire Plan à air muni Des Chicane

Notre travail dans le domaine des énergies renouvelables vise à une étude numérique du travail des panneaux solaires thermiques éoliens à barrières dans ce travail de la note consiste en une simulation numérique des performances thermiques des panneaux solaires). Des recherches ont été menées sur les capteurs solaires sur la conversion thermique de l'énergie solaire, le principe de fonctionnement, ses composants et types, ainsi que sa classification et ses applications, par exemple le séchage, et sur les méthodes de calcul des résultats avec des équations et l'efficacité thermique et le simuler.

Des équations de bilans énergétiques ont été établies sur les différents composants de l'antenne solaire (verre, plaque absorbante, air caloporteur et plaque de fond). Les systèmes d'équations sont résolus par la méthode des différences finies pour le calcul des températures au niveau de chaque élément sensible.

Parler et discuter des résultats.

Mots clés : panneau solaire, transfert thermique, air, modélisation mathématique, simulation numérique.

Numerical Study of the Thermal Performance of a Flat Air Solar Panel with Baffles

Our work in the field of renewable energy aims at a numerical study of the work of solar thermal wind panels with barriers in this work of the note consists of a numerical simulation of the thermal performance of solar panels equipped with barriers of flat shape (flat solar collectors). Research has been conducted on solar collectors on the thermal conversion of solar energy, the principle of operation, its components and types, as well as its classification and applications, for example drying, and talking about methods for calculating results with equations and thermal efficiency and simulating it. Equations of energy balances were established on the different components of the solar antenna (glass, absorbent plate, heat-carrying air and bottom plate). Equation systems are solved by the finite differences method for calculating temperatures at the level of each sensing element.

Talking and discussing the results.

Keywords: flat, barriers, heat exchange, solar-air, mathematical modeling, numerical simulation .

SOMMAIRE

Dédicaces	II
Remerciement	IV
Résumé	V
الملخص	VI
Abstract	VII
SOMMAIRE	VIII
Liste des figures et des tableaux	XI
Nomenclature	XVI
Introduction générale	1
Références	5

CHAPITRE I : Etude Bibliographique

I.1. Introduction	7
I.2. Recherches réalisées sur les capteurs solaires	7
I.3 CONCLUSION	19

CHAPITRE II : Généralités sur les capteurs solaires

II.1. Introduction	21
II.2. Historique des captures solaires	21
II.3. Conversion thermique de l'énergie solaire :	22
II.4. Principe de fonctionnement.....	22
II.5. Éléments constituants du capteur solaire	23
II.5.1. Absorbeur	23
II.5.2. Couverture transparente	24
II.5.3. L'isolant	26
II.5.4. -Fluide caloporteur	26

II.5.5. Le coffre	26
II.6. Types de capteurs solaires.....	27
II.6.1. Capturs plans non vitrés.....	27
II.6.2. Capturs plans vitrés	28
II.6.3. Les capteurs sous vide.....	29
II.7. Les différents modes de transferts thermiques dans un capteur solaire	30
II.7.1 La conduction.....	30
II.7.2 La convection	31
II.7.3. Le rayonnement.....	32
II.8. Classification des capteurs	32
II.8.1. Le fluide de travail utilisé	32
II.8.2. L'orientation des capteurs	32
II.8.2.1. Des capteurs fixes	33
II.8.2.2. Des capteurs à poursuite.....	33
II.9. Applications des capteurs solaires plans à air	33
II.9.1. Chauffages et climatisation des habitations	33
II.9.2. Séchage	34
II.9.3. Production de l'énergie mécanique.....	35

CHAPITRE III : Modélisation et simulation numérique

III.1. Introduction.....	37
III.2. Modélisation des échanges thermiques dans le Capteur Solaire Plan à air	37
III.3. méthode de modélisation	37
III.4. Les Bilans énergétiques au niveau dans chaque composant d'un capteur plan vitré et non vitré	39
III.4.1. capteur solaire à air sans vitre [19]	39
III.4.1.1. Bilan énergétique au niveau du vitrage [19].....	39
III.4.1.2. Bilan énergétique à travers l'absorbeur [19].....	40
III.4.1.3. Bilan énergétique du fluide [19]	40

III.4.1.4. Bilan énergétique de la plaque inférieure [19].....	40
III.5. Méthode de resolution	40
III.6. Modélisation des coefficients d'échange thermique [21]	41
III.6.1. Transfert radiatif	42
III.6.1.1. Transfert radiatif entre la vitre et la voûte céleste [19].....	42
III.6.1.2. Transfert radiatif entre la vitre et l'absorbeur [19]	43
III.6.1.3. Transfert radiatif entre l'absorbeur et la plaque inférieure placée sur l'isolant [19]	43
III.6.2. Transfert convective [19].....	43
III.6.2.1. Transfert convectif dû au vent [19].....	43
III.6.2.2. Transferts convectifs dans le capteur [19]	43
III.7. Les pertes thermiques	44
III.7.1. Pertes à l'arrière	44
III.7.2. Pertes à l'avant.....	45
III.8. Rendement thermique et l'énergie utile (récupérée par le fluide caloporteur)	45
III.9. Puissance absorbée [19].....	45
III.10. Simulation.....	46
 CHAPITRE IV : Résultats et discussions	
IV.1. Introduction	49
IV.2. Validation des resultants dans un capteur solaire sans vitre.....	49
IV.3. Validation des resultants dans un capteur solaire avec vitre	52
IV. 4. Etude paramétrique.....	53
IV. 5 CONCLUSION	55
Conclusion Générale.....	56
Référence	57



**Liste des figures
et des tableaux**

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1 : Disposition des obstacles DCL.....	8
Figure I.2 : Disposition des obstacles OCL	8
Figure I.3 : Capteur muni d'obstacles TL	8
Figure I.4 : Capteur avec des chicanes rectangulaire sur la plaque inférieure en bois.....	09
Figure I.5 : Plaques rectangulaires minces orientées parallèlement à l'écoulement et soudées à la face inférieure de l'absorbeur.....	10
Figure I.6 : Les figures des six Modèles différents de capteurs solaires à air.....	11
Figure I.7 : Comparaison des rendements thermiques des modèles de capteurs étudiés.....	11
Figure I.8 : Comparaison des températures de moyennes de sorties de l'air des Modèles de capteurs étudiés.....	11
Figure I.9 : Les variations du rendement instantané en fonction de la température réduite	12
Figure I.10: Capteur plan à air muni de rugosités cylindriques.....	12
Figure I.11 : Différentes dispositions des rugosités cylindriques.....	13
Figure I.12 : Dispositif expérimental.....	13
Figure I.13 : Schéma descriptif des chicanes	14
Figure I.14 : Sections et photo du dispositif expérimental.....	15
Figure I.15 : Variation du rendement du capteur solaire en fonction du solaire et du temps.....	16
Figure I.16 : Effet du rayonnement solaire sur le rendement pour différentes vitesses de l'air.....	16

Figure I.17 : Evolution de la température de Plexiglas en fonction du temps de la journée pour différent angles d'inclinaison.....	17
Figure I.18 : Evolution de la température de sortie en journée pour différent angles d'inclinaison.....	18
Figure I.19 : Evolution de la température de sortie en fonction du temps de la journée pour différent angles d'inclinaison.....	18

Chapitre II

Figure II.1 : Composants d'un capteur solaire [10].....	23
Figure II.2 : type de verre pour les couvertures[13].....	25
Figure II.3 : Vu d'un capteur solaire non vitré.....	27
Figure II.4 : Description d'un capteur solaire non vitré	28
Figure II.5 : Capteur plan vitré.....	28
Figure II.6 : Capteur sous vide	29
Figure II.7 : Capteur à tube sous vide.....	29
Figure II.8 : Les différents échanges thermiques dans un capteur solaire [10].....	30
Figure II.9 : Chauffages est climatisation des habitations.....	33
Figure II.10 : Séchage solaire [17].....	34

Chapitre III

Figure III.1 : Capteur avec vitre [19].....	38
Figure III.2 : Sans vitre [19].....	38

Figure III.3 : Capture sans vitre [19]	39
Figure III.4 : capteur avec vitre [19].....	39

Chapitre IV

Figure IV.1 : Variation de température de sortie de fluide le long du capteur solaire	50
Figure IV.2 : Variation de température de sortie de fluide le long du capteur solaire.....	51
Figure IV.3 : Variation des températures numériques et expérimentales le long du collecteur solaire, avec $Re = 38381,6$, $I_g = 900W / m^2$	51
Figure IV.4 : Variation du gisement solaire en fonction de temps après les travaux réalisés par Chabane et al [23].....	52
Figure IV.5 : Evolution de la température de l'air de sortie en fonction du temps pour un débit de $0.012Kg/s$	53
Figure IV.6 : Variation de la température de sortie du fluide en fonction du nombre de Nusselt pour des différentes longueurs de l'insolateur.....	53
Figure 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.....	54
Figure IV.8 : Variation de la température de sortie en fonction de la hauteur du canal.....	54
Figure IV.9 : Evolution de l'énergie utile en onction du débit massique.....	55



Liste des tableaux

CHAPITRE II

Tableau II.1 : Plage de température pour un capteur solaire plan [17].....22

Tableau II.2 : Caractéristique thermo-physiques de quelques matériaux métalliques [11].....23

CHAPITRE IV

Tableau IV.1 : Validation de la température du fluide de sortie49

Tableau IV.2 : Resultats de Gan [22]50

Nomenclature

<u>Symbole</u>	<u>Désignation</u>	<u>Unité</u>
E	Énergie	J
I_c	La constante solaire	w/m ²
δ	La déclinaison	Degré
n_j	Le numéro du jour dans l'année	-
ω	L'angle horaire	Degré
h	La hauteur du soleil	Degré
a	L'azimut solaire	Degré
TSV	Le temps solaire vrai	Heure
TSM	Le Temps Solaire Moyen	Heure
TU	Le Temps Universel	Heure
TL	Le Temps Légal	Heure
A_p	Surface du capteur	m ²
A_f	Section de passage de l'air	m ²
A_{chic}	Surface totale des chicane	m ²
$A_{chic b}$	Surface de la base des chicane	m ²
A_{ailet}	Surface totale des ailettes	m ²
$A_{ailet b}$	Surface de la base des ailettes	m ²

C_p	Capacité thermique	J/kgK
V_f	Vitesse de l'air	m/s
D_h	Diamètre hydraulique	m
d	Profondeur de canal	m
h_r	Coefficient de transfert de chaleur par rayonnement	W/m ² K
h	Coefficient de transfert par convection forcée	W/m ² K
h_{nc}	Coefficient de transfert de chaleur par convection naturelle	W/m ² K
I_g	Gisement global	W/m ²
H_{ailet}	Hauteur des ailettes	m
k_{ailet}	Conductivité thermique de l'ailette	W/m K
K_{ins}	Conductivité thermique de l'isolant	W/m K
L	Longueur du collecteur	m
L_{chic}	La distance entre les chicanes	m
\dot{m}	Débit massique	kg/s
w	Largeur du collecteur	m
W_{chic}	Largeur de la chicane	m
Q_u	Energie utile	w
Q_s	Energie stockée	w
t_{ailet}	Épaisseur des ailettes	m
U_L	Coefficient de perte thermique	W/m ² K
U_b	Coefficient de perte de chaleur de fond	W/m ² K

V_v	Vitesse du vent	m/s
<u>Symboles grecs</u>		
	<u>Définition</u>	<u>Unité</u>
α	Coefficient d'absorption	-
τ	Transmissivité de vitre	-
η	Efficacité	-
σ	Constante Stefan Boltzmann	W/m ² .K ⁴
ε	Emissivité	-
ρ_f	Densité de l'air	kg/m ³
K_f	Conductivité thermique de l'air	W/m.K
μ_f	Viscosité de l'air	kg/ms ²

Indices

Définition

f, f_i, f_s	Fluide, fluide initiale, fluide sortie
s	ciel
ailet	ailette
chic	chicane

Nombres adimensionnels

N_u	Nombre de Nusselt
Re	Nombre de Reynolds

Introduction Générale

Introduction Générale

L'exploitation des sources d'énergies renouvelables et essentiellement la conversion de l'énergie solaire a connu depuis les années 1970 un regain d'intérêt considérable suite à la crise énergétique. Ainsi, étant une source renouvelable et nationale, l'énergie solaire permet, d'une part de réduire la « dépendance énergétique » d'un pays. Etant une source peu polluante, elle permet d'éviter les atteintes à l'environnement occasionnées par le processus de production, de transport et de consommation des sources d'énergies conventionnelles d'autre part.

Aujourd'hui, le débat controversé sur l'utilisation de l'énergie solaire existe dans le monde entier et, sans aucun doute, beaucoup. De tentative est effectuée pour cette question. Les systèmes thermiques solaires le sont. Généralement reconnu comme l'une des méthodes les plus efficaces à exploiter. L'énergie solaire. Parmi ces systèmes, les chauffe-air solaires, connus sous le nom de. Échangeurs de chaleur simples qui convertissent l'énergie solaire en énergie thermique. Énergie, sont largement utilisés dans différentes applications telles que l'espace. Chauffage et séchage des cultures agricoles. En raison de défavorable. Propriétés thermo-physiques de l'air, le taux de transfert de chaleur entre. Plaque d'absorbeur et l'air libre est faible, ce qui se traduit par une énergie plus faible. Efficacité des chauffe-air solaires. D'où une performance différente. Des méthodes d'amélioration ont été suggérées pour améliorer le taux. Du transfert de chaleur entre la plaque d'absorbeur et l'air circulant. D'après. à la littérature, la performance des chauffe-air solaires peut être. Améliorée par l'utilisation de surfaces ondulées, en utilisant des surfaces artificielles la rugosité dans le conduit d'air, la fixation des ailettes et la fixation des ailettes et des déflecteurs, qui sont toutes des méthodes mentionnées, sont généralement présentées comme les techniques d'amélioration des performances les plus prometteuses. Cependant, ces stratégies, en plus d'augmenter le transfert de chaleur vers l'air, ce qui peut être considéré comme un résultat souhaitable, entraînent une augmentation indésirable de la chute de pression en raison de l'augmentation de la friction. Ainsi, la conception des chauffe-air solaires doit être menée avec soin afin d'obtenir un taux de transfert de chaleur élevé et de faibles pertes par frottement. Lin et al. A réalisé une étude paramétrique complète sur les performances thermiques de deux types de réchauffeurs d'air solaires à ondes croisées. Leurs résultats ont montré que l'utilisation de surfaces ondulées croisées permettait d'améliorer remarquablement l'efficacité thermique du chauffage par rapport à une simple plaque. Karim et Hawlader. A étudié la performance thermique des collecteurs solaires d'air v- ondulé et à ailettes. Ils ont conclu que le réchauffeur à air v-corrugué est le cas le plus efficace alors que le réchauffeur à air plat est le cas le moins efficace. Ils ont

Introduction Générale

également montré que le fonctionnement à double passage améliore l'efficacité du système et que cette amélioration est la plus importante dans le chauffage à plat et la moins importante dans le chauffage à v- ondulé. En termes d'emploi de rugosité artificielle, plusieurs rugosités[1].

L'utilisation de l'énergie solaire pour induire la ventilation a été pratiquée pendant des siècles. De nombreux exemples existent dans le monde entier, qui démontrent l'utilisation de l'énergie solaire pour produire l'effet de cheminée ventilation dans les bâtiments. La conception la plus commune du solaire cheminée pour la ventilation est avec un absorbeur vertical. Plus grande limitation de cette disposition est qu'en hiver, quand le soleil va vers le sud à une latitude relativement basse, vers le sud l'absorbeur vertical capture une bonne quantité de rayonnement solaire, mais pendant les jours d'été, le taux de ventilation diminue en raison d'une haute altitude du soleil. Incidence du rayonnement solaire une altitude plus élevée réduit l'incidence normale du rayonnement solaire sur la paroi de l'absorbeur vertical. Stratégiquement, dans les tropiques typiques conditions climatiques, la ventilation est plus importante en été mois par rapport aux mois d'hiver depuis qu'il aide à garder les bâtiments sont frais. Conceptuellement, les cheminées solaires inclinées sont similaires à cheminées solaires verticales. La seule différence est que l'absorbeur est incliné ou incliné à un angle approprié pour capturer le maximum rayonnement solaire possible. Avantage avec l'absorbeur vertical les cheminées, c'est qu'elles peuvent facilement être intégrées à la construction façades, tandis que les absorbeurs inclinés ne peuvent pas être facilement intégrés à n'importe quel niveau dans le bâtiment. Celles-ci sont normalement monté sur le toit, appelé aussi "Solaire du toit" Cheminées (RSC). Pour les étages inférieurs dans les bâtiments à plusieurs étages, la cheminée solaire ne peut être utilisée que comme structure projetant sur face sud[1].

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.

Introduction Générale

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) , on va appliquer les équations du bilan énergétique dans la vitre, l'air et l'absorbeur pour déterminer la température et le débit massique de l'air dans la cheminée solaire en fonction d'irradiation solaire et l'inclinaison.

Le présent travail comporte quatre chapitres, il est rédigé selon le plan suivant :

- Le premier chapitre est consacré à une étude générale sur les capteurs solaire et cheminée solaire.
- Une étude théorique sur le gisement solaire feront l'objet du deuxième chapitre.
- Dans le troisième chapitre, nous présenterons les différentes équations gouvernant le fonctionnement du système en régimes permanent ainsi qu'une simulation numérique du comportement du système.
- Les principaux résultats obtenus et leurs interprétations font l'objet du quatrième chapitre.

En fin, le travail est achevé par une conclusion générale faisant apparaitre l'intérêt du sujet et les perspectives recommandées.

Ce mémoire contient, certainement, des imprécisions et imperfections, des lacunes et éventuellement des erreurs. Nous accueillerons avec gratitude, toutes les appréciations, remarques, critiques et suggestions que les lecteurs voudront bien nous adresser, dans un esprit que nous souhaiterons constructifs.

Références

[1] K. Mohammadi , M. Sabzpooshani., Comprehensive performance evaluation and parametric studies of single pass solar air heater with fins and baffles attached over the absorber plate, *Energy* 57 (2013) 741-750.

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

A. 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].

B. 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].

C. A. Ahmed-Zaid 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.1), Fig.(I.2),et Fig.(I.3) ,les chicanes Delta Cintrées Longitudinalement (DCL), Ogivales Cintrées Longitudinalement (OCL) et ransversales-Longitudinales (TL) Après analyse des résultats, le capteur muni d'obstacles TL paraît le meilleur[3].



Figure I.1 : Disposition des obstacles DCL [3]

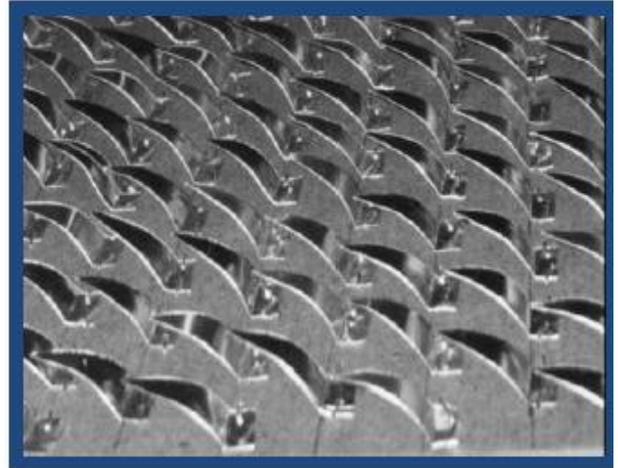


Figure I.2 : Disposition des obstacles OCL [3]

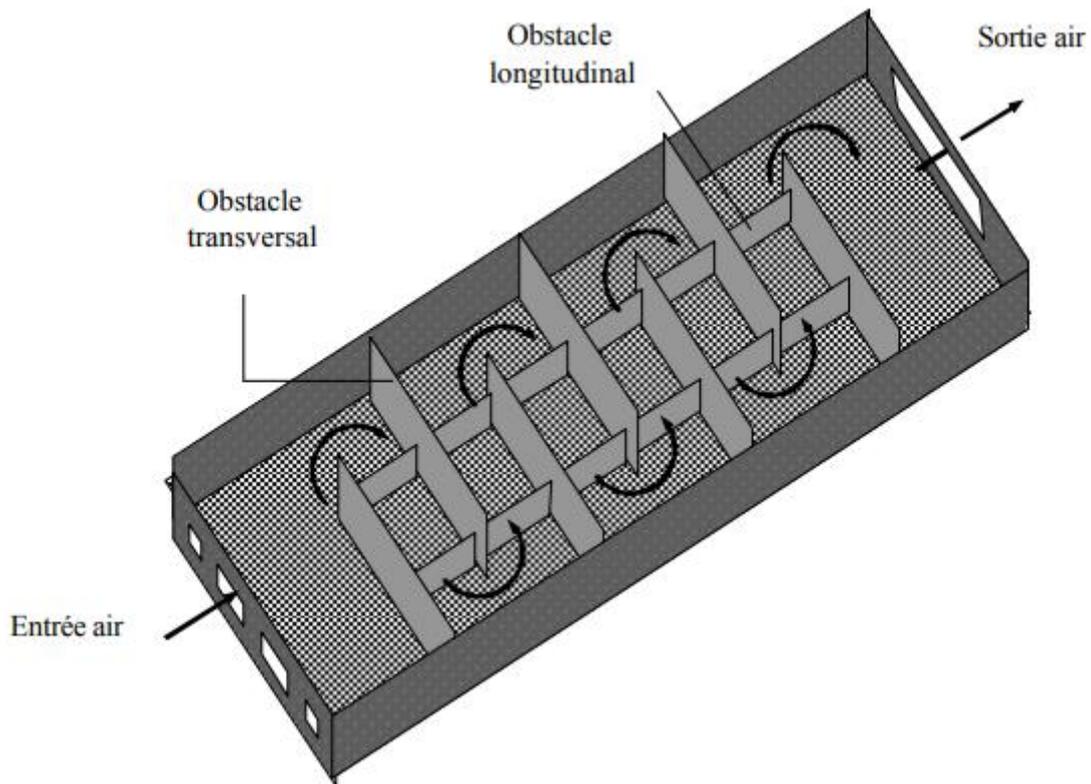


Figure I.3 :Capteur muni d'obstacles TL [3]

D. Moumni et al(2004) [4] 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.4)

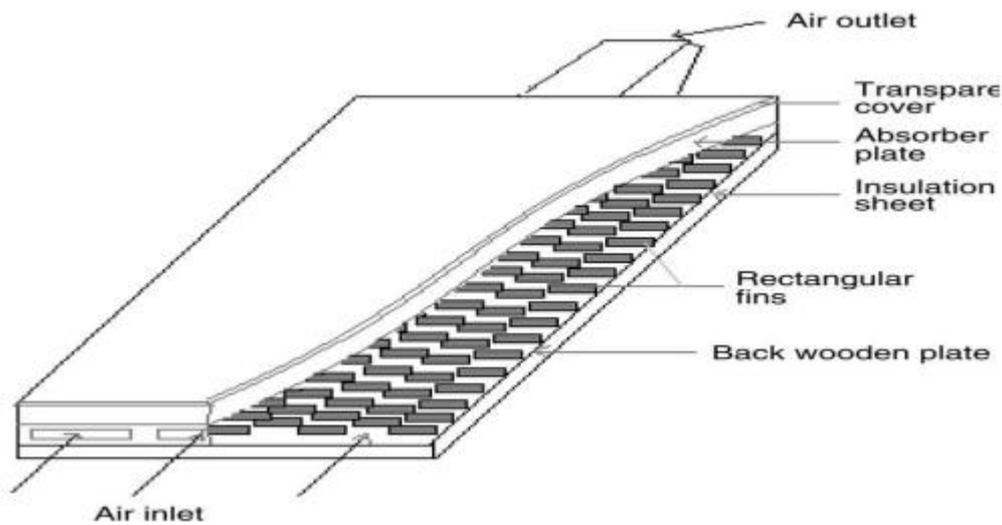


Figure I.4 : Capteur avec des chicane rectangulaire sur la plaque inférieure en bois [4]

Par comparaison de ce type de capteurs avec un autre sans obstacles, utilisant deux types d'absorbent, sélectif et non sélectif, l'auteur a trouvé que la sélectivité de l'absorbent 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'absorbent et de la nature de l'écoulement.

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'absorbent [5].

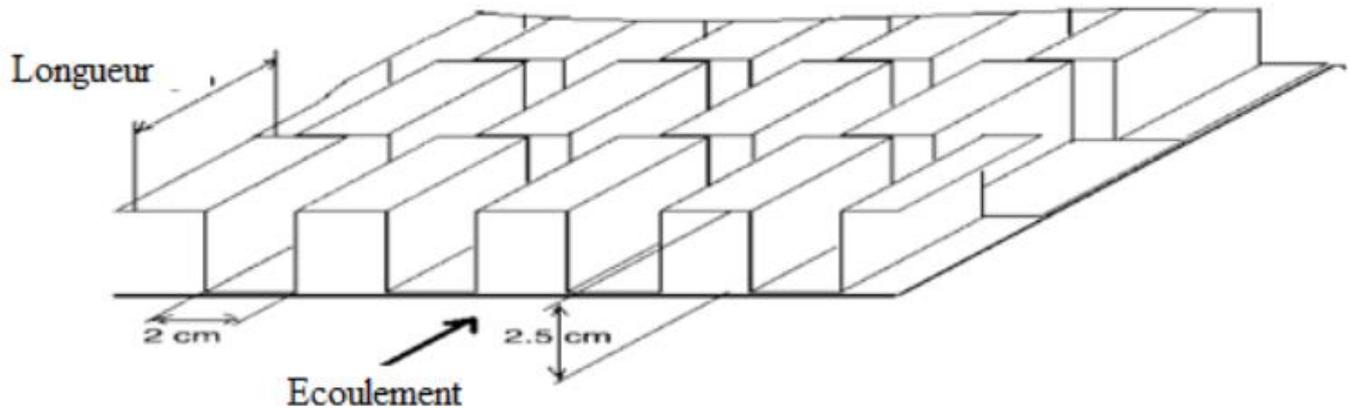


Figure I.5 : Plaques rectangulaires minces orientées parallèlement à l'écoulement et soudées à la face inférieure de l'absorbeur [5]

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 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].

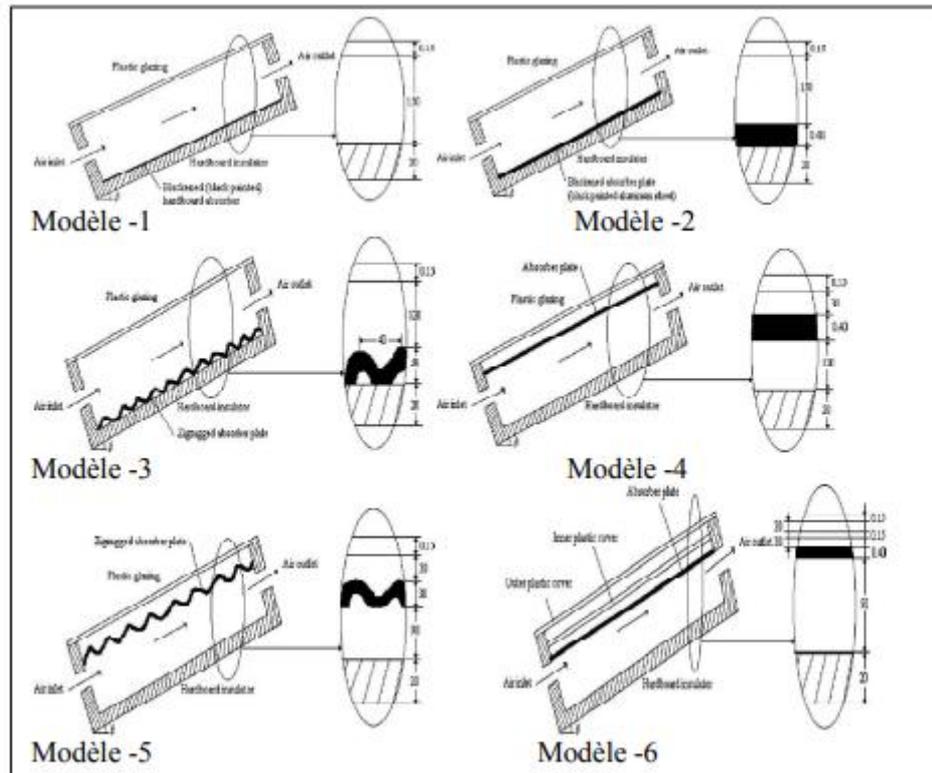


Figure I.6 : Les figures des six Modèles différents de capteurs solaires à air [6]

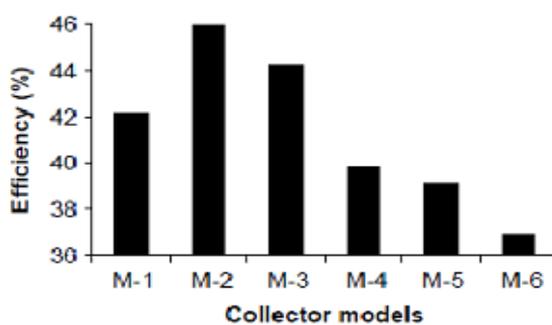


Figure I.7 : Comparaison des rendements thermiques des modèles de capteurs étudiés[6]

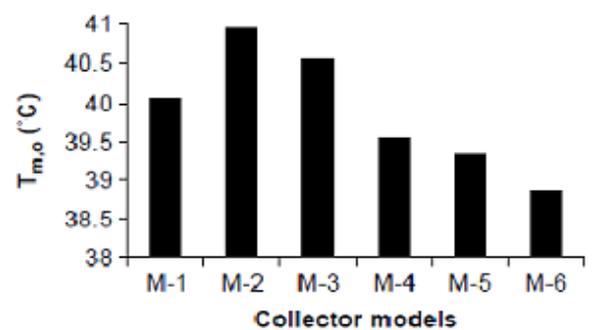


Figure I.8 : Comparaison des températures de moyennes de sorties de l'air des Modèles de capteurs étudiés [6]

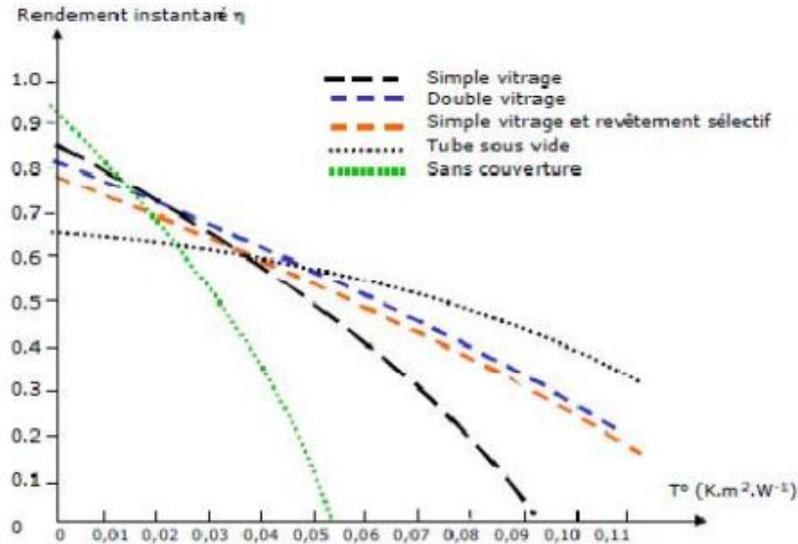


Figure. (I-9) : Les variations du rendement instantané en fonction de la température réduite

E. 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 [7]. fig. (I.6)

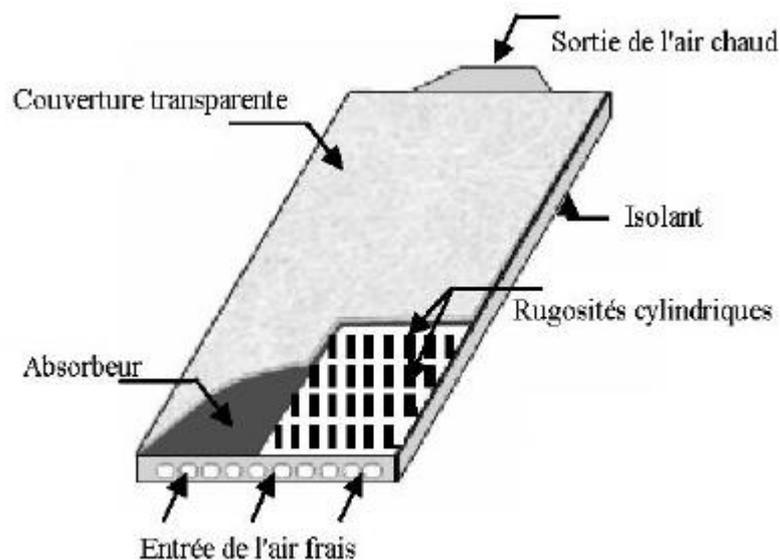


Figure I.10 : Capteur plan à air muni de rugosités cylindriques[7]

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

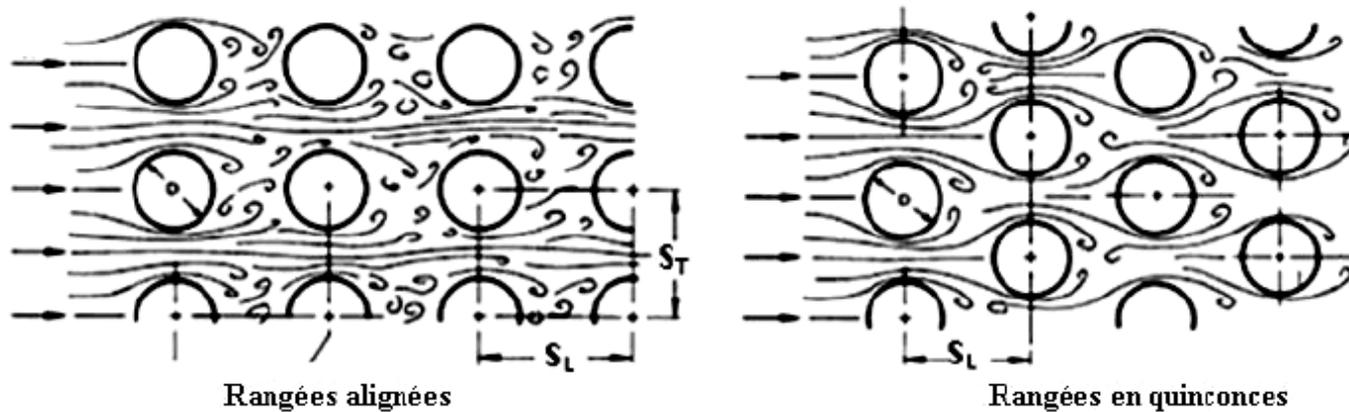


Figure I.11: Différentes dispositions des rugosités cylindriques [7]

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

E. 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.

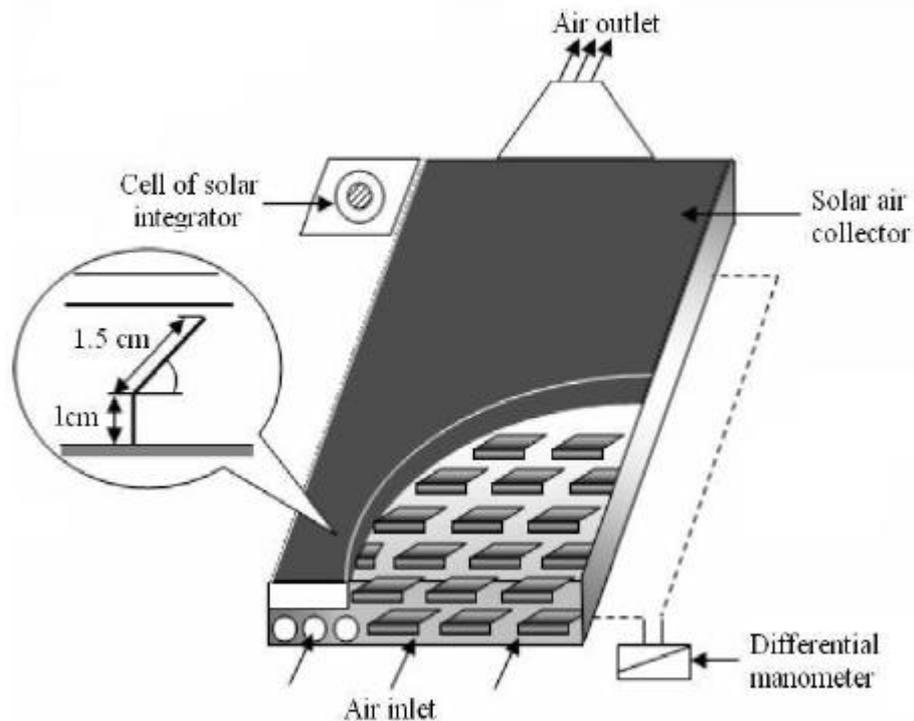


Figure I.12 : Dispositif expérimental

La veine d'air dynamique du capteur est de 25mm de hauteur, comprise entre la plaque absorbante et une plaque en acier galvanisé placée sur l'isolant, cette veine est équipée de rangées d'obstacles métalliques minces soudées perpendiculairement à l'écoulement de l'air sur la plaque inférieure. Ces obstacles présentent une différence dans la forme résidant dans la partie inclinée d'angle 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 rangés respectivement égale à 152 et 256 chicanes (figure I-12).

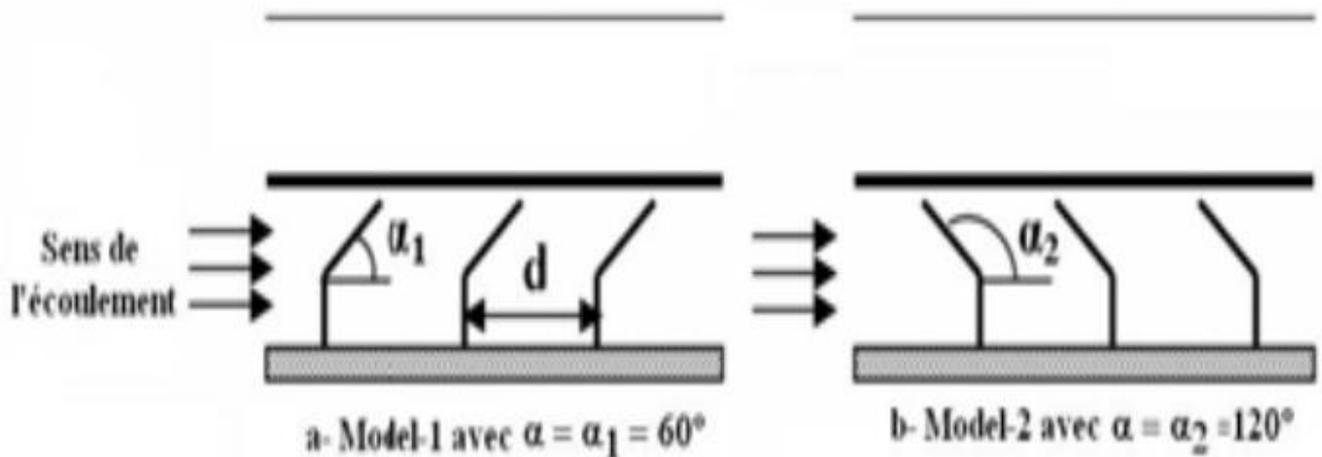


Figure I.13 : Schéma descriptif des chicanes

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].

G. 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.14). 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 $m = 0,015$ kg / s. Cette différence atteint une valeur de 15,93% pour une intensité solaire de 285 W / m². [5].

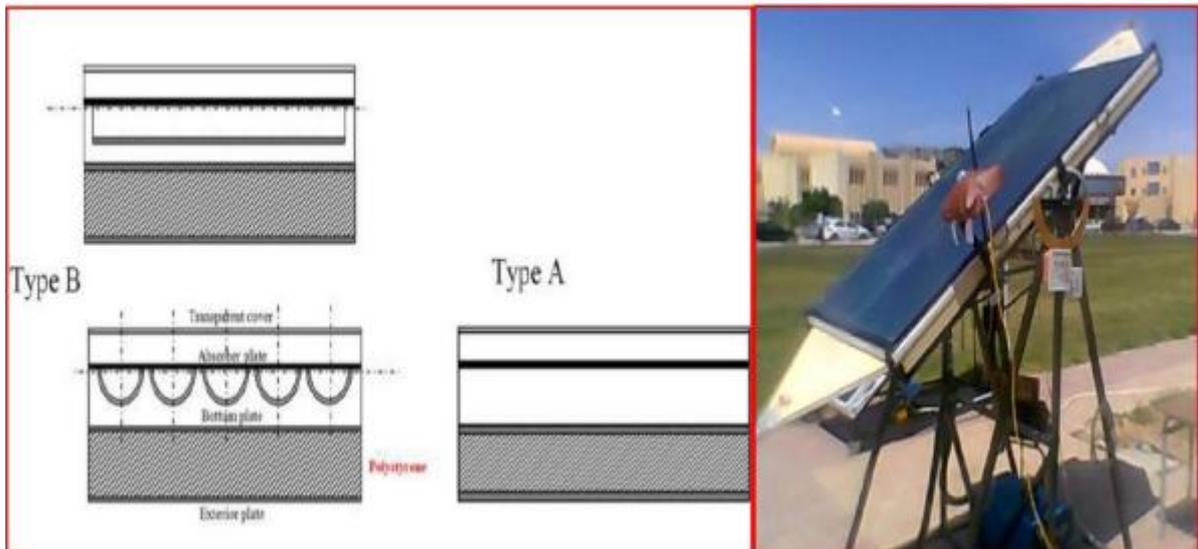


Figure I.14 : Sections et photo du dispositif expérimental [5]

H. 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].

I. 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 capteure solaire varient entre 26.61 et 46.32% avec une moyenne de 32.32%, alors qu'en ventilation forcée, elles varient entre 33.45 et 66.56% avec une moyenne de 51.33% **Fig.(I.14).**

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/m²
Fig.(I.15) [18].

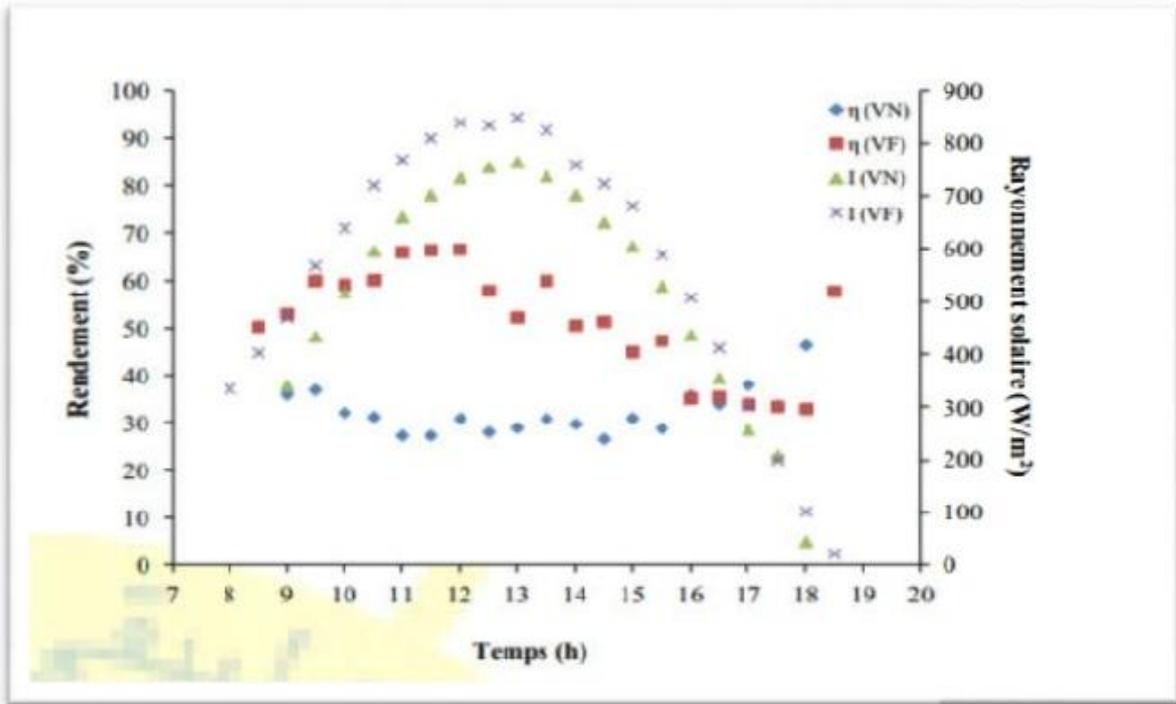


Figure I.15 : Variation du rendement du capteur solaire en fonction du solaire et du temps[18]

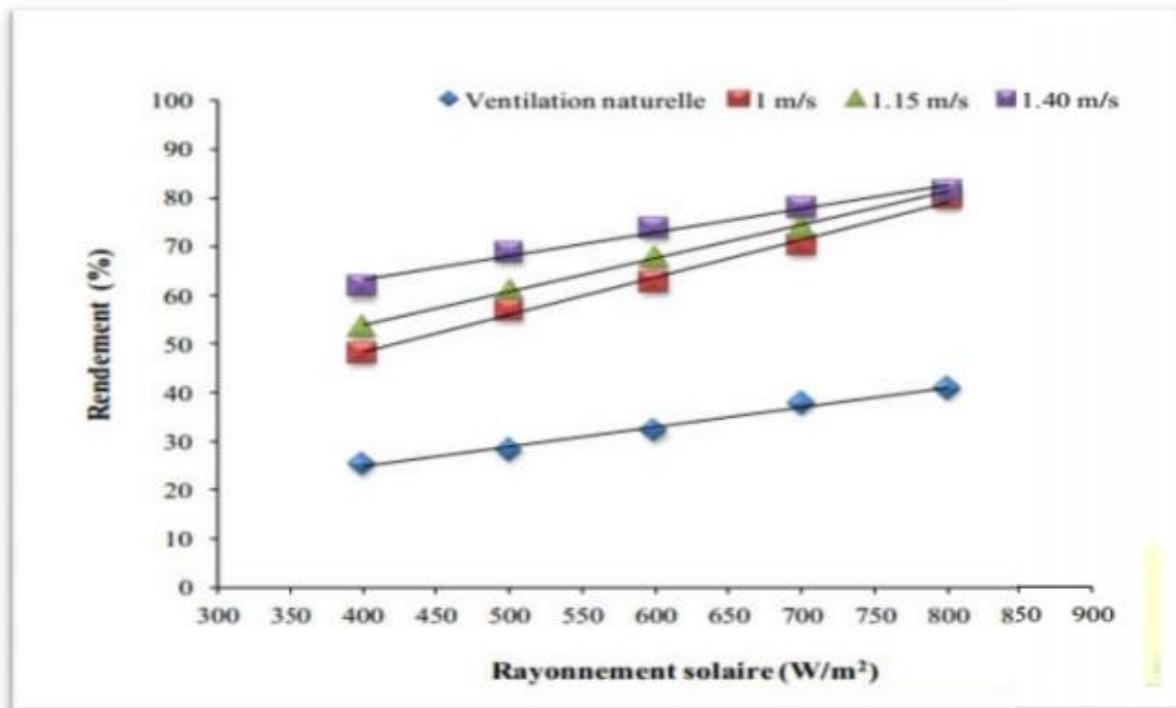


Figure I.16 : Effet du rayonnement solaire sur le rendement pour différentes vitesses de l'air[18]

J. 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 (m³/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-7). 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-8) [8].

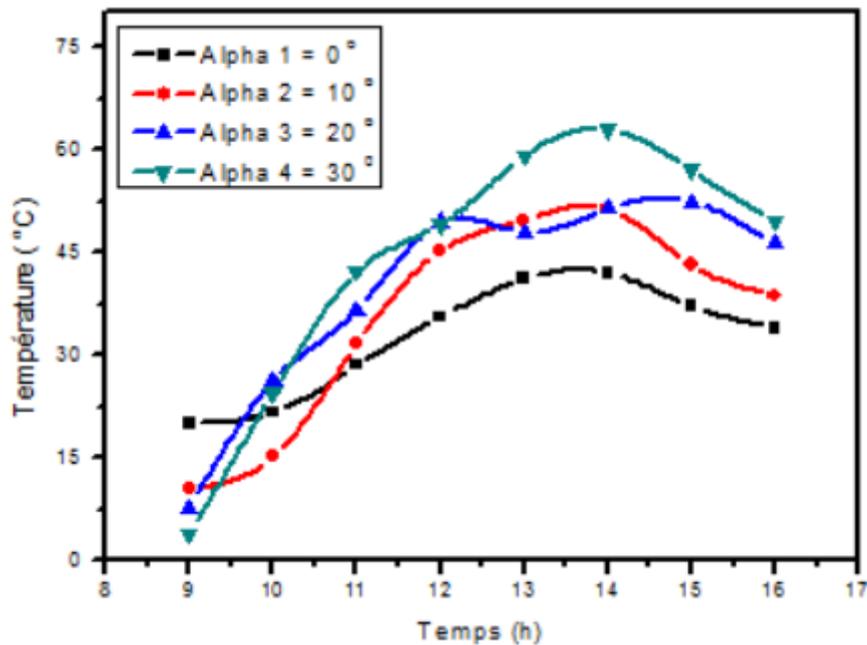


Figure I.17 : Evolution de la température de Plexiglas en fonction du temps de la journée pour différent angles d'inclinaison[8]

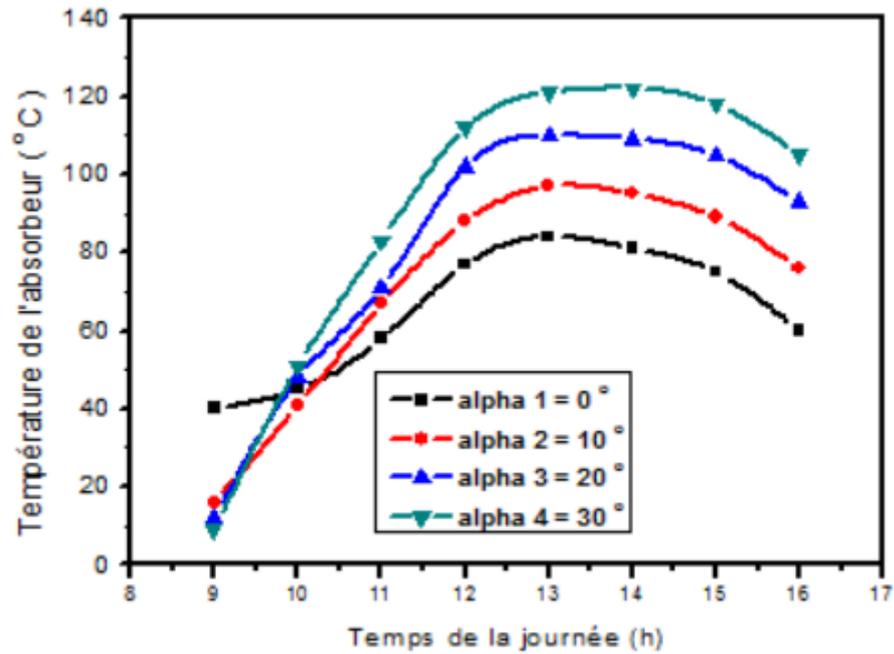


Figure I.18 : Evolution de la température de sortie en journée pour différent angles d'inclinaison [8]

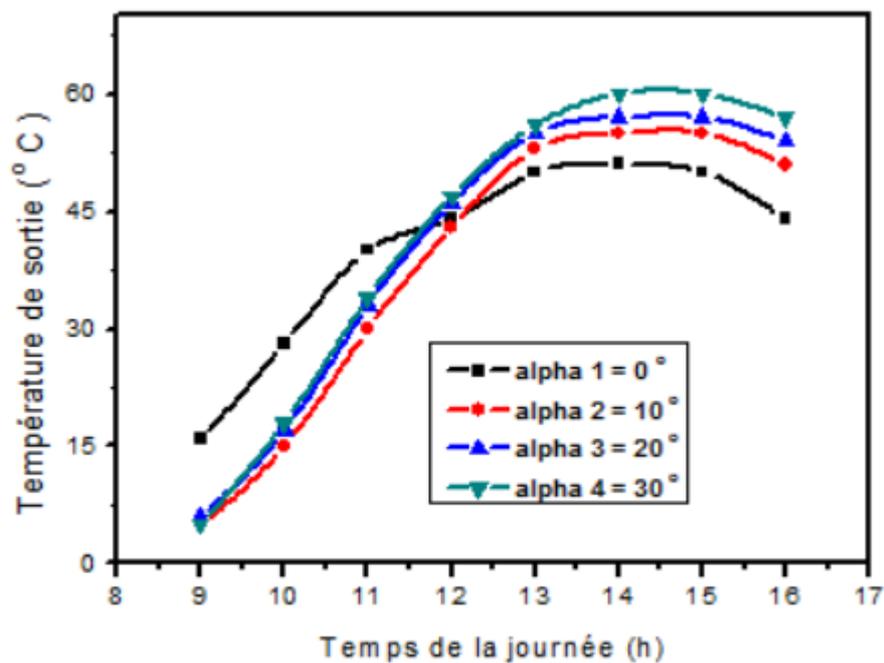


Figure I.19 : Evolution de la température de sortie en fonction du temps de la journée pour différent angles d'inclinaison

I.3 CONCLUSION

A travers cette étude bibliographique, on a remarqué que L'objectif principal de ces travaux été '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.

**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, le 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 thermosolaire 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 cylindro-paraboliques 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

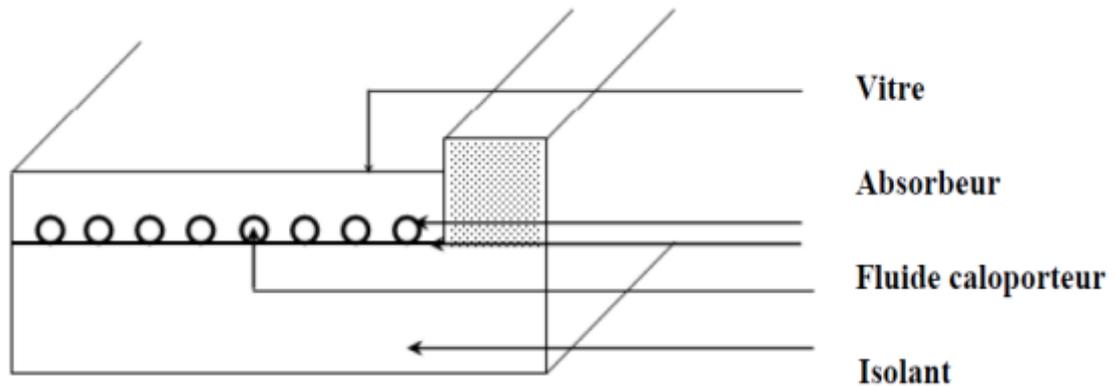


Figure II.1 : Composants d'un capteur solaire [10]

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 émittance à l'infrarouge, une peinture noir mat 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 approchés de cet idéal [11].

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

Tableau II.2 : Caractéristiques 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 vieillit mal sous l'action des ultra-violetts. 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 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].

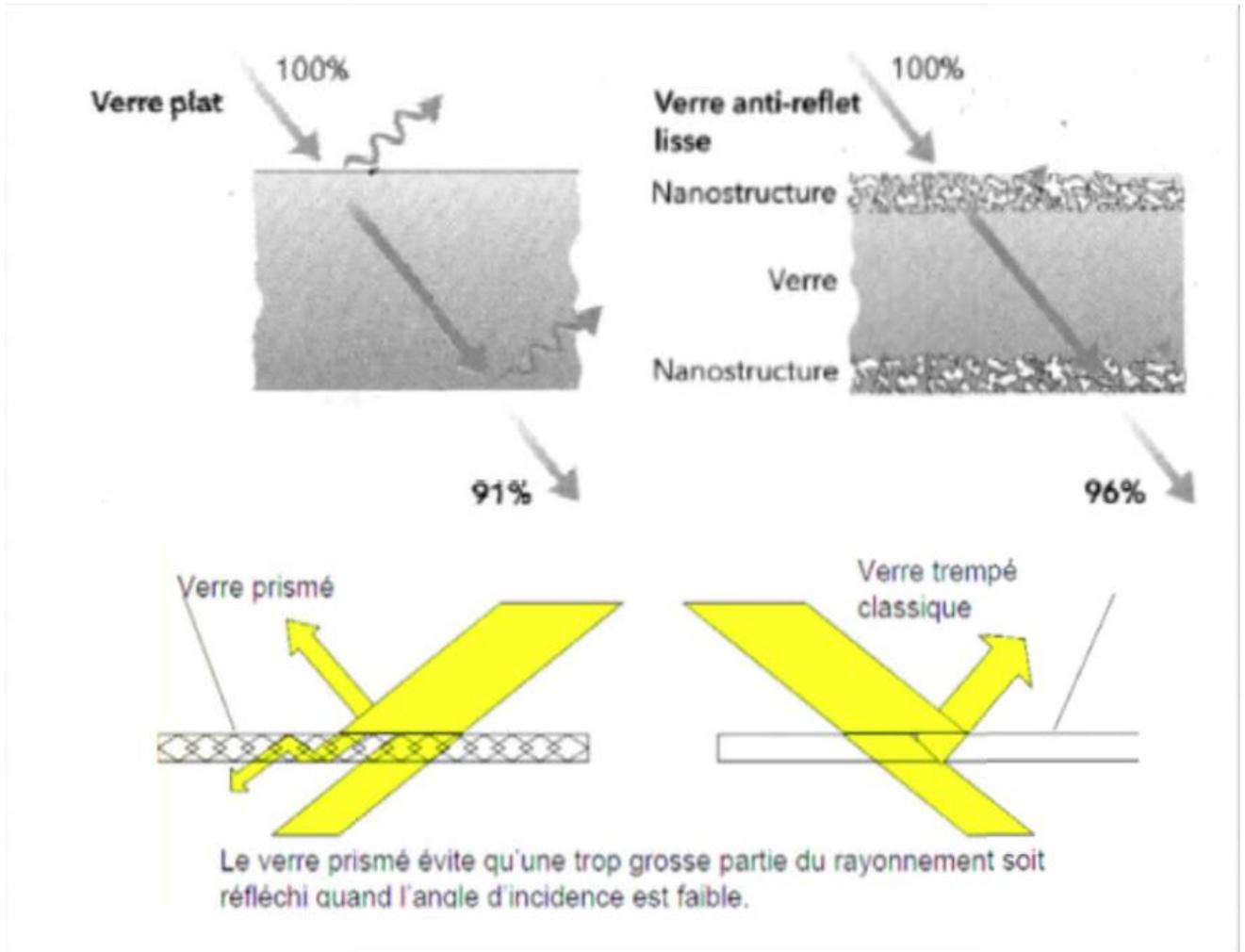


Figure II.2 : type de verre pour les couvertures[13]

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 ya 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.



Figure II.3 : Vu d'un capteur solaire non vitré

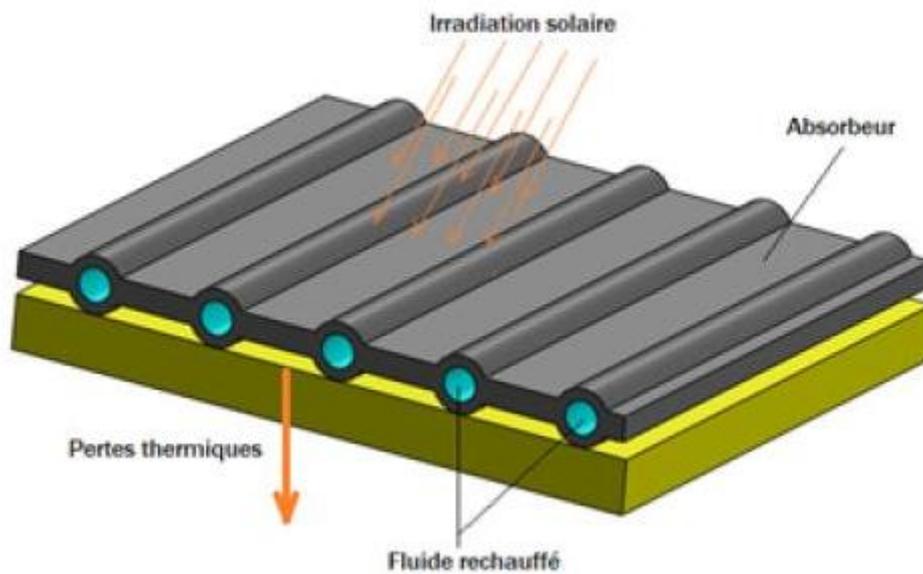


Figure II.4 : Description d'un capteur solaire non vitré.

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.

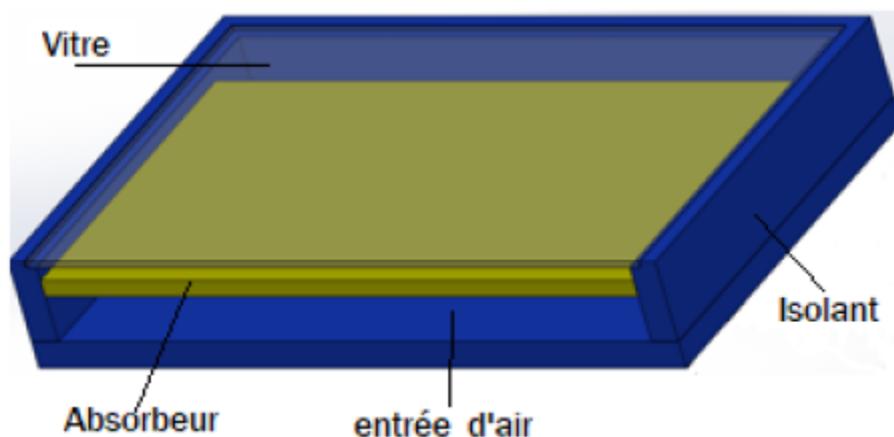


Figure II.5 : Capteur plan vitré

II.6.3. Les capteurs sous vide

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



Figure II.6 : Capteur sous vide

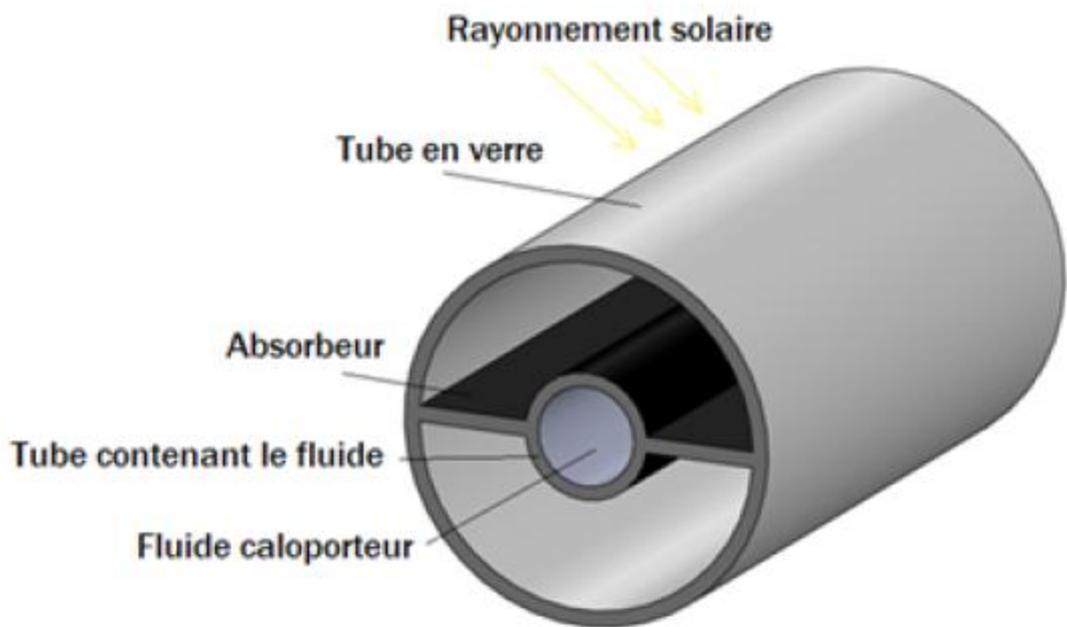


Figure II.7 : Capteur à tube sous vide.

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.

II.7. 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.6) [10].

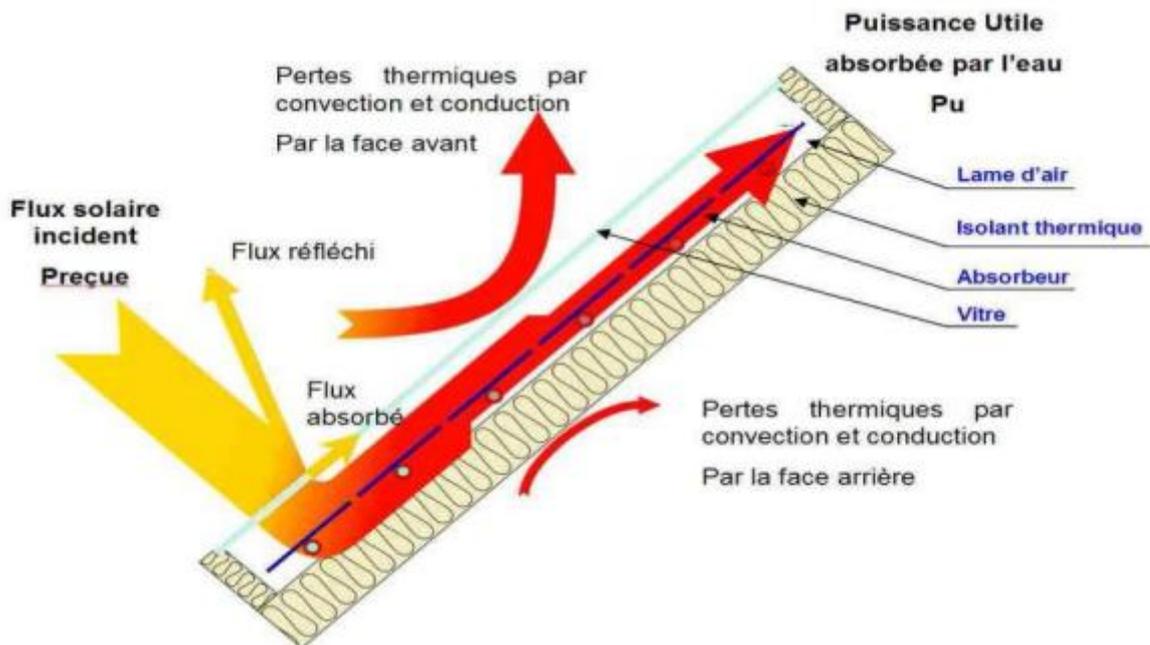


Figure II.8 : Les différents échanges thermiques dans un capteur solaire [10]

II.7.1 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.7.2 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.7.3. Le rayonnement

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

La loi fondamentale du rayonnement est celle de Stefan-Boltzmann

$$q = \epsilon * \sigma * T^2 \quad (II.1)$$

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

ϵ : émissivité thermique du matériau.

σ : constante de Stefan-Boltzmann évaluée à $5,6 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$.

T : température absolue du corps [10].

II.8. Classification des capteurs

On peut classer les capteurs selon

II.8.1. 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.8.2. L'orientation des capteurs

Les capteurs solaires peuvent être :

II.8.2.1. 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.8.2.2. 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.9. Applications des capteurs solaires plans à air

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

II.9.1. 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

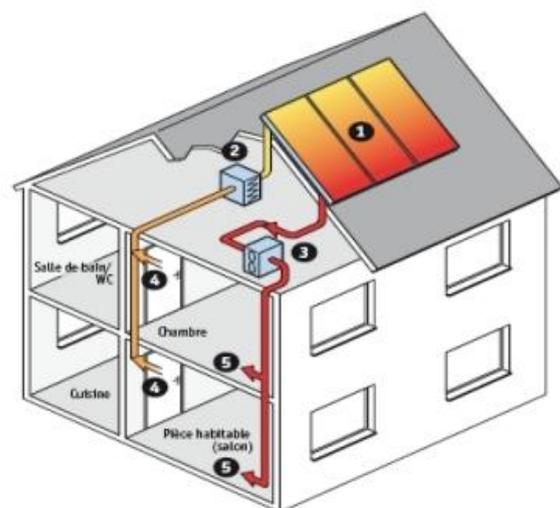


Figure II.9 : Chauffage et climatisation des habitations

Le système de capteur solaire à air II 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.

II.9.2. 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].

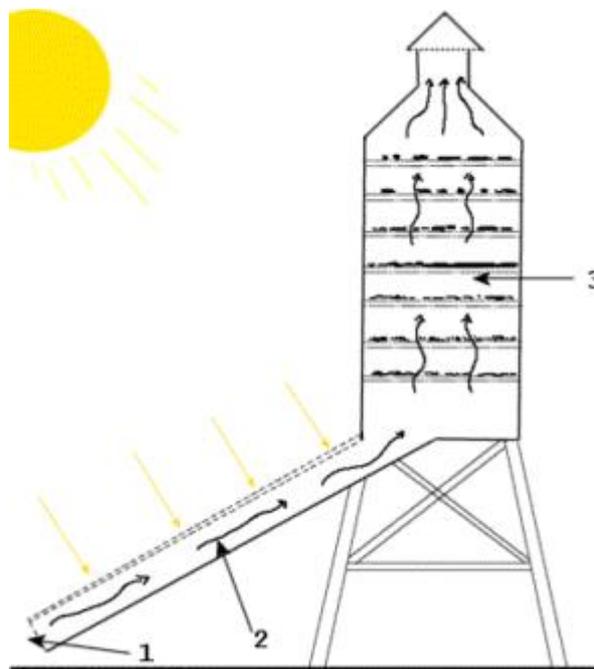


Figure II.10 : Séchage solaire [17]

II.9.3. 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].

**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 :

$$I_g = Q_u + Q_p + Q_s \quad (III.1)$$

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

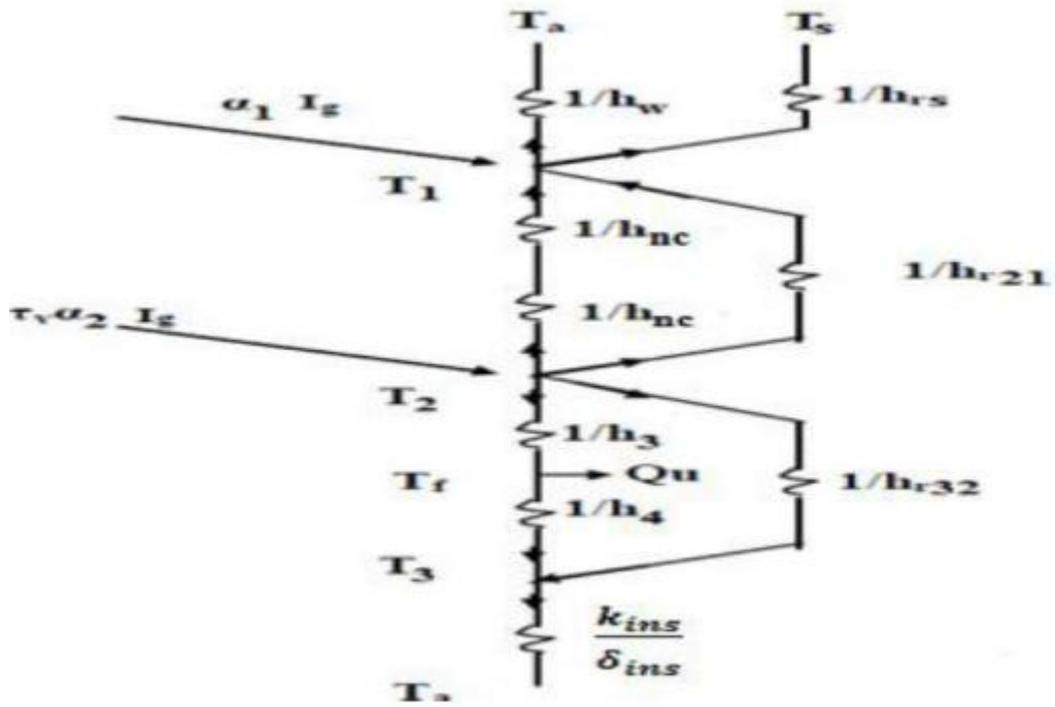


Figure III.1 :Capteur avec vitre [19]

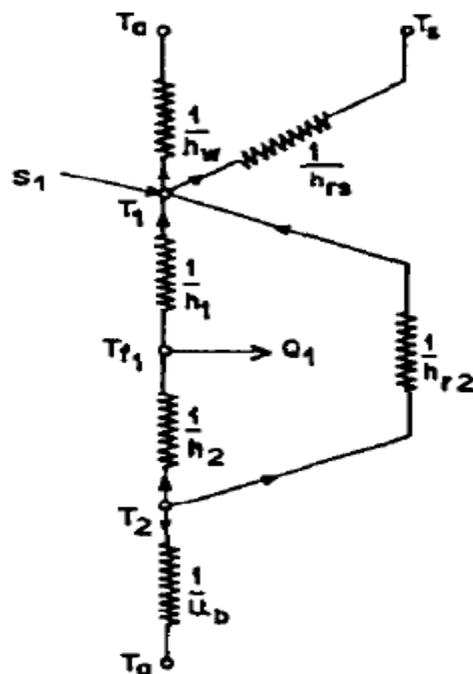


Figure III.2 :Sans vitre [19]

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 sans vitre [19]

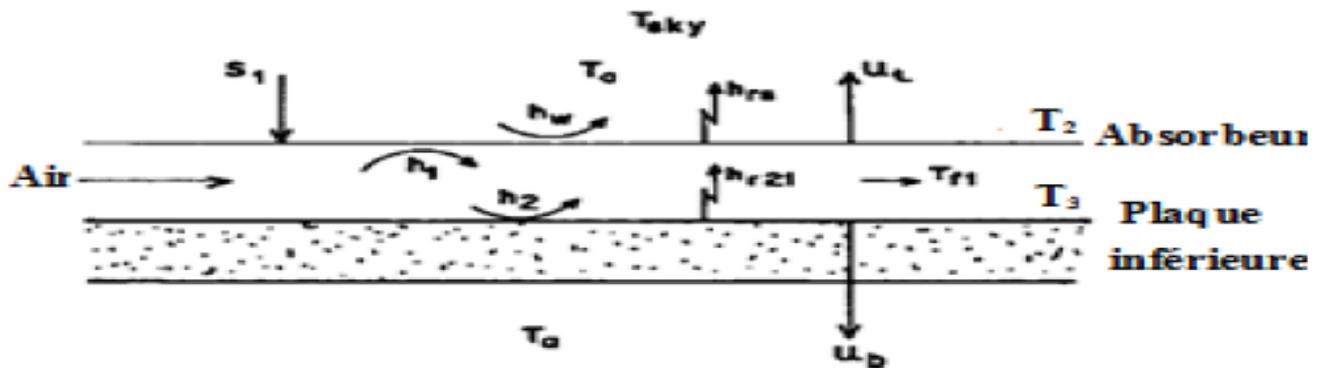


Figure III.3 :Capture sans vitre [19]

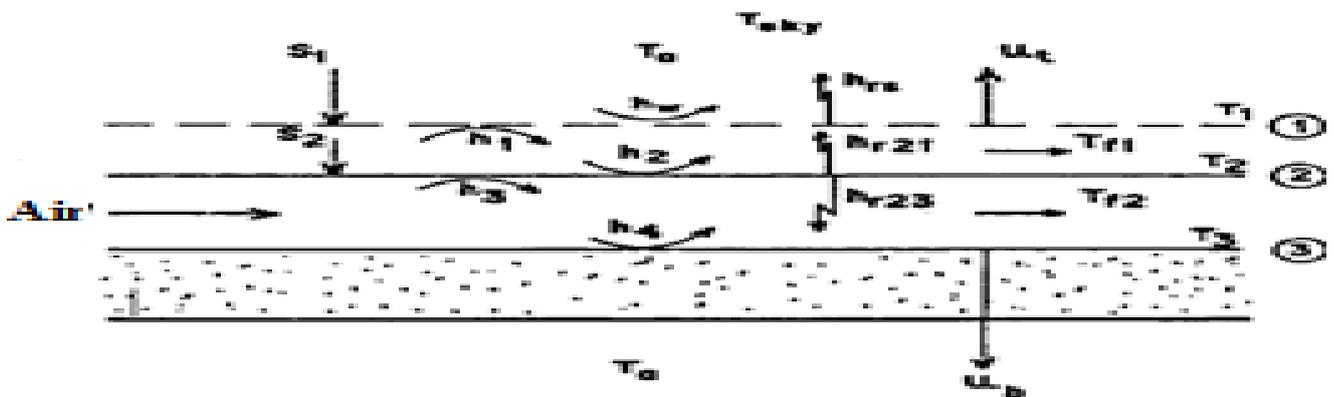


Figure III.4 :capteur avec vitre [19]

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

$$S_1 + h_{r21}(T_2 - T_1) + (T_2 - T_1) + (T_a - T_1) = 0 \quad (III.2)$$

$$S_1 = \tau \alpha_1 I_g$$

$$(h_{r21} + h_{nc} + U_L) T_1 - (h_{r21} + h_{nc}) T_2 = S_1 + U_t T_a \quad (\text{III.3})$$

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

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

$$S_2 = \tau \alpha_2 I_g \quad (\text{III.4})$$

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

III.4.1.3. Bilan énergétique du fluide [19]

$$\dot{m} C_p \frac{dT_f}{w dx} = h_3(T_2 - T_f) + h_4(T_3 - T_f) \quad (\text{III.5})$$

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

$$\Gamma_1(T_{fi} - T_{f,i-1}) = h_3(T_2 - T_f) + h_4(T_3 - T_f) \quad (\text{III.6})$$

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

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

$$h_4(T_3 - T_f) w dx + U_b(T_3 - T_a) w dx + h_{r32}(T_3 - T_2) w dx = 0$$

$$-h_{r32} T_2 - h_4 T_f + (h_{r32} + U_b + h_4) T_3 = U_b T_a \quad (\text{III.7})$$

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

$$\begin{bmatrix} h_{r21} + h_{nc} + U_t & -(h_{r21} + h_{nc}) & 0 & 0 \\ -(h_{r21} + h_{nc}) & (h_3 + h_{nc} + h_{r32} + h_{r21}) & -h_3 & -h_{r32} \\ 0 & h_3 & -(h_3 + h_4 + \Gamma_1) & h_4 \\ 0 & -h_{r32} & h_4 & (h_{r32} + U_b + h_4) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_{fi} \\ T_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_1 + U_t T_a \\ S_2 \\ -\Gamma_1 T_{f,i-1} \\ U_b T_a \end{bmatrix} \quad (III.8)$$

Capteur solaire à air sans vitre

(III.9)

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

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 “ ”, les relations suivantes sont utilisées, selon qu'il s'agit d'un transfert par conduction, rayonnement ou convection.

III.6.1. Transfert radiatif

On considère un transfert radiatif entre deux plaques parallèles de températures T_1 et T_2 (exprimées en Kelvin). On applique la formule [19]

$$h = \frac{\sigma(T_1 + T_2)(T_1^2 + T_2^2)}{\frac{1 - \epsilon_1}{\epsilon_1} + \frac{1}{F_{12}} - \frac{1 - \epsilon_2}{\epsilon_2} \frac{S_2}{S_1}} \quad \text{(III.10)}$$

Où :

T_1 et T_2 : sont les températures absolues des deux faces, supposées uniformes,

ϵ_i : est l'émissivité du milieu i

F_{12} : est le facteur de forme géométrique entre les surfaces S_1 et S_2 , pris généralement pour les diverses parties de l'insulateur 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]

$$h_{rS} = \frac{\sigma \epsilon_1 (T_1 + T_S)(T_1^2 + T_S^2)(T_1 - T_S)}{(T_1 - T_a)} \quad \text{(III.11)}$$

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 .

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

$$h_{r21} = \frac{\sigma(T_1 + T_2)(T_1^2 + T_2^2)}{\left(\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1\right)} \quad (\text{III.12})$$

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]

$$h_{r32} = \frac{\sigma(T_3 + T_2)(T_3^2 + T_2^2)}{\left(\frac{1}{\epsilon_3} + \frac{1}{\epsilon_4} - 1\right)} \quad (\text{III.13})$$

Les températures T_3 et T_2 et sont exprimées en Kelvin.

III.6.2. Transfert convective [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] :

$$h_{nc} = 1.42 \left(\frac{(T_2 - T_a) \sin \varphi}{L} \right)^{1/4} \quad (\text{III.14})$$

* 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] :

$$h_3 = \frac{N_u D_h}{K_f} \quad (\text{III.15})$$

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

$$C_p = 1004 \frac{J}{\text{kg.k}} \quad (\text{III.16})$$

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]

$$h_3 = \frac{N_u D_h}{K_f} = 4.4 + \frac{0.00398 \left(\frac{0.7 R_e D_h}{L} \right)^{1.66}}{1 + 0.0114 \left(\frac{0.7 R_e D_h}{L} \right)^{1.12}} \quad (\text{III.17})$$

pour ($R_e < 2300$)

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

$$h_3 = \frac{N_u D_h}{K_f} = 0.0158 R_e^{0.8} \quad \text{pour } (R_e > 2300)$$

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'isolateur est

$$U_b = \frac{k_{ins}}{\delta_{ins}} \quad (III.18)$$

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

$$U_L = h_{rs} + h_v \quad (III.19)$$

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] :

$$\eta Q_u = \dot{m} C_p (T_{fs} - T_{fi}) \quad (III.20)$$

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

$$\eta = \frac{Q_u}{I_g A_p} = \frac{\dot{m} C_p (T_{fs} - T_{fi})}{I_g A_p} \quad (III.21)$$

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

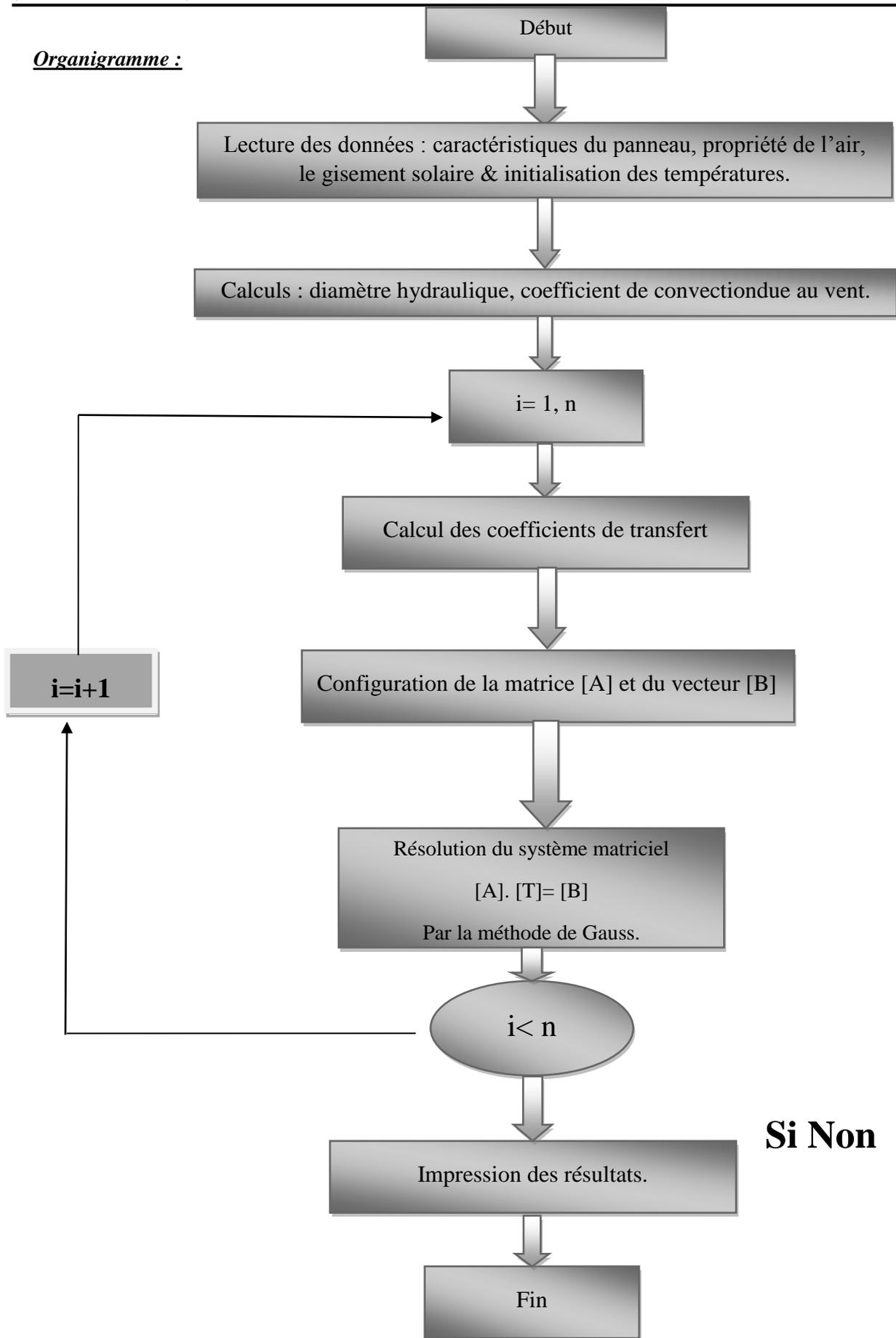
La simulation est faite à l'aide d'un programme établi à cet effet en langage **MATLAB** pour déterminer les températures des différents constituants du système, ce qui facilite l'obtention de l'évolution de la température du fluide ainsi que la température de la vitre, l'absorbeur et l'isolant pour 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 $\tau =0.90$

Organigramme :



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. Il est à noter que ce type de capteurs, montés en toiture, a une inertie relativement importante qui entraîne une faible valeur du rendement du capteur en début de journée, et une valeur plus élevée en fin de journée. Alors que le débit d'air dans le capteur et la température d'entrée ont une grande influence sur le rendement, par contre l'inclinaison du capteur et l'éclairement influent peu. La modélisation en régime dynamique rend compte du comportement du capteur avec une bonne précision. Elle confirme le rôle important de l'inertie du capteur. Elle a permis de mettre en évidence l'intérêt des absorbeurs sélectifs pour les capteurs à air, qui permettent une amélioration considérable des rendements lorsque la température d'entrée de l'air est élevée. Les fuites, inévitables dans les capteurs à air, diminuent la température de sortie de l'air, mais améliorent dans certains cas le rendement. Le modèle permet également de corriger les mesures faites sous simulateur .

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 :

$I_g = 900W/m^2$, $T_a = T_e = 31,7\text{ }^\circ C$, $Re = 16700$

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
6.75	318.6728
9	322.5772

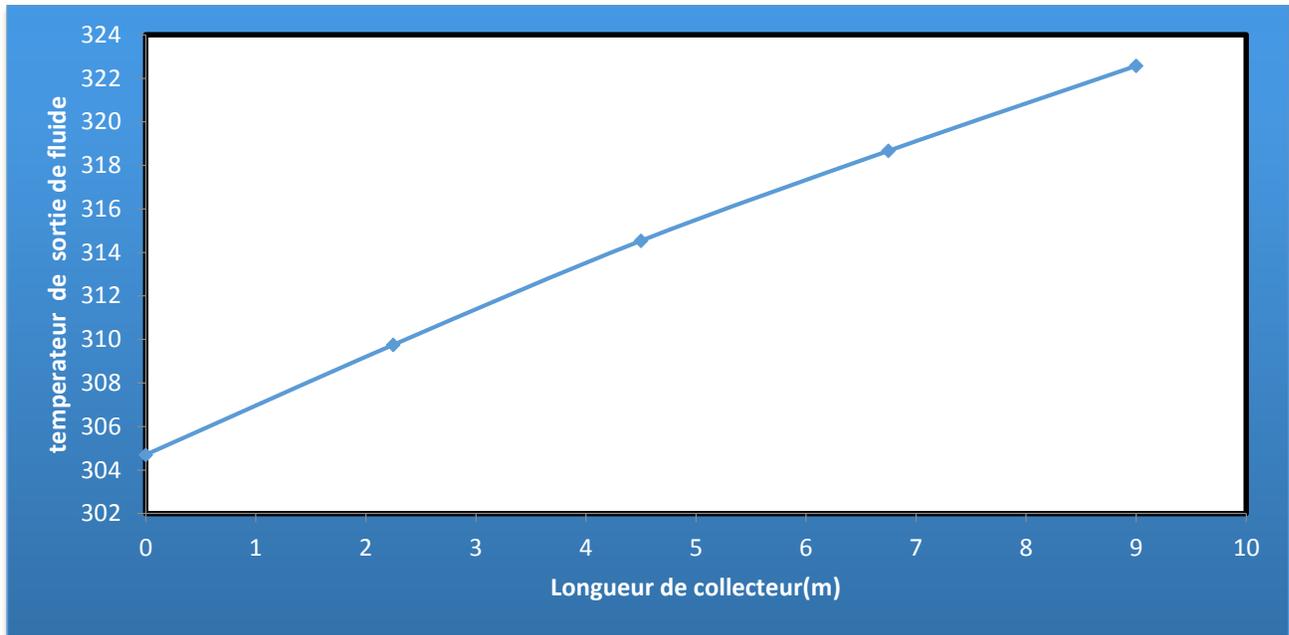


Figure IV.1 : Variation de température de sortie de fluide le long du capteur solaire

On fait 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 ($I_g = 900 \text{ W/m}^2$, $T_a = T_c = 31,7 \text{ }^\circ\text{C}$, $Re = 16700$).

Tableau IV.2 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

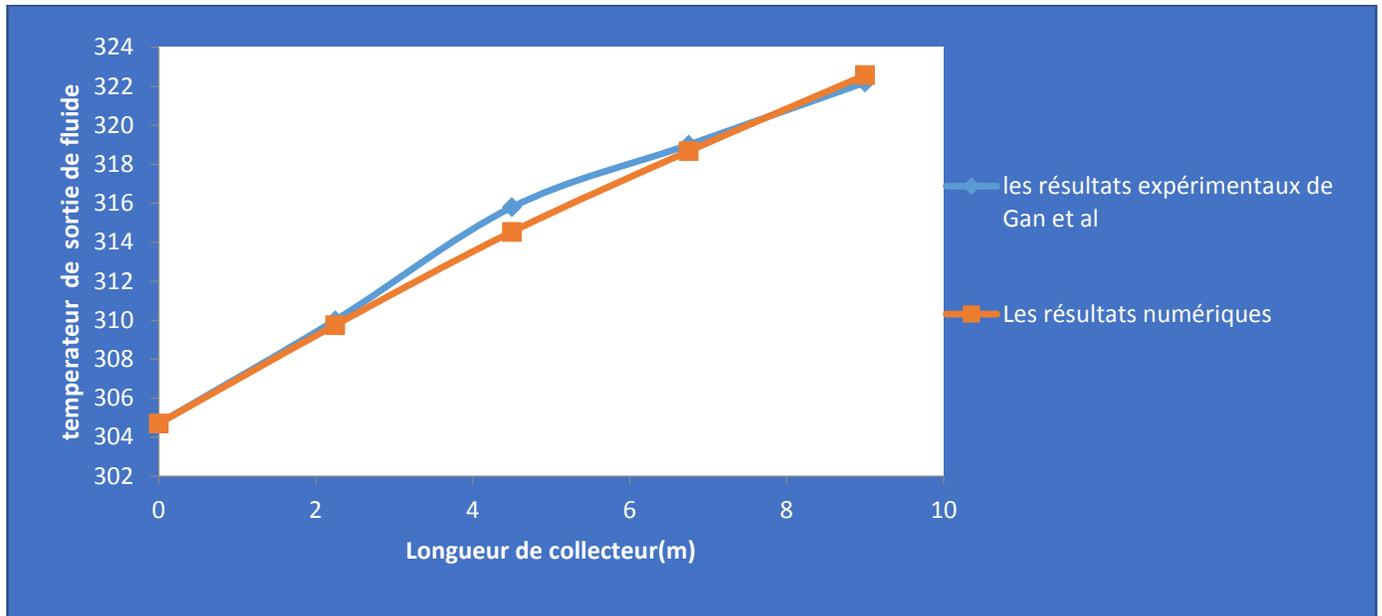


Figure IV.2 Variation de température de sortie de fluide le long du capteur solaire

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

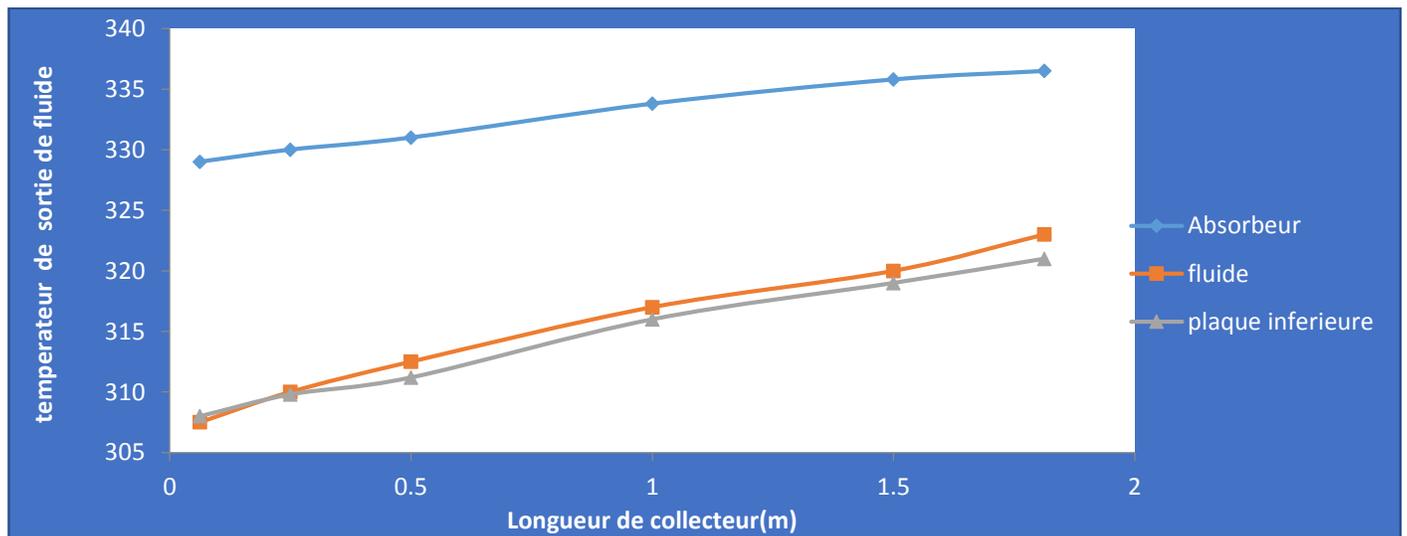


Figure IV.3 Variation des températures numériques et expérimentales le long du collecteur solaire, avec $Re = 38381,6$, $I_g = 900W / m^2$

Figure IV.3 : montre la variation de température à la section centrale des différents composants du capteur

solaire (l'absorbeur, le fluide plaque inferieur) 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

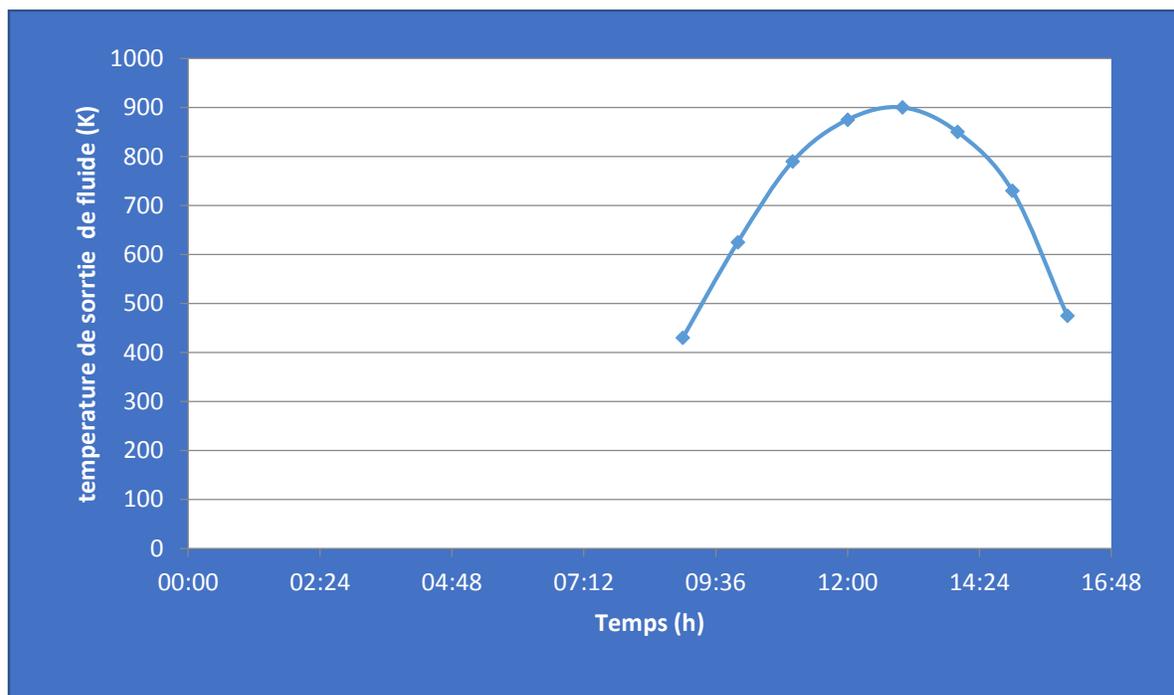


Figure IV.4 Variation du gisement solaire en fonction de temps après les travaux réalisés par Chabane et al [23].

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

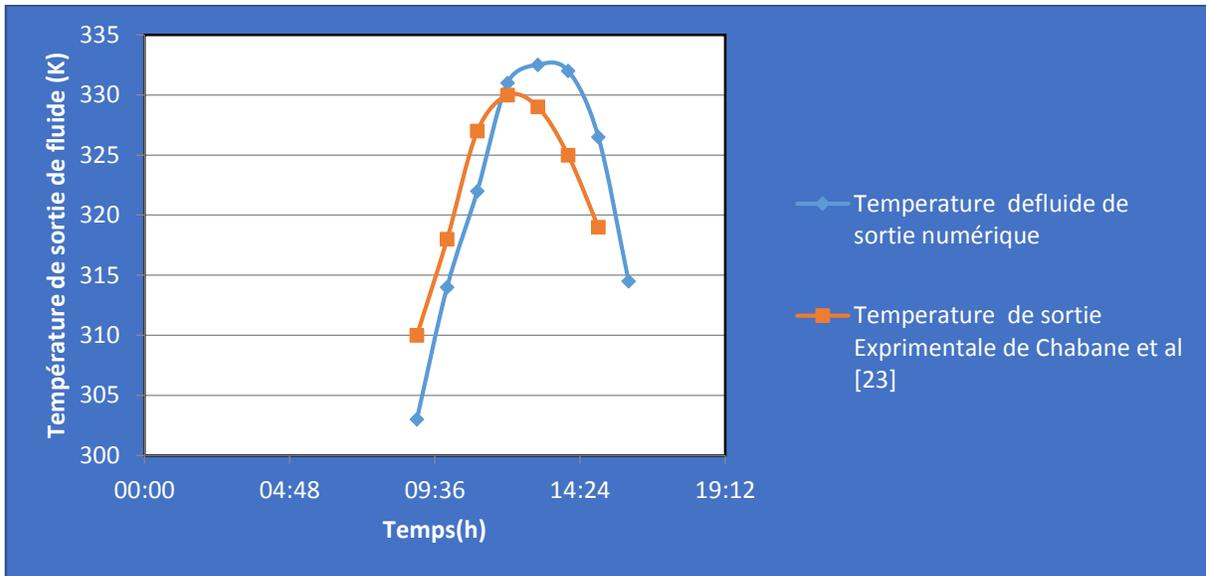


Figure IV.5 Evolution de la température de l'air de sortie en fonction du temps pour un débit de 0.012Kg/s.

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 .

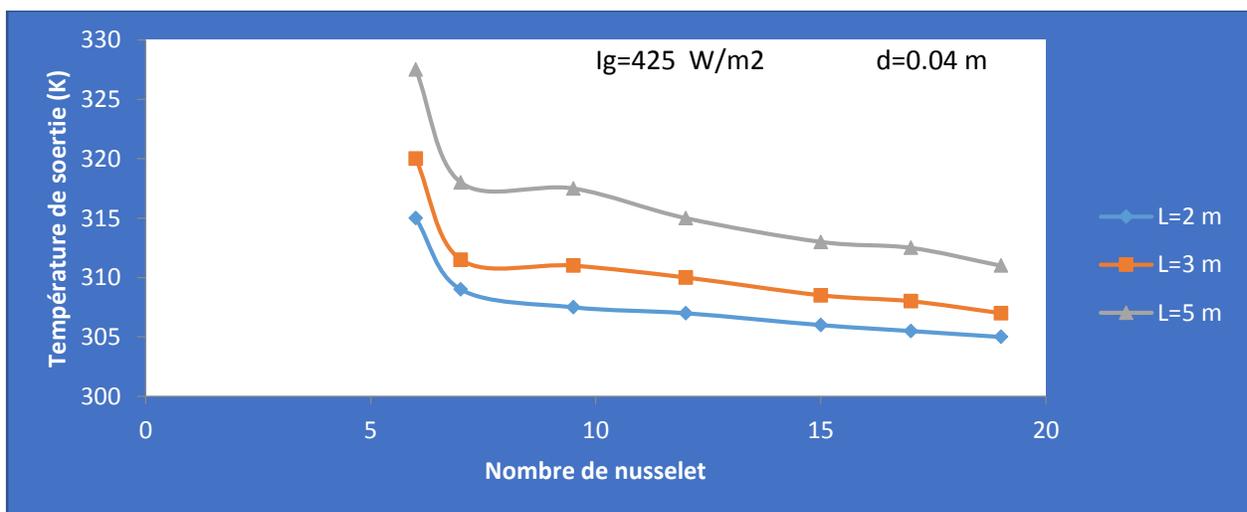


Figure IV.6. Variation de la température de sortie du fluide en fonction du nombre de Nusselt pour des différentes longueurs de l'insolateur.

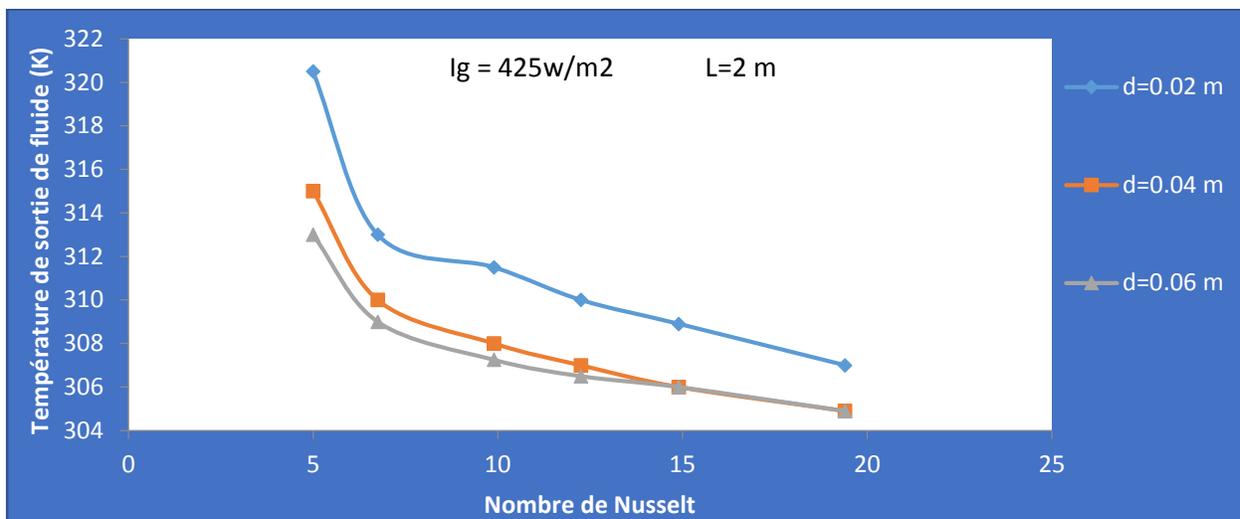


Figure IV.7 Variation de la température de sortie du fluide en fonction du nombre de Nusselt pour des différentes hauteurs du canal de l'insolateur.

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.

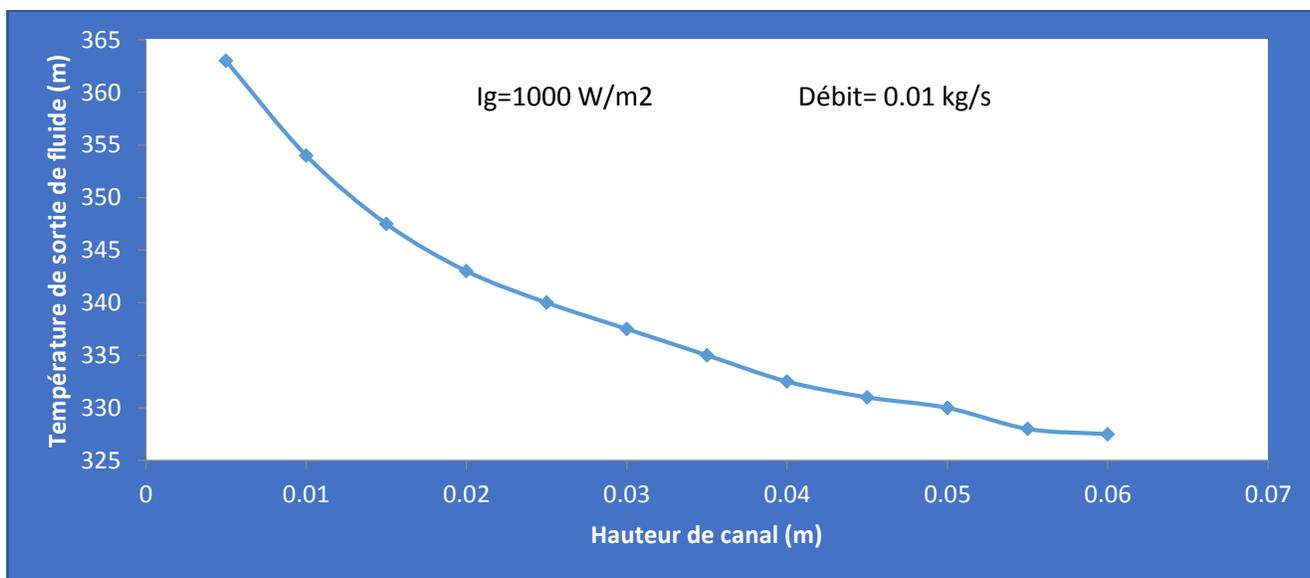


Figure IV.8 Variation de la température de sortie en fonction de la hauteur du canal.

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.

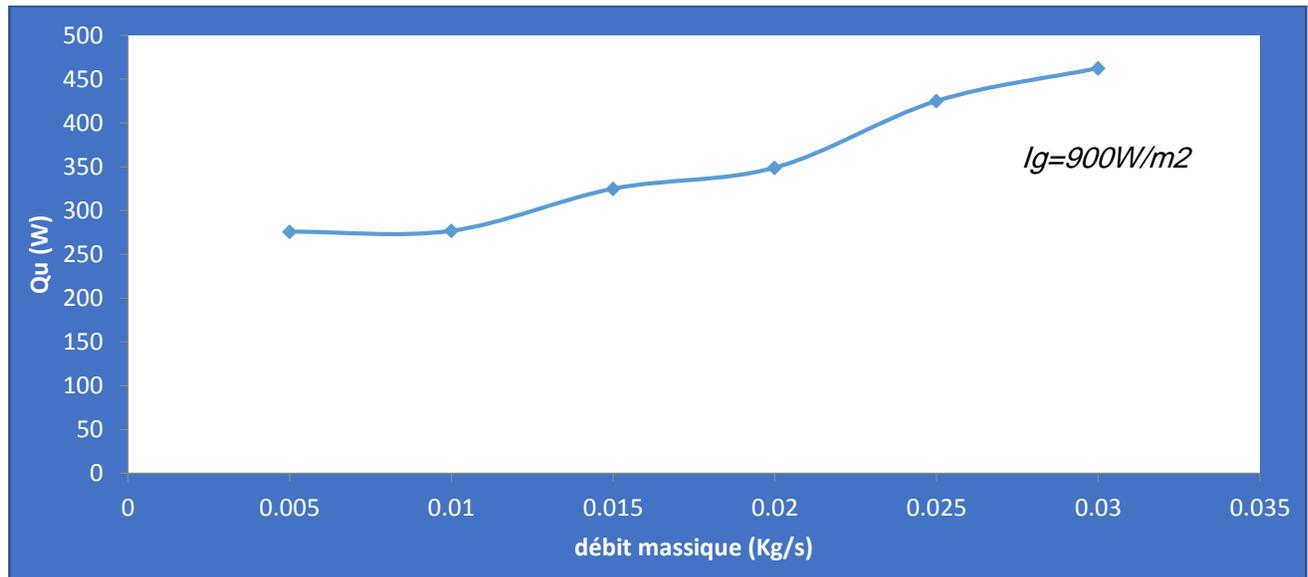


Figure IV.9 Evolution de l'énergie utile en fonction du débit massique.

La figure 9 : montre l'évolution de l'énergie utile récupérée par l'air pour un panneau solaire plan à air sans chicane en fonction 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,

V. Conclusion Générale

Dans le cadre de ce travail, nous avons présenté et étudié un système d'étude numérique des performances thermiques d'un panneau solaire plan à air muni des chicanes. Le présent travail constitue une contribution à l'étude des phénomènes de transfert thermique des systèmes des collecteurs solaires à air.

On a fait des recherches bibliographiques sur les capteurs solaires à air, et le gisement solaire. Cette étude détermine l'évolution de la température et le débit massique de l'air.

Notre apport principal dans ce travail, est la mise au point d'un code de calcul numérique du fonctionnement dynamique de la chaîne énergétique qui 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 d'un panneau solaire plan à air muni des chicanes.

Les résultats de ce travail constituent un apport important pour l'enrichissement des connaissances et de travaux de recherches sur la convection forcée à l'intérieur des conduites munies des chicanes et plus particulièrement dans les capteurs solaires à air. L'ensemble des résultats présente un caractère original et révèle une grande richesse phénoménologique.

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

En perspective, envisageons, élargir cette étude à d'autres applications. Ceci nous amène à tester nos systèmes en régime transitoire pour des intervalles de débits variables.

Référence

1. https://www.cder.dz/vlib/revue/pdf/v004_n2_texte_1.pdf
2. <https://slideplayer.fr/slide/2877045/>
3. http://archives.univ-biskra.dz/bitstream/123456789/18287/1/Abdelkader_SMATTI.pdf
4. http://thesis.univ-biskra.dz/532/1/developpement_d_un_logiciel_de_simulation_des_performances_thermiques_des_capteurs_solaires_palns.pdf
5. <https://docplayer.fr/24762476-Theme-etude-dynamique-et-thermique-d-un-capteur-solaire-a-air-a-double-passe-avec-milieu-poreux.html>
6. <https://docplayer.fr/4415628-I-1-introduction-i-2-etude-bibliographique.html>
7. <http://thesis.univ-biskra.dz/1143/3/Chapitre%2001.pdf>
8. https://www.researchgate.net/figure/Schema-du-capteur-plan-a-air-muni-de-rugosites_fig1_228876547
9. https://www.researchgate.net/figure/Differentes-dispositions-des-rugosites-cylindriques-19_fig4_228876547
10. https://www.researchgate.net/figure/Schema-du-dispositif-experimental_fig1_255597195
11. <https://slideplayer.fr/slide/2877045/>
12. https://www.researchgate.net/figure/Schema-descriptif-des-chicanes_fig2_255597195
13. <https://docplayer.fr/amp/21157405-Sechage-du-raisin-de-variete-sultanine-par-un-sechoir-solaire-a-convection-forcee-et-un-sechoir-de-type-coquillage.html>
14. <https://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/bitstream/123456789/21822/1/Réalisation%20et%20expérimentation%20d'un%20prototype%20Oséchoir%20solaire%20de%20type%20serre%20avec%20systèmes%20de%20stockage%20thermique%2C%20par%20chaleur%20latente%20et%20sensible.pdf>
15. V. Siddharta, Thermal performance optimization of a flat plate solar air heater using genetic algorithm, *Applied Energy*, 87, 1793-1799, 2010.
16. V. Siddharta, Thermal performance optimization of a flat plate solar air heater using genetic algorithm, *Applied Energy*, 87, 1793-1799, 2010.
17. E.K. Akpınar, and F. Kocyyigit, Experimental investigation of thermal performance of solar air heater having different obstacles on absorber plates, *Int. Commun Heat Mass Transfer*, 37, 416-421, 2010.
18. S. Karsli, Performance analysis of new-design solar air collectors for drying applications, *Renew. Energy*, 32, 1645-1660, 2007.

-
19. H. Boumesli, L'effet de l'inclinaison sur le comportement du capteur solaire plan à air, mémoire de master, université de Laghouat, 2016.
 20. SANDALI, M., Etude dynamique et thermique d'un capteur solaire à air à double passe avec milieu poreux. 2014.
 21. Benkhelifa, A.J.R.d.E.R., Optimisation d'un capteur solaire plan. 1998: p. 13-18.
 22. 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.
 23. Moumami, N., et al., Energy analysis of a solar air collector with rows of fins. 2004. **29**(13): p. 2053-2064.
 24. 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.
 25. BAISSI, M.T., Etude théorique et expérimentale des paramètres de fonctionnement d'un capteur solaire plan. 2012, Université Mohamed Khider-Biskra.
 26. 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.
 27. BOUMESLI, H., et al., L'EFFET DE L'ANGLE D'INCLINAISON DU CAPTEUR SUR LES PERFORMANCES THERMIQUES D'UN CAPTEUR SOLAIRE PLAN A AIR.
 28. 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.
 29. Souad, S.J.U.M.D.C., Effet des paramètres opérationnels sur les performances d'un capteur solaire plan. 2010. **2**(51): p. 3.
 30. فرجاني and طه.أ., Développement d'un logiciel de simulation des performances thermiques des capteurs solaires plans. 2013, Université Mohamed Khider-Biskra.
 31. 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.
 32. AKERMI, M., Contribution à l'étude d'un capteur solaire thermodynamique thermosiphon à eau.
 33. AMRAOUI, M.A., Etude numérique d'un capteur solaire plan à air Influence de la forme de la rugosité. 2012.
 34. Benamra, M.L., Intégration des systèmes solaires photovoltaïques dans le bâtiment: Approche architecturale. 2013, Université Mohamed Khider Biskra.
 35. 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).
36. Nabil Belmabrouk , Modélisation et simulation du comportement thermique transitoire d'un capteur solaire plan à air , Université Mohamed Khider de Biskra (2019)
37. 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. (ناع يوسف بكارى)
38. 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)
39. 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).
40. TALAMALI Donia , MOUGARI Nour el islam, Simulation des performances d'un chauffe eau Solaire, UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES (2016)
41. G. C. K., Double-channel flow flat-plate solar air heater, Part II., Final Year Project, B.Eng., Engineering Faculty,, Univ. Malaya, 1986.
42. 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.