

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 عين تموشنت بحلاج وبشعيب
Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchai
Faculté des Sciences et de Technologie
Département de Génie Mécanique



Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du diplôme de Master en :
Domaine : Technologie
Filière : Génie Mécanique
Spécialité : Energétique
Thème

**Amélioration par voie expérimentale du rendement
d'un capteur solaire plan à Air : Application au système
de séchage**

Présenté Par :

- 1) Dahmani Aicha
- 2) Labeled Meriem Rabab

Devant le jury composé de :

Dr.BAHRAM Kaddour	MCB	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Président
Dr.GUENDOZ Bohlal	MCB	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Examineur
Dr. BENZENINE Hamidou	M CA	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Encadrant
Mr. MOUSSA BOUDJEMA Fethi	Doctorant	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Co-Encadrant

Année Universitaire 2020/2021

Remerciement

Tout d'abord, nous devons remercier **ALLAH** le tout-puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme ce présent travail.

Ce travail de recherche a été réalisé à l'université Belhadj-Bouchaid d'Ain Témouchent (UBBAT), sous la direction de Monsieur le professeur **Benzenine Hamidou** et Mr. **Moussa Boudjema Fethi**.

Un grand merci à l'encadrant et Co-encadrant pour nous avoir suivi durant notre travail dans le cadre de ce mémoire, pour ces conseils précieux, pour leurs disponibilité et la compétence de son encadrement, qu'elle trouve ici notre reconnaissance et notre respect.

Nos remerciements vont également aux membres du jury qui ont accepté d'examiner ce travail.

Nous exprimons tous nos remerciements aux personnels des laboratoires pédagogiques de facultés des Sciences et Technologie pour leur accueil, leur gentillesse, leur grande sympathie ainsi que pour la bonne ambiance partagée.

Ainsi, un grand et spécial remerciement aux cadres de laboratoire : Mr. Hadj Saïd Nasser Djamel Eddine, Mr. Kadou Adel et Mohamedi Mohamed Walid.

Nos remerciements s'adressant aussi à tous les amis et collègues de promotion M2 spécialité énergétique.

Enfin, nous voudrions ajouter nos remerciements à tous ceux qui, d'une façon ou d'une autre, ont soutenu et aidé pour réaliser ce mémoire.

Dédicace

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.

A ma très chère mère

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

A mon très cher père

Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager. Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.

A mes très chers frères Yousef et Mohamed.

A ma famille, mes proches et à ceux qui me donnent de l'amour et de la vivacité.

A tous mes amis Meriem, Houda, Fatima, qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès.

A tous ceux que j'aime.

Merci !

Dahmani Aicha

Dédicace

Avant tout, je tiens à remercier le dieu, et l'unique qui m'offre le courage et la

Volonté nécessaire pour affronter les différentes difficultés de la vie,

Je dédie ce modeste travail

A l'âme et l'esprit de ma chère mère Kechkeche Hadjria

Pour leurs sacrifices, leur amour, leurs prières et leur soutien.

A ma sœur Lebed Zinne Afaf

A ma chère famille, Labed proche ou lointaine.

A mes chers amis Aicha, Fatima, Houda, sans oublier Mourad,

Sans qui la vie me semblait bien fade, je vous souhaite la prospérité et le succès,

Et à tous ceux qui nous ont assisté dans la réalisation et le bon déroulement de ce travail.

A tous ceux qui ont sacrifié leur temps pour la science

Et à tous ceux qui utilisent la science pour le bien

Et la prospérité de l'humanité

Merci !

Labed Meriem Rabab

Résumé

Résumé

Ce mémoire présente une étude expérimentale menée sur un capteur solaire à convection forcée destinée au séchage des produits agricoles. Le capteur muni des chicanes a été conçu et réalisé au niveau du laboratoire de l'Université d'Ain Temouchent. Les résultats des analyses graphiques à partir des mesures de flux solaire et la température ambiante pendant des journées de moins de juin 2021 ont été présentés et interprétés. L'influence de l'augmentation du nombre de rangées de chicanes « 2, 4 et 7 » sur le rendement thermique a été étudiée et comparée avec le cas d'un capteur simple. Les résultats obtenus montrent que la température de sortie et le rendement du capteur sont nettement améliorés à des valeurs atteintes 120°C et 37% respectivement.

Mots clés : Capteur solaire plan, séchage, chicanes, rendement thermique.

Abstract

This thesis presents an experimental study carried out on a forced convection solar collector intended for drying agricultural products. The collector equipped with the baffles was designed and produced at the laboratory level of the University of Aim Temouchent. The results of graphical analyze from measurements of solar flux and ambient temperature during days less than June 2021 were presented and interpreted. The influence of the increase in the number of rows of baffles “2, 4 and 7” on the thermal efficiency has been studied and compared with the case of a single collector. The results obtained show that the outlet temperature and the efficiency of the sensor are markedly improved at values reached 120 ° C and 37% respectively.

Keywords: Flat solar collector, drying, baffles, thermal efficiency.

ملخص

تقدم هذه المذكرة دراسة تجريبية أجريت على لاقط شمسي حراري مخصص لتجفيف المنتجات الزراعية. تم تصميم وإنتاج المستشعر المجهز بالحواجز على مستوى جامعة عين تموشنت. تم تقديم وتفسير نتائج التحليلات الرسومية من قياسات التدفق الشمسي ودرجة الحرارة المحيطة خلال الأيام من يونيو 2021. تمت دراسة تأثير الزيادة في عدد صفوف الحواجز «2، 4 و 7» على الكفاءة الحرارية ومقارنتها بحالة لاقط بدون حواجز. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن درجة حرارة المخرج وكفاءة لاقط قد تحسنت بشكل ملحوظ عند قيم وصلت إلى 120 درجة مئوية و 37% على التوالي.

الكلمات المفتاحية: لاقط الطاقة الشمسية المسطح, التجفيف, الحواجز, الكفاءة الحرارية.

Liste des figures

Liste des figures

Chapitre I	Généralité	
Figure I. 01	Présentation du soleil.	04
Figure I. 02	Flux de la lumière solaire.	05
Figure I. 03	La longueur d'onde de rayonnement solaire.	06
Figure I. 04	Différents types de séchoirs solaires de base.	07
Figure I. 05	Boîtier de séchage direct.	07
Figure I. 06	Schéma descriptif d'un séchoir indirect.	08
Figure I. 07	Schéma descriptif d'un séchoir mixte.	09
Figure I. 08	Capteur solaire plan à air exposé au soleil.	11
Figure I. 09	Capteurs solaire plan vitré.	12
Figure I. 10	Capteur solaire plan non vitré.	12
Figure I. 11	Capteur solaire à tube sous vide.	13
Figure I. 12	Principe de fonctionnement.	13
Figure I. 13	Composants d'un capteur solaire plan.	14
Figure I. 14	Peinture noire sur absorbeur.	15
Figure I. 15	Schéma des différentes pertes.	16
Chapitre II	Recherche bibliographique	
Figure II. 01	Le montage expérimental.	18
Figure II. 02	Collecteur avec système à ailettes sur la plaque arrière en bois	19
Figure II. 03	(a) Configurations de Collecteurs solaires ; (b) Absorbeur matriciel.	19
Figure II. 04	(a) Photographie du sécheur indirect ;(b) Détail du capteur solaire d'air montrant : (a) sa composition, (b) les chicane droites, (c) les chicane obliques, et (d) les flux générés.	20
Figure II. 05	(a) Configuration expérimentale ; (b) Plaque absorbante à ailettes	21

Liste des figures

Figure II. 06	Schéma de principe du réchauffeur d'air solaire à plaques à ailettes	21
Figure II. 07	(a) Schéma du modèle étudié ;(b) Schéma du capteur C (double passage d'air) ;(c) Schématisation des différentes formes des obstacles utilisés	22
Figure II. 08	(a) Schéma du dispositif expérimental ; (b) Schéma descriptif des chicanes.	23
Figure II. 09	(a) Collecteur plaque plate ;(b) Collecteur à ailettes ; (c) Collecteur d'air à rainure en V.	24
Figure II. 10	Vue schématique du montage expérimental.	24
Figure II. 11	(a) Description schématique du système de séchage ; (b) Chambre de séchage.	25
Figure II. 12	Exemple de Sécheur solaire indirect avec matériau à changement de phase.	26
Figure II. 13	(a) Schéma du séchoir solaire indirect.	27
Figure II. 14	(a) Séchoir expérimental ;(b) Capteur solaire à air.	28
Figure II. 15	Absorbeur inversé à accumulation thermique convectif naturel séchoir à récolte solaire.	28
Chapitre III	Modélisation mathématique	
Figure III. 01	Schéma représentatif du bilan thermique d'un capteur solaire.	32
Figure III. 02	Schéma de capteur.	36
Figure III. 03	(a) Machine plieuse ; (b) Chicane noir math.	37
Figure III. 04	(a) thermocouples de type K ; (b) Emplacement du thermocouple.	38
Figure III. 05	Un solarimètre.	38
Figure III. 06	Un Anémomètre multifonction.	39
Figure III. 07	Camera thermique.	39
Figure III. 08	Ecran typique du logiciel VDAS.	40

Liste des figures

Chapitre IV	Résultats et interprétation	
Figure IV. 01	Évolution de du rayonnement solaire et température ambiant en fonction du temps cas simple.	43
Figure IV. 02	Évolution de du rayonnement solaire et température ambiant en fonction du temps cas 02.	43
Figure IV. 03	Évolution de du rayonnement solaire et température ambiant en fonction du temps cas 03.	44
Figure IV. 04	Évolution de du rayonnement solaire et température ambiant en fonction du temps cas04.	44
Figure IV. 05	Les températures entré et sortie en fonction du temps pour le cas 01.	45
Figure IV. 06	Les températures entré et sortie en fonction du temps pour le cas 02.	45
Figure IV. 07	Les températures entré et sortie en fonction du temps dans le cas 03.	45
Figure IV. 08	Les températures entré et sortie en fonction du temps pour le cas 04.	46
Figure IV. 09	Différence de température de sortie et entré pour différent cas étudiée.	47
Figure IV. 10	Evolution de rendement pour les cas étudiés.	48
Figure IV. 11	Distribution de la température de l'air aux déférents cas de capteurs.	49

Liste de tableau

Liste de tableau

Chapitre I : Généralité

Tableau I. 01 Quelques exemples des méthodes de séchage. 10

Chapitre IV : Résultats et interprétation

Tableau IV. 01 Description de déférent cas étudié. 42

Tableau IV. 02 Rendement avec les donnes climatiques. 48

Nomenclature

Nomenclature

Notation latin	Désignation	Unité
C_p	Capacité calorifique	J/kg. °C
$G_{(i, \gamma) *}$	Eclairement (densité de flux) solaire incident sur le capteur	W/m ²
h	Coefficient de convection	w/m ² . °C
h_p	Coefficient global de pertes du capteur	w/m ² . °C
i	Les différents éléments constitutifs du capteur	-
L	Longueur	M
L	Largeur	M
\dot{m}	Le débit massique	kg/ s
Me	Teneur d'humidité équivalente	kg eau/kg MS
m_i	Masse d'un corps d'indice i	kg
Q	Le flux thermique	W
q_{cf}	Débit calorifique du fluide caloporteur	W.°C ⁻¹
Q_p	Quantité de chaleur perdue par l'isolateur	w/m ²
Q_s	Quantité de chaleur de séchage	w/m ²
Q_u	Quantité de chaleur utile récupérée par l'isolateur	w/m ²
S	Surface de la paroi absorbante	m ²
T	Température du corps	°C
T_a	Température de l'air extérieur	°C
T_f	Température du fluide	°C
T_p	Température de la paroi solide	°C
T_{pm}	Température moyenne du capteur.	°C
V	Vitesse	m/s

Nomenclature

Lettres grecques	Désignation	Unité
α_{ps}	Coefficient d'absorption de la paroi absorbante	-
K	Conductivité thermique	w/m. °C
$\varphi_{\bar{p}}$	Flux perdu par la paroi absorbante	W
φ_{sa}	Flux solaire absorbé	W
φ_{st}	Flux stocké dans le capteur	W
φ_u	Flux utile transmis au fluide caloporteur	W
Σ	Constante de Stephan Boltzmann	w. m ⁻² . °C ⁻⁴
ε	Coefficient d'émissivité	-
τ_{cs}	Coefficient de transmission de la couverture transparente	-
η	Rendement global	%
η_i	Rendement interne	%
η_o	Rendement optique (radiatif)	%
ρ	La masse volumique	Kg /m ³

Indices	Désignation
Irra	Irradiation
T amb	Température ambiante
Te	Température entrée
Ts	Température sortie
MS	Masse de séchage
VDAS	Versalite data acquisition system
V	Forme de chicane

Sommaire

Remerciement	
Dédicace	
Liste de figure	
Liste de tableau	
Nomenclatures	
Table de matière	
Introduction générale	01
Chapitre I : Généralité	
I. 1 Introduction	04
I. 2 Le soleil	04
I. 3 L'énergie solaire	04
I. 3. 1 Les différents types d'énergie solaire	05
I. 3. 2 Rayonnement solaire	05
I. 4 Généralité sur les séchoirs solaires	06
I. 4. 1 Séchage	06
I. 4. 2 Classification des séchoirs solaires	06
I. 4. 3. 1 Les séchoirs solaires directs	07
I. 4. 3. 1. 1 Principe de fonctionnement	07
I. 4. 3. 2 Les séchoirs solaires indirects	08
I. 4. 3. 2. 1 Principe de fonctionnement	08
I. 4. 3. 3 Les séchoirs hybrides	08
I. 4. 3. 4 Les séchoirs mixtes	09
I. 4. 4 Domaine d'utilisation	09

Sommaire

I. 4. 5 Différents méthodes du séchage	09
I. 5 Capteurs solaires thermiques	10
I. 5. 1 Capteurs à circulation de liquide	10
I. 5. 2 Définition capteurs solaires plans	11
I. 5. 3 Les types de capteurs solaires plans	11
I. 5. 3. 1 Capteurs plan vitré	11
I. 5. 3. 2 Capteurs plans non vitrés	12
I. 5. 3. 3 Capteurs plans sous vide	12
I. 5. 4 Principe de fonctionnement	13
I. 5. 5 Les composants des capteurs solaires	14
I. 5. 5. 1 Le vitrage (couvercle)	14
I. 5. 5. 2 Les polycarbonates	14
I. 5. 5. 3 L'absorbeur	14
1. 5. 5. 3. 1 Différent revêtement utilisé :	15
I. 5. 5. 3.1. 1 la peinture noire	15
I. 5. 5. 3. 1. 2 Oxyde de chrome	15
I. 5. 5. 3. 1. 3 Traitement sous vide	15
I. 5. 5.4 L'isolant	15
I. 5. 5. 5 Le fluide caloporteur	16
I. 5. 5. 6 Le boîtier	16
I. 5. 6 Principales catégories de capteurs solaires plans	16
I. 6 Conclusion	16
Chapitre II : Recherche bibliographique	
II. Introduction	18
II.1 Présentation quelle que recherches	18

Sommaire

II.2 Conclusion	29
-----------------	----

Chapitre III : Modélisation mathématique

III. 1 Introduction	31
III. 2 Mode de transfert thermique	31
III. 2. 1 Conduction	31
III. 2. 2 Convection	31
III. 2. 3 Rayonnement	32
III. 3 Bilan thermique globale de la paroi absorbante	32
III. 3. 1 Le bilan thermique de la paroi absorbante	33
III. 3. 2 Le flux stocké	33
III. 3. 3 La puissance absorbée par un capteur donne par la relation suivante	33
III. 3. 4 Le flux perdu	34
III. 3. 5 Rendements d'un capteur solaire	34
III. 4 Description du capteur solaire	35
III. 4. 1 préparation du capteur	36
III. 4. 2 Les chicanes	37
III. 4. 3 Instrumentations de mesure	37
III. 4. 3. 3 Mesure de l'éclairement	38
III. 4. 3. 4 Anémomètre multifonction	38
III. 4. 3. 5 Caméra thermique	39
III. 4. 3. 6 Logiciel Vdas	39
III. 5 Conclusion	40

Chapitre IV : Résultats et interprétation

IV. 1 Introduction	42
IV. 2 Résultats et interprétation	42

Sommaire

IV. 2. 1 Considérations Générales	42
IV. 3 Analyse des résultats	42
IV. 3. 1 Etude de Température mesurée au capteur	44
IV. 3. 2 Déférence de température ΔT en fonction de temps	47
IV. 3. 3 Rendement de chaque cas étudié	48
IV. 3. 4 Distribution de la température de l'air au sein du capteur	49
IV. 4 Conclusion	50
Conclusion générale	52
Référence bibliographique	55

Introduction générale

Introduction générale

L'énergie solaire est l'énergie diffusée par les rayonnements du soleil. Cette énergie est à l'origine de toutes les formes de production énergétique, aujourd'hui elle se place dans la catégorie des énergies renouvelables et suffisante pour le transformer en d'autres formes d'énergie comme énergie thermique et énergie électrique.

Les crises économiques et l'augmentation de coûts de carburant ou électricité nécessite des études et des recherches basent sur l'utilisation de l'énergie solaire pour développer d'autres sources d'énergie ou assurer les sources fossile (pétrole, gaz naturel, charbon,.... etc.).

Parmi ces moyens de l'exploitation de l'énergie solaire est le séchage solaire. Ce système est l'un des méthodes le plus utilise dans l'énergie solaire pour sécher les légumes, fruit, bois et viandes.

Le sécheur solaire en mode direct, indirect et mixte peut alléger les inconvenantes lies au séchage ouvert du soleil car dans ces types de séchoirs le produit est l'abri du soleil préserve une meilleure qualité nutritionnelle. En particulier le transfert de chaleur se fait dans le capteur solaire, cet élément est jouer une grande importance dans ces sécheurs. Pour donner une grande performance thermique a l'entrée au chambre de séchage ; plusieurs chercheurs ont développé des modèles de simulation, mathématique et par expériences qui caractériser le comportent de capteur solaire.

Ces travaux récents portent principalement sur l'amélioration de température et débit d'air par l'augmentation de rendement thermique de l'absorbeur de capteur avec de nouvelle formes de surface, généralement il existe trois catégories d'absorbeur : poreux, en forme zigzag et a ailette (chicanes).

L'objectif de notre travail consiste a une étude comparatif d'un capteur plan a air a un capteur munie a des chicane de forme zigzag forme V a convection force.

Le mémoire est structuré en quatre chapitres :

Dans le premier chapitre, une généralité sur les capteurs solaires et différentes domaines d'utilisation en précise le séchage.

Le deuxième chapitre est présente un recherche biobibliographique qui montré quelque recherche d'amélioration des capteurs.

Introduction Générale

Le troisième chapitre donne des études théoriques en générale, des équations et les formules qui consacrée et gouvernant le transfert de chaleur aux différents éléments de capteur solaire. Dans le dernier chapitre et comme exemple pratique nous appliquant notre contribution sur une étude comparative d'un capteur solaire ; Donc comparer entre un modèle du capteur solaire simple avec d'autres modèles comportant un obstacle forme V.

Chapitre I : Généralité

I. 1 Introduction

La prise de conscience de l'importance des enjeux liés à l'énergie (réchauffement climatique, pollution et l'effet de serre) aux comportements humains sont fortement induits par son abondance ou sa pénurie. Les énergies renouvelables sont connues à des phases de développement important, parmi ces énergies l'énergie solaire, énergie éolienne et l'énergie photovoltaïque.

L'énergie solaire est ainsi à l'origine de toutes les formes de production énergétique. Dans les sécheurs l'énergie de soleil se transforme en énergie thermique à travers un capteur solaire ; Ce dernier est l'élément principal dans le sécheur.

I. 2 Le soleil

Le Soleil est le cœur de notre système solaire. C'est lui qui permet, par son attraction gravitationnelle, aux corps du système solaire de rester ensemble et qui fournit l'énergie nécessaire à divers processus physiques et chimiques ayant lieu dans le système solaire. Sans lui, le système solaire n'aurait jamais pu être tel qu'il est maintenant, et nous ne serions pas là pour en discuter. [1]

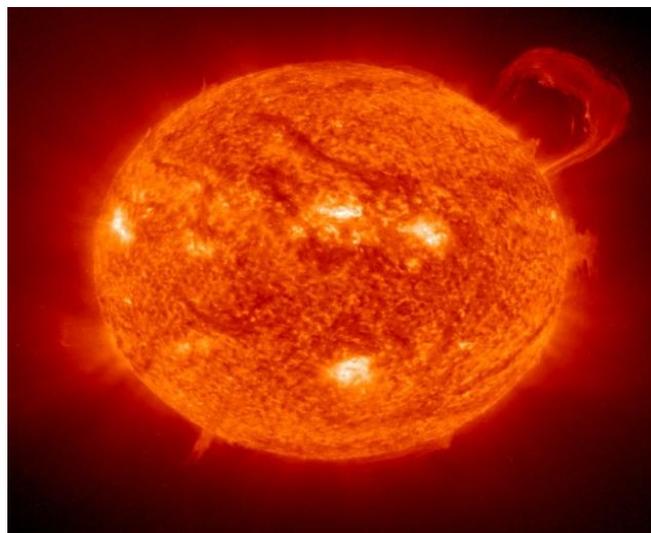


Figure I. 01 : Présentation du soleil.

I. 3 L'énergie solaire

Par définition, l'énergie solaire est l'énergie dont la matière première est le soleil. Elle est gratuite, inépuisable et en plus disponible dans le monde entier. Synonyme d'écologie, cette source d'énergie est en plus propre c'est-à-dire qu'elle n'émet aucun gaz à effet de serre. Depuis la nuit des temps on utilise l'énergie issue du soleil pour apporter de la chaleur et le

maximum de lumière naturelle dans les maisons. Simple la technique tient compte de l'architecture, l'orientation et les matériaux du bâtiment de manière à ce que celui-ci soit chauffé et éclairé par l'énergie solaire passive. [2]

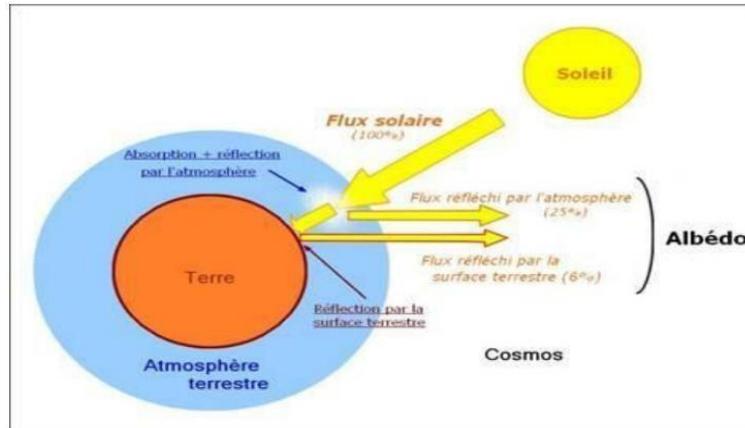


Figure I. 02: Flux de la lumière solaire [3].

I. 3. 1 Les différents types d'énergie solaire

On compte trois types d'énergie solaire catégorisés selon leurs méthodes de production [4] :

- L'énergie solaire thermique.
- L'énergie solaire photovoltaïque.
- L'énergie solaire thermodynamique.

I. 3. 2 Rayonnement solaire

Le rayonnement est le transfert d'énergie par ondes électromagnétiques. Le rayonnement se produit directement de la source vers l'extérieur dans toutes les directions ; il y a :

- Le rayonnement solaire direct.
- Le rayonnement diffus D.
- Le rayonnement global G.

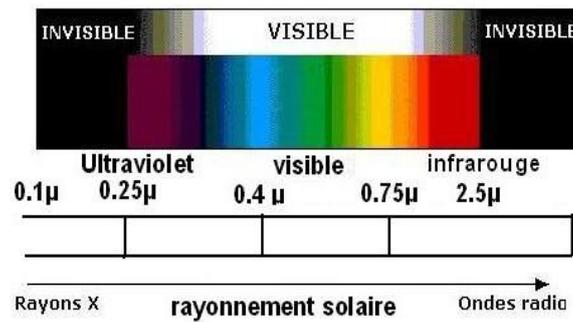


Figure I. 03 : La longueur d'onde de rayonnement solaire [5].

I. 4 Généralité sur les séchoirs solaires

I. 4. 1 Séchage

Le séchage est une opération ayant pour but d'éliminer partiellement ou totalement l'eau d'un corps humide par évaporation d'eau par le chauffage de l'air ; généralement un capteur solaire qui sert à chauffer l'air ambiant et la chambre de séchage qui sert à disposer du produit à sécher comme les légumes, la viande, les dattes et le poisson, etc.

I. 4. 2 Classification des séchoirs solaires

Les séchoirs solaires sont classés généralement selon le mode de chauffage ou le mode de leur fonctionnement en plusieurs catégories :

- Les séchoirs solaires directs.
- Les séchoirs solaires indirects.
- Les séchoirs solaires hybrides.
- Les séchoirs solaires mixtes.

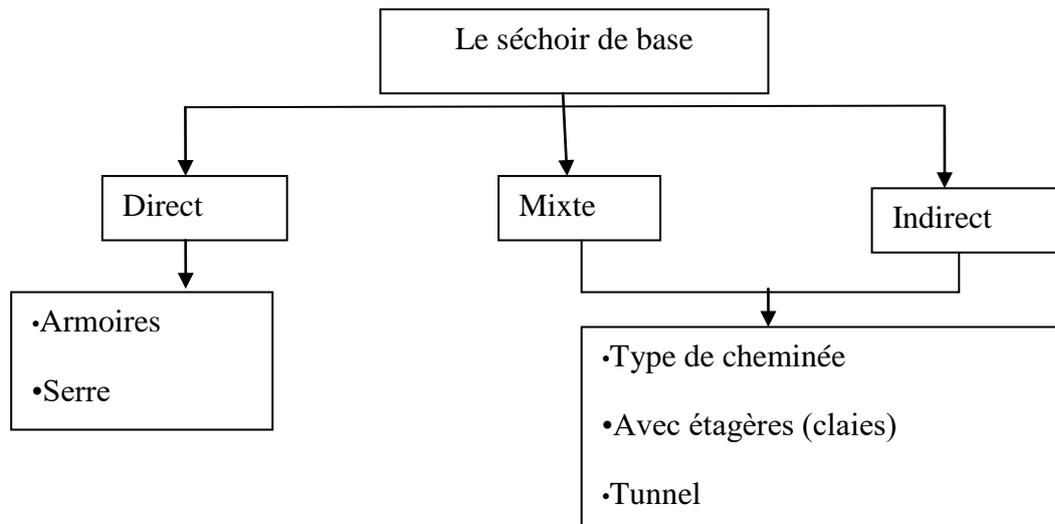


Figure I. 04 : Différents types de séchoirs solaires de base [8].

I. 4. 3. 1 Les séchoirs solaires directs

Les séchoirs solaires directs sont des dispositifs simples à utiliser et à construire. Ils offrent de large possibilités de conception : du séchoir coffre à plateau et adapté à la petite production, au séchoir cabane qui permet de traiter de grandes quantités.

I. 4. 3. 1. 1 Principe de fonctionnement

Les rayons solaires frappent directement les produits. Le séchoir solaire direct se compose d'une seule pièce qui fait office à la fois de chambre de séchage et de collecteur solaire. Le fond de la chambre de séchage est peint en noir pour augmenter la capacité d'absorption de chaleur, une feuille de plastique ou polyéthylène transparent sert généralement de toit mais on peut également utiliser d'autres matériaux plus chers comme le verre ou les plastiques spéciaux (polyéthylènes agricoles). [8] [9]

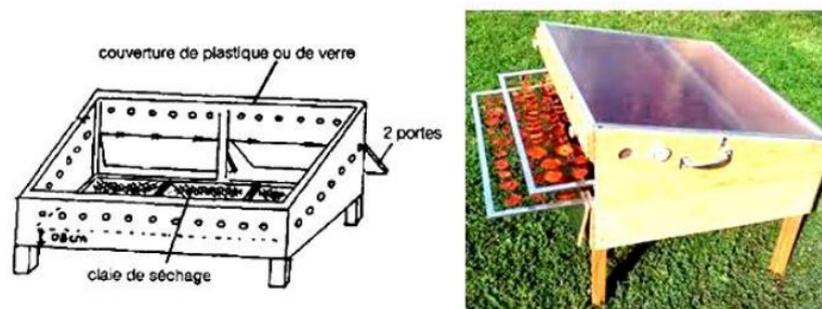


Figure I. 05: Boîtier de séchage direct [10].

I. 4. 3. 2 Les séchoirs solaires indirects

Ces systèmes sont plus performants que les séchoirs directs, ils présentent l'avantage de mieux préserver les caractéristiques de l'aliment : sa couleur, son aspect, sa valeur nutritive. Ils sont donc particulièrement adaptés au séchage des produits alimentaires. [11] [12]

I. 4. 3. 2. 1 Principe de fonctionnement

Le séchoir solaire indirect se compose de parties : un collecteur qui convertit le rayonnement solaire en chaleur, une chambre de séchage qui contient le produit et une cheminée. L'air pénètre dans le collecteur ; il est chauffé sa température augmente. L'air chaud monte par convection naturelle jusqu'à la chambre de séchage. La durée de séchage est très variable selon les conditions climatiques. [12]

I. 4. 3. 3 Les séchoirs hybrides

Les recherches se sont orientées vers les séchoirs hybrides utilisant une énergie d'appoint : fuel, électricité, bois, gaz l'apport d'énergie supplémentaire peut se situer à deux endroits différents du séchoir :

- Maintenir la température constante dans le séchoir par un brûleur à gaz, une résistance électrique, un feu du bois. Dans ce cas l'énergie solaire devient secondaire, elle permet simplement de préchauffer l'air.
- Augmentation de la circulation de l'air par des ventilateurs électriques, ici l'énergie solaire reste la source de chaleur mais le séchoir a une capacité d'évaporation plus importante grâce à une meilleure ventilation. [8] [14]

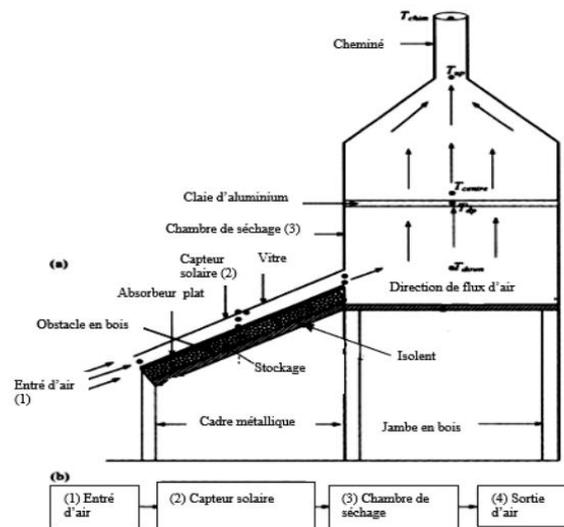


Figure I. 06 : Schéma descriptif d'un séchoir indirect [13].

I. 4. 3. 4 Les séchoirs mixtes

Ces séchoirs combinent les dispositifs des séchoirs directs et indirects. Dans ce type de séchoirs, l'action combinée du rayonnement solaire direct sur le produit à sécher et le capteur solaire est de fournir la chaleur nécessaire pour le processus de séchage. [8] [15]

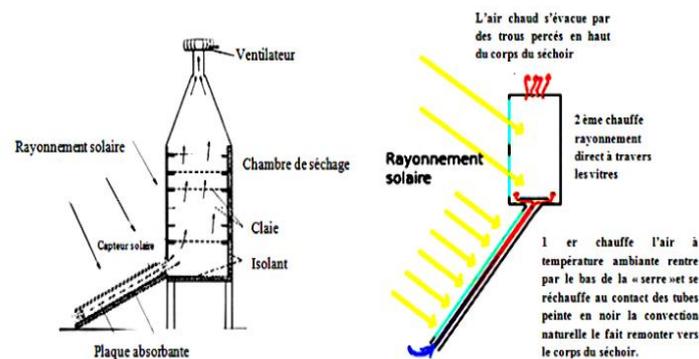


Figure I. 07: Schéma descriptif d'un séchoir mixte [16].

I. 4. 4 Domaine d'utilisation

Le séchage industriel est de nos jours très couramment utilisé dans les industries chimiques ou des matériaux [16]. Cette technique a plusieurs utilisations dans les pays en voie de développement dans la vie de tous les jours :

- Industrie agroalimentaire
- Industrie du bois.
- Bouchons de liège.
- Fonderie.

I. 4. 5 Différents méthodes du séchage

C'est l'élimination du liquide par des forces purement mécaniques (pressage, centrifugation). Certains processus de pré concentration et de pré séchage peuvent se réaliser sans transfert thermique mais par simple transfert de quantité de mouvement.

Opération	Technique	Mécanisme	Applications
Concentration	Centrifugation	Sédimentation force	Just de tomate
	Filtration	Tamissage	Boues résiduelles
	Ultrafiltration	Tamissage moléculaire	Lactosérum
Séchage	Egouttage	Gravité	Fromage
	Essorage	Tamissage	Cristaux de sucre
	Pressage	Expression	Fourrages

Tableau I. 01 : Quelques exemples des méthodes de séchage.

Selon la conversion d'énergie on distingue deux catégories de capteurs solaires :

- Capteurs solaires thermiques.
- Capteurs solaires photovoltaïques.

Dans notre travail on s'intéressera uniquement au capteur solaire thermique. [17]

1. 5 Capteurs solaires thermiques

Ce sont des capteurs qui transforment l'énergie solaire en énergie thermique, utilisés pour le chauffage des locaux, la production d'eau chaude sanitaire à basse température, on distingue deux catégories de capteurs solaires thermiques :

- Capteurs à circulation de liquide.
- Capteurs à air.

Dans notre étude nous avons un prototype de capteur plan à air donc nous intéressons à les capteurs solaires à air.

I. 5. 1 Capteurs à circulation de liquide

Ce sont des capteurs où le fluide caloporteur qui circule à travers un circuit solaire c'est un liquide (eau, huile, un fluide thermique, antigel).

Les capteurs solaires à circulation de liquide les plus répandus sont :

- les capteurs plans.
- les capteurs à concentration. [6]

I. 5. 2 Définition capteurs solaires plans

Les capteurs solaires plans à air transforment l'énergie radiante du soleil en énergie thermique extraite par l'air en écoulement dans le capteur. Cette énergie est utilisée dans différentes applications solaires, comme par exemple, le séchage des grains ou du bois, le chauffage des locaux industriels ou à usage d'habitation, ainsi que dans la réfrigération solaire. Plusieurs types de capteurs à air ont été construits et testés à travers le monde dont l'objectif principal étant de collecter le maximum d'énergie solaire à un coût minimum. [18]



Figure I. 08: Capteur solaire plan à air exposé au soleil [19].

I. 5. 3 Les types de capteurs solaires plans

Il existe trois types de capteurs solaires plans :

- Capteurs plans vitre.
- Capteurs plans non vitre.
- Capteurs plans à haute performance.

I. 5. 3. 1 Capteurs plan vitré

C'est un élément très simple, comportant un absorbeur métallique qui transforme le rayonnement solaire en chaleur, transmet cette chaleur à un liquide caloporteur, cet absorbeur est monté dans un boîtier isolé recouvert d'un verre ou feuille en matière synthétique hautement transparente. L'absorbeur comporte une couche noire souvent sélective qui absorbe efficacement le rayonnement solaire et réduit les pertes par rayonnement d'une. [6]

Le schéma suivant présente la structure d'un capteur plan vitré Figure I.09.



Figure I. 09 : Capteurs solaire plan vitré [20].

I. 5. 3. 2 Capteurs plans non vitrés

Ce capteur est le plus simple que l'on puisse imaginer, son application usuelle est le chauffage de piscine en plein air, se compose d'un réseau de tubes noirs accolés les uns aux autres. [6]

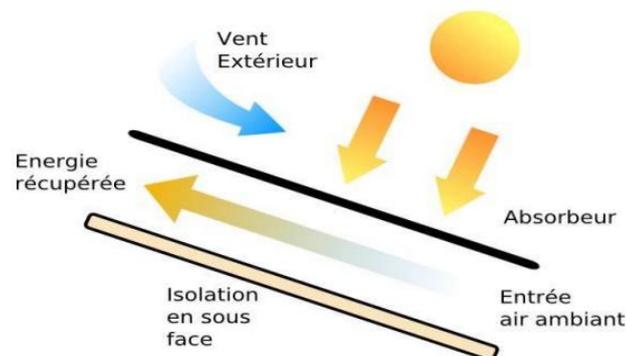


Figure I. 10 : Capteur solaire plan non vitré [21].

I. 5. 3. 3 Capteurs plans sous vide

Les capteurs sous vide permettent d'atteindre des températures plus élevées (jusqu'à 120°C). Ils sont constitués de tubes en verre dans lesquels se trouve un absorbeur sélectif.

Le vide réalisé dans les tubes permet de diminuer fortement les pertes thermiques du capteur, l'autre avantage de ce capteur est de pouvoir être disposé suivant n'importe quelle inclinaison ce qui facilite son intégration.



Figure I. 11 : Capteur solaire à tube sous vide [21].

I. 5. 4 Principe de fonctionnement

Le principe de capteur solaire à air est basé sur la réalisation de l'effet de serre, il repose sur le fait que le verre transmet la quasi-totalité du rayonnement solaire dont les longueurs d'onde sont grandes.

Lorsque le flux solaire traverse la vitre, il chauffe la plaque placée derrière ; celle-ci émet à son tour un rayonnement thermique de grandes longueurs d'onde (IR) qui ne peut pas traverser la vitre, il se trouve donc piégé à l'intérieur du capteur, c'est à dire :

La conversion rayonnement-chaaleur s'effectue en surface de l'absorbeur : les photons qui le frappent sont absorbés par la matière et augmentent l'agitation des molécules, et donc la température du matériau exposé au rayonnement va s'élever. Cette énergie accumulée par l'absorbeur est cédée au fluide caloporteur (air) au contact thermique.

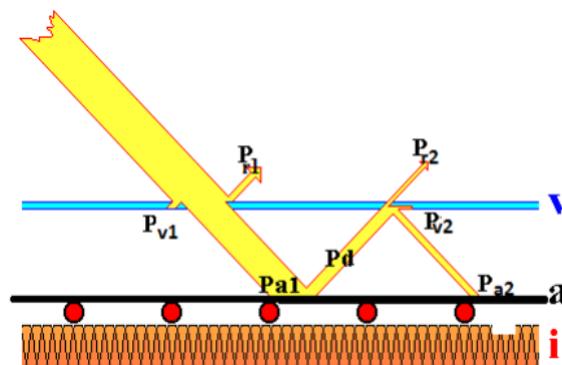


Figure I. 12: Principe de fonctionnement.

Le rayonnement solaire symbolisé par les flèches jaune, ne traverse pas entièrement le vitrage du capteur car une petite partie (Pr1) est réfléchiée par la vitre, surtout si l'angle d'incidence est fort. Malgré l'excellente transparence du verre, une petite partie (Pv1) de l'énergie reçue sera absorbée par le verre. Du rayonnement reçu par l'absorbeur, une partie (Pd) sera ré-rayonnée ou communiquée à l'air ambiant par convection. Une partie (Pr2) de Pd va traverser la vitre et sera perdue définitivement, une autre partie (Pv2) sera absorbée par la vitre et le reste retournera vers l'absorbeur (Pa2). On négligera les pertes au travers de l'isolant. [22]

I. 5. 5 Les composants des capteurs solaires

Il se compose des éléments suivant : le vitrage (couvercle), l'absorbeur, l'isolant, le fluide caloporteur et le boîtier.

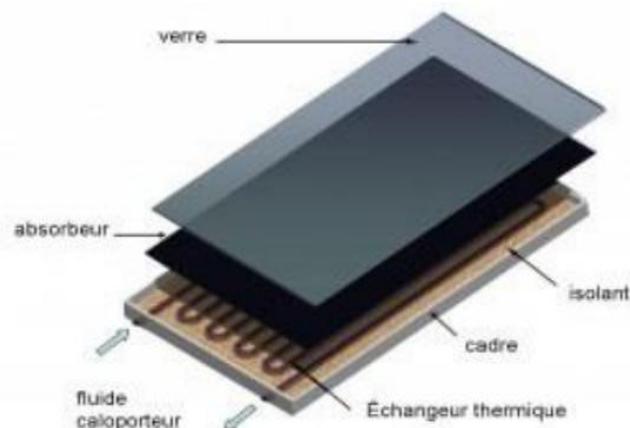


Figure I. 13 : Composants d'un capteur solaire plan.

I. 5. 5. 1 Le vitrage (couvercle)

La couverture a une fonction de protection de l'absorbeur, mais elle joue aussi un rôle important dans le bilan thermique en réduisant les pertes de chaleur. Habituellement, on utilisera le verre comme couverture transparente. [23]

I. 5. 5. 2 Les polycarbonates

Sont des dérivés de matières plastique à double et à triple lame très fine, reliées entre elles par une multitude de parois pour former des cavités alvéolaires, ces dernières réduisent le mouvement de l'air incarcéré dans cet espace, et permettent de minimiser les pertes thermiques par convection vers l'avant. [24]

I. 5. 5. 3 L'absorbeur

C'est l'élément essentiel du capteur solaire. Il a pour rôle d'absorber le rayonnement solaire, ensuite le transformer en chaleur et enfin transmettre cette chaleur au fluide caloporteur

1. 5. 5. 3. 1 Différent revêtement utilisé

I. 5. 5. 3. 1. 1 la peinture noire

La peinture mate noire du commerce permet d'obtenir un coefficient d'absorption α compris entre 0,9 et 0,95. Mais le degré d'émission ε lui est très élevé (0,85). [25]

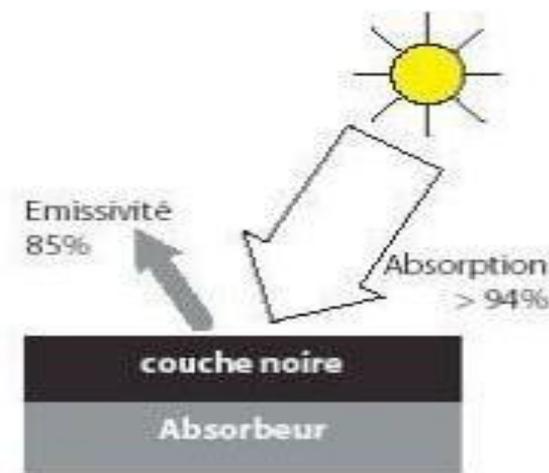


Figure I. 14: Peinture noire sur absorbeur [26]

I. 5. 5. 3. 1. 2 Oxyde de chrome

Le revêtement en "black chrome" (couleur noire) est composé d'oxyde de chrome déposé sur une sous-couche de nickel, son coefficient d'absorption α est de 0,95 et son coefficient d'émission ε de 0,12 à 0,18.

I. 5. 5. 3. 1. 3 Traitement sous vide

Ce procédé consiste à déposer différents métaux (titane, ...) sur la surface absorbante en présence du vide. Le coefficient d'absorption α obtenu est supérieur à 0,95 et le coefficient d'émission ε , inférieur à 0,05. [27]

I. 5. 5. 4 L'isolant

Limiter les pertes de transmission vers l'extérieur est primordial pour optimiser les performances du capteur [28]. Les isolants généralement utilisés sont la laine de verre et les mousses polyuréthanes. Leur épaisseur varie de 4 à 8 cm.

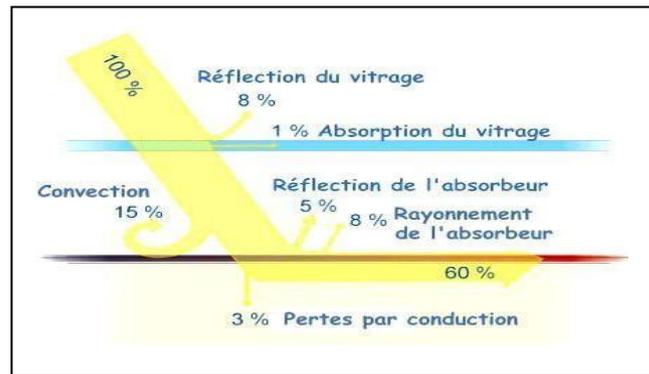


Figure I. 15: Schéma des différentes pertes [29].

I. 5. 5. 5 Le fluide caloporteur

Le fluide caloporteur est utilisé dans le circuit primaire de capteur solaire a pour rôle de véhiculer la chaleur cédée par l'absorbeur.

Les fluides caloporteurs plus utilisée sont :

- l'air.
- L'eau.
- Les gyltherms. [30]

I. 5. 5. 6 Le boîtier

Il contient les trois éléments cités précédemment et dont les parois sont tapissées d'une couche isolante destinée à réduire les pertes vers l'arrière et les côtés du capteur, il doit être solide et résistant à la corrosion.

I. 5. 6 Principales catégories de capteurs solaires plans

On distingue deux catégories de capteurs solaires plans : les capteurs **passifs** et les capteurs **actifs**.

Les séchoirs solaires actifs (ou à convection forcée) utilisent des ventilateurs pour forcer la circulation de l'air chauffé dans l'unité de séchage. Les séchoirs passifs (ou à convection naturelle) utilisent une cheminée aménagée au sommet de la chambre de séchage pour le tirage et la circulation de l'air dans le séchoir. Les séchoirs à convection naturelle sont souvent inefficaces puisque la circulation de l'air est généralement mauvaise. [31]

I. 6 Conclusion

À travers cette étude bibliographique qui regroupe les différentes définitions sur l'énergie solaire, type de sécheur et les capteurs solaires pour améliorer les performances thermiques

des séchoirs solaires. Ce chapitre on a permis d'avoir une étude approfondie sur l'utilisation de l'énergie solaire dans le domaine du séchage.

Chapitre II : Recherche bibliographique

II. 1 Introduction

En raison de l'amélioration de l'air dans le capteur solaire plan à air destiné au séchage; le développement scientifique et technique a permis d'augmenter les performances thermique ou dynamique de capteur solaire. Plusieurs types de séchoir solaire à différent types de capteur sont créés; Ces derniers offrent généralement une meilleure performance et une efficacité de conversion d'énergie thermique plus élevée pour mieux préserver le produit agroalimentaire à sécher.

II. 2 Présentation quelque recherches

Actuellement, de nombreux chercheurs ont apporté plusieurs améliorations à la technologie de séchage solaire avec des études numérique, expérimentale et mathématique.

Mesut Abuska et al [32] ont étudié expérimentalement un séchoir solaire indirect et le compare au cas simple (Type I). Le capteur solaire d'air ayant des ressorts coniques sur la plaque absorbante (Type II). Le débit d'air qui varie entre 0,06 et 0,07 kg /s, la géométrie de la surface du collecteur et L'efficacité thermique maximale est obtenue comme des indicateurs de performances thermique. L'efficacité thermique du sécheur était de 50,4 et 65,9 % pour les types I et II, respectivement. L'amélioration du transfert de chaleur est observée pour le type II par rapport au type I. Les ressorts assurent un bon flux d'air sur le plaque absorbante, surface plus élevée, effet d'ombrage plus faible et réduire les zones mortes dans le collecteur.

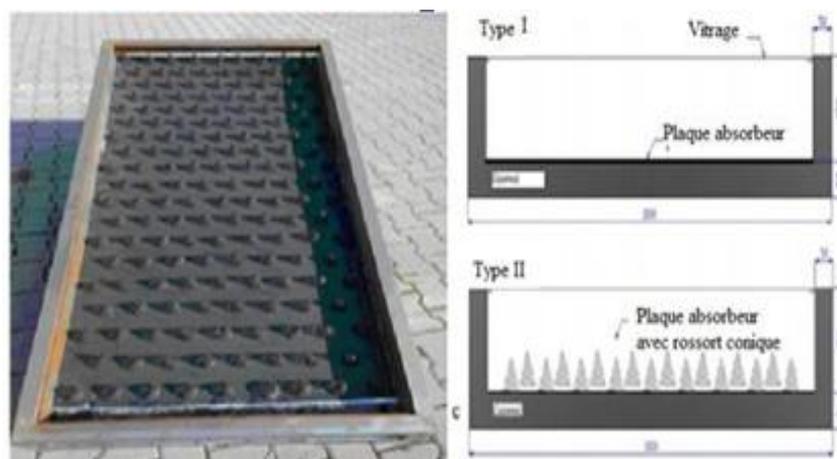


Figure II. 01 : Le montage expérimental [32].

Dans l'étude de **N. Moumni et al [33]** ont réalisé une étude expérimentale traitant des absorbeurs de type différents. Ils ont utilisé des obstacles de forme rectangulaire insérés perpendiculairement à l'écoulement ; Le fluide s'écoule entre les ailettes d'une même rangée,

cela permet une bonne répartition du fluide et diminue les zones mortes. Les résultats sont comparés à ceux obtenus avec un capteur solaire à air sans ailettes. Ils ont conclu que l'ajout des ailettes permet d'augmenter le transfert de chaleur.

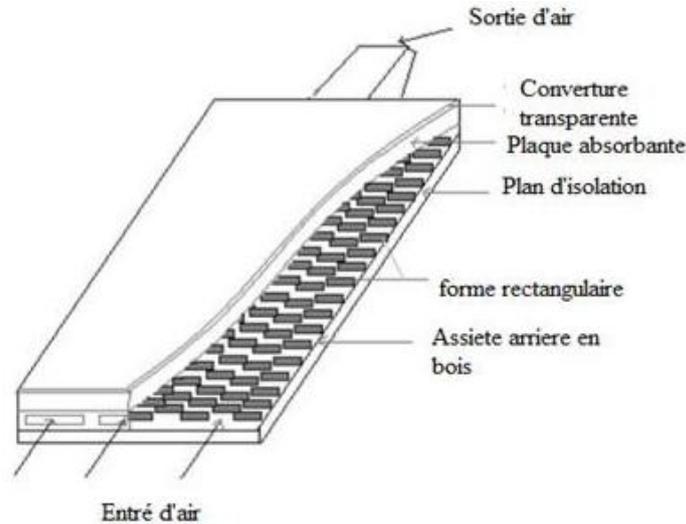


Figure II. 02 : Collecteur avec système à ailettes sur la plaque arrière en bois [33].

Une autre étude effectuée par **M.A.S.M. Tarminzi et al [34]**, Cet article présente une étude expérimentale comprenant deux capteurs solaires disposés en parallèle et en série sur un système de séchage solaire à convection forcée pour évaluer l'effet du type d'agencement sur le rendement thermique. Les expériences ont été menées en utilisant un rayonnement solaire artificiel qui varie de 300 à 900 W/m² avec une vitesse de l'air de 0,5 à 2 m/s. Les résultats montrent que la disposition parallèle des capteurs solaires conduit à une température de l'air à l'intérieur de la chambre de séchage plus élevée que la série. L'efficacité thermique de 33,89 % est obtenue pour la configuration parallèle que la série de 27,73.

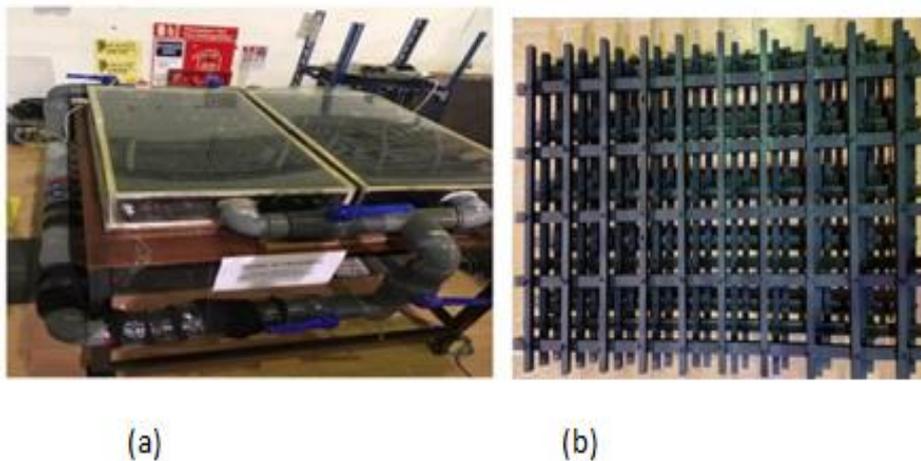


Figure II. 03 :(a) Configurations de Collecteurs solaires ;(b) Absorbeur matriciel.

L'étude expérimentale de **Romdhane Ben Slama et al [35]**, ont montre la dépendance de la température et la vitesse de l'air de séchage au produit à sécher dans un sécheur indirect en principalement la surface du produit en contact avec l'air de séchage. Dans ce travail ils ont introduit un capteur utilisé à deux conduits d'air: Le premier est entre le vitrage et l'absorbeur. Le deuxième est entre l'absorbeur et l'isolant comprenant des chicanes et dans lequel l'air circule. Pour cela l'efficacité du capteur atteint 80% et par conséquent, conduit à un rendement total du séchoir égal à 28%.

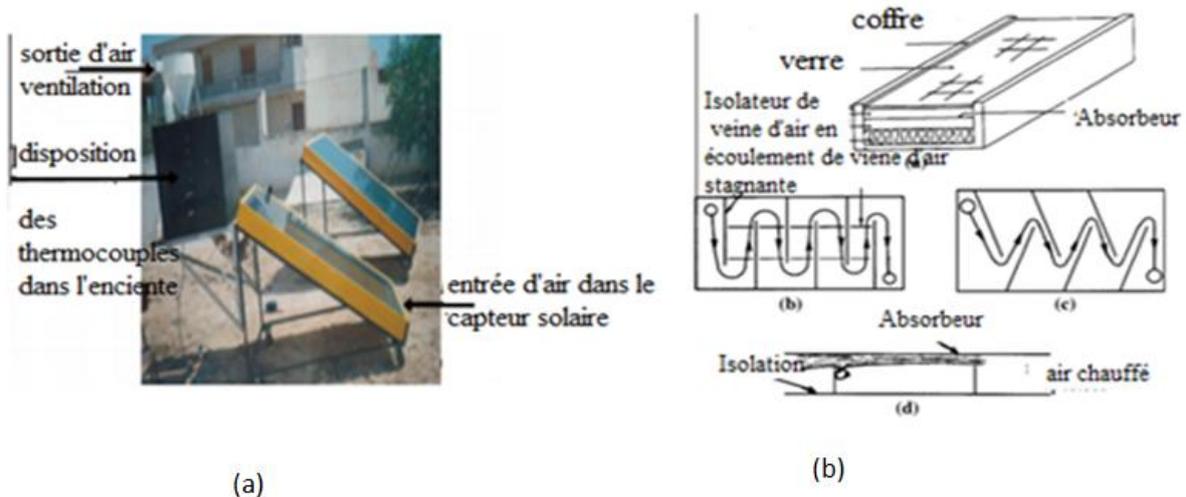


Figure II. 04 : (a) Photographie du sécheur indirect ;(b) Détail du capteur solaire d'air montrant [35]

S.Youcef-Ali [36], présenté un travail expérimentale d'un capteur solaire équipé a ailette pour améliorer les performances thermiques avec une comparaison de l'effet de deux types de couverture transparente, double et triple. Le capteur qui contient des ailettes rectangulaires ont orientées parallèlement à l'écoulement du fluide et sont soudés sur la face inférieure de la plaque absorbante .Ils ont constaté que les performances thermiques sont obtenues avec de faibles consommation électrique du ventilateur par rapport au capteur plat et que le double vitrage donne un rendement thermique plus faible que le triple vitrage.

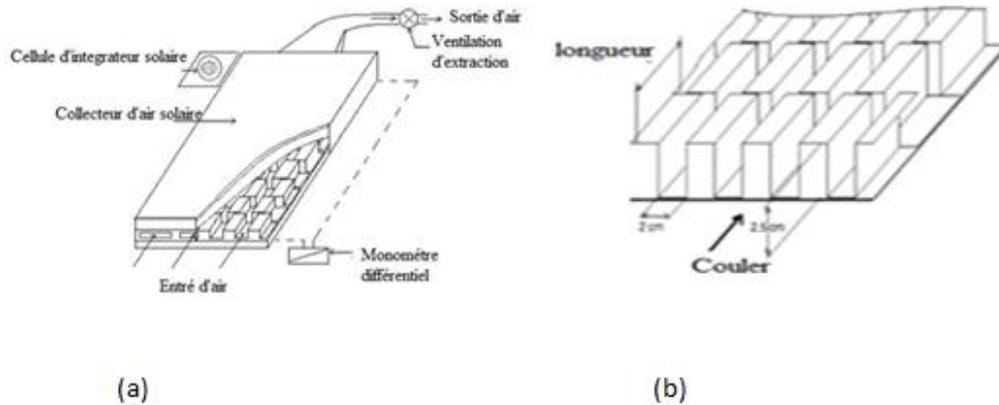


Figure II. 05 : (a) Configuration expérimentale ; (b) Plaque absorbante à ailettes.

T. Bhattacharyya et al. [37] ont effectué théoriquement une étude sur les effets du nombre et de la taille des ailettes rectangulaires attachées dans un capteur solaire à air. Ils ont constaté que la température de l'air à la sortie augmente avec l'augmentation du nombre des ailettes et diminue quand celui-ci dépasse à 80 ailettes. Cette diminution est causée par la forte chaleur spécifique de l'aluminium. Les résultats ont montré aussi que l'augmentation du nombre et de la hauteur des ailettes est influencée sur la chute de pression.

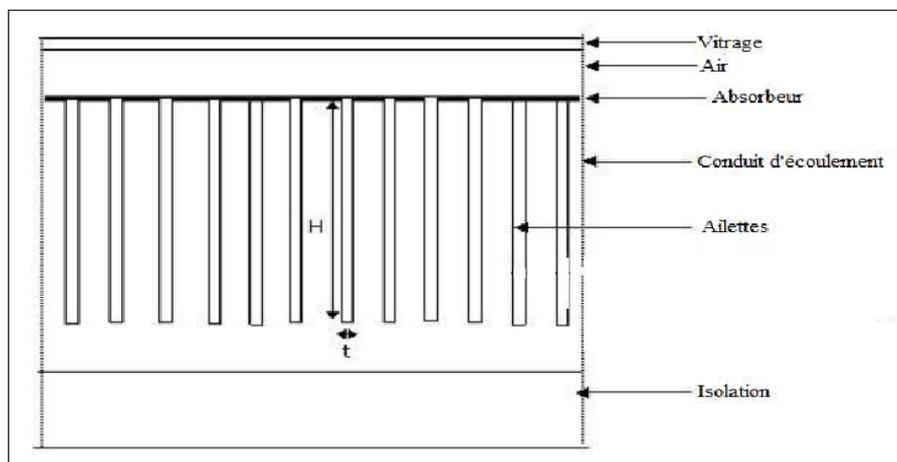


Figure II. 06 : Schéma de principe du réchauffeur d'air solaire à plaques à ailettes [37].

A.Labed et al [38], ont effectué une étude expérimentale du séchage dans un séchoir solaire indirect à convection forcée pour des différentes configurations étudiées à savoir d'introduire différentes géométries de rugosité dans la veine d'air mobile, inverser le sens de l'écoulement

de l'air dans le capteur et faire circuler le fluide caloporteur a double passage .De ce fait, les résultats est montre que l'adjonction de chicanes de forme trapézoïdales avec une incidence normale à l'écoulement, paraît la plus avantageuse par rapport à celle des chicanes rectangulaires . Dans les deux cas le rendement du capteur est nettement supérieur à celui d'un capteur sans chicanes, une amélioration de 15 % pour un débit de $80 \text{ m}^3 / \text{h}$ est remarquée.

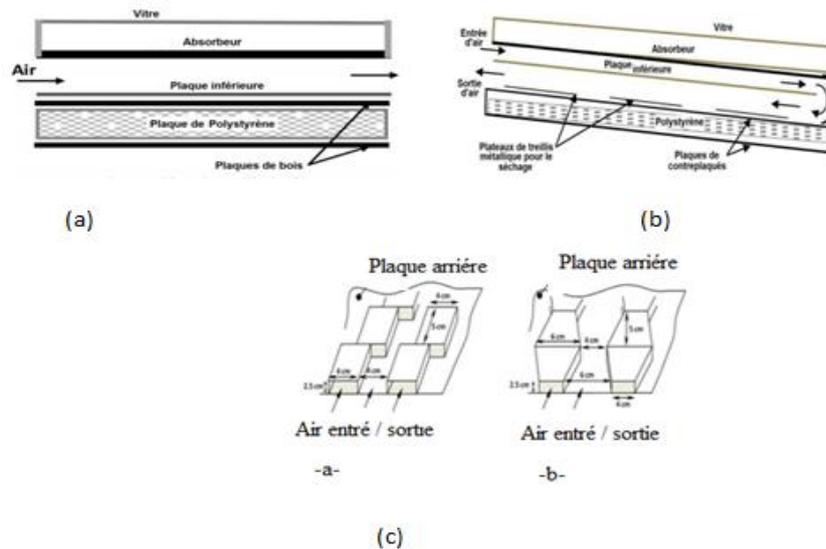


Figure II. 07 : (a) Schéma du modèle étudié ;(b) Schéma du capteur (double passage d'air) ;(c) Schématisation des différentes formes des obstacles utilisés [38]

K. Aoues. [39] est présente une série de tests expérimentaux sur un capteur solaire plan d'une surface de captation de 1.74 m^2 conçu au laboratoire et expérimenté dans la région de Biskra. L'installation expérimentale complète comprend la mesure du rayonnement solaire global, le débit d'air et les températures de l'air à l'entrée et à la sortie de capteur. Afin d'optimiser les performances thermiques, le capteur a été garni dans sa veine d'air dynamique de rugosités artificielles de différentes formes (model-1 et model-2) et différents arrangements (A et B) comme montrée la figure **II. 08**. Ils ont conclure que l'adjonction de ces obstacles dans le parcours offert au fluide caloporteur permet d'augmentation de l'échange thermique avec l'absorbeur. Il a été établi que la géométrie de passage dans la section droite perpendiculaire à l'écoulement joue un rôle important. Ainsi la comparaison entre les performances des quatre configurations étudiées a abouti au choix de la configuration B1 (chicanes modèle-1) comme étant celle qui a permis d'obtenir le meilleur rendement.

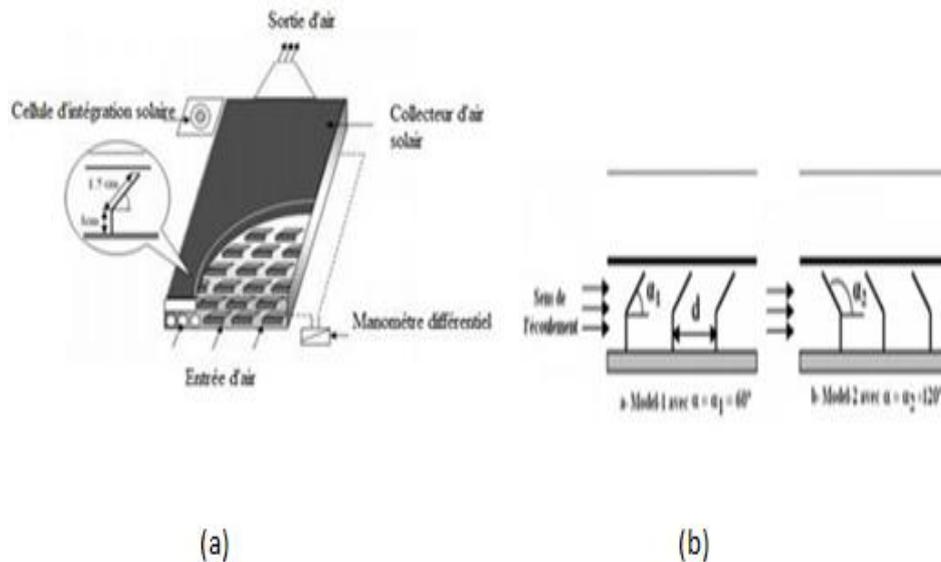


Figure II. 08 : (a) Schéma du dispositif expérimental ; (b) Schéma descriptif des chicanes [39].

Md Azharul Karim et al [40] ont développé et étudiés un nouveau concept de capteur solaire à ailettes et ondulées en V expérimentalement et Théoriquement dans le but d'améliorer les performances des aérothermes conventionnels. L'étude analytique et expérimentale détaillée a été menée pour évaluer les performances thermiques des trois types de capteurs solaires d'air dans une large gamme de conditions de fonctionnement. Un collecteur plat avec un seul passage, un collecteur ondulé en V et en Double passage.

L'augmentation était la plus significative dans le collecteur à assiettes plates et moins dans le collecteur à rainure en V. L'efficacité des trois collecteurs augmentée avec le débit de l'air est saturé au débit de $0,056 \text{ kg} / \text{m}^2 \text{ s}$. les résultats montrent que le collecteur ondulé en V a donné une meilleure efficacité a la fois simple et double passage, également structurellement stable, ce collecteur a été considéré principalement utile pour les applications de séchage.

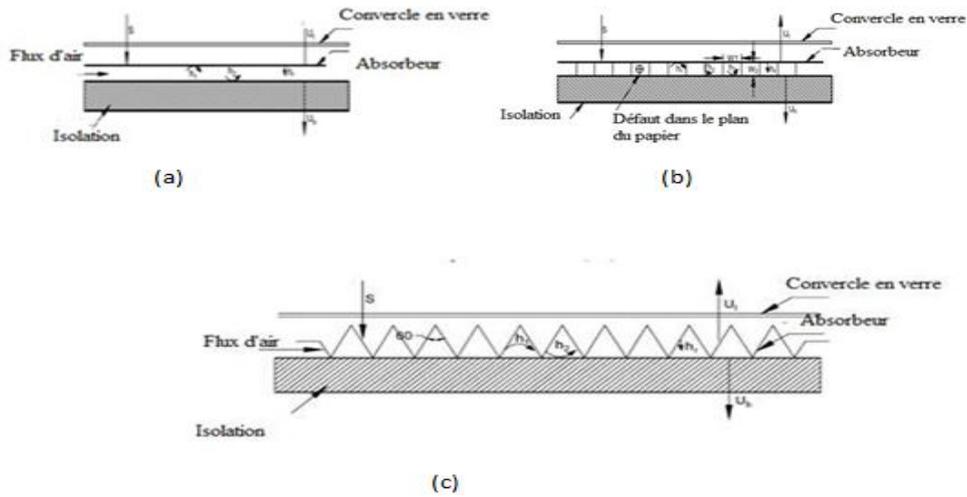


Figure II. 09 : (a) Collecteur plaque plate ;(b) Collecteur à ailettes ; (c) Collecteur d'air à rainure en V [40].

Abhay Lingayat et al [41] ont étudié expérimentalement un sécheur solaire se compose d'un collecteur d'air à plaque plane solaire avec absorbeur ondulées en V, chambre de séchage isolée et cheminée pour l'air évacué. La superficie totale des collectionneurs est 2 m^2 . La taille de l'armoire de séchage est de $1 \text{ m} \times 0,4 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ (largeur, profondeur et hauteur). Des expériences ont été réalisées et ont attesté que le type indirect de séchage solaire est plus efficace que le séchage au soleil ouvert car il réduit le temps de séchage. Les résultats montrent que L'efficacité thermique du séchoir solaire a été estimée à environ de 31,50%.

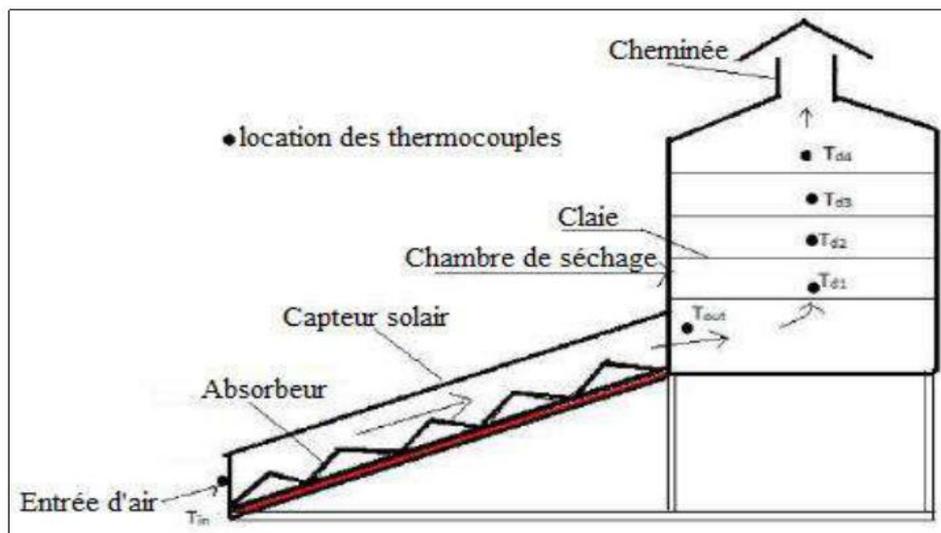


Figure II. 10: Vue schématique du montage expérimental [41].

Dans le travail d'Essalhi Hajer et al [42], présente une nouvelle visualisation de l'absorbeur d'un collecteur d'air pour un sécheur solaire indirect. Cet absorbeur se compose de deux feuilles d'aluminium ondulé. Les deux plaques ondulées sont installées pour former des cylindres parallèles qui permettent à l'air de circuler sur la longueur du collecteur. Des essais expérimentaux sous convection naturelle ont été réalisés afin d'évaluer ces performances thermiques. Ils ont constaté que le séchoir solaire avec ce type d'absorbeur a permis d'améliorer considérablement l'efficacité du séchage, la masse des échantillons de poire a été réduite de 997.3g à 135.13g. En plus, la conception de ce modèle d'absorbeurs donne les meilleures performances thermiques.

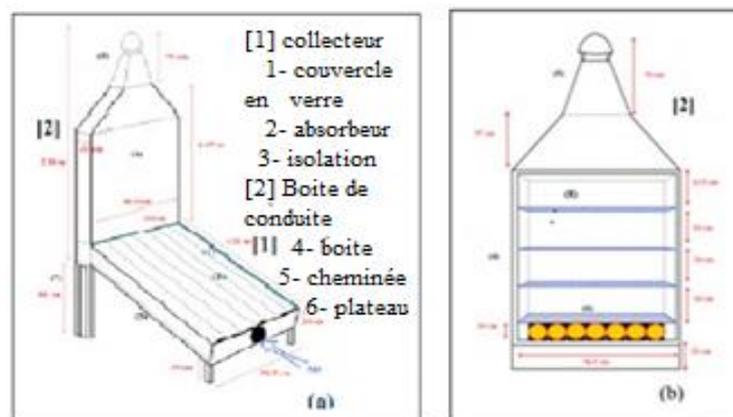


Figure II. 11 : (a) Description schématique du système de séchage ; (b) Chambre de séchage [42].

Le document d'Arumugam Balasuadhakar [43], est basé sur Les différentes études réalisées dans des types de sécheur modes directs, indirects et mixtes. Les séchoirs pour le séchage des produits agricoles de l'année 2014 à 2020 ont été considérés comme l'examen. L'auteur a présenté une analyse complète sur les séchoirs solaires et a découvert les résultats suivants :

- Le séchoir à effet de serre avec isolation dans la paroi latérale nord est le séchage le plus efficace par rapport à la serre traditionnelle.
- l'augmentation de l'énergie thermique dans le séchoir par la convection forcée.
- L'utilisation d'un absorbeur poreux augmente la température du flux d'air et sa vitesse au niveau de la cheminée.

- Plus d'énergie et une plus grande efficacité sont obtenues par le capteur solaire hybride photovoltaïque en passif indirect séchoirs.
- Le réservoir de stockage d'eau intégré au séchoir indirect est utilisé pour le stockage de l'énergie thermique et fournit la chaleur pendant les heures d'ensoleillement.
- Le stockage d'énergie et de meilleures performances sont obtenus par un absorbeur à lit de galets peint en noir dans le séchoir à mode mixte.
- Le galet de roche utilisé comme stockage d'énergie dans l'absorbeur en béton du séchoir en mode mixte.
- Les meilleures performances en cas de faible rayonnement sont obtenues en intégrant le chauffage d'appoint avec le sécheur.
- Le séchoir à modes mixtes construit comme une tente affiche de meilleures performances.
- L'adoption de plusieurs plaques métalliques dans le concentrateur du sécheur en mode mixte montre la meilleure performance économique par rapport aux séchoirs actifs.



Figure II. 12 : Exemple de Sécheur solaire indirect avec matériau à changement de phase [43].

Samaneh Sami et al [44], ont étudié un modèle mathématique dynamique pour le séchage des produits agricoles dans un séchoir solaire indirecte (Figure 13) ; ce séchoir se compose à deux pièces qui doivent être modélisées séparément ; Le premier est un capteur solaire qui est similaire à un aérotherme et le second une chambre de séchage qui sécher le solide qui se trouve sur des plateaux à l'intérieur (claires). En utilisant les lois de conservation du transfert

de chaleur et de masse et les équations résolues numériquement dans les conditions transitoires, le modèle peut bien prédire les performances du séchoir solaire en armoire dans des conditions de fonctionnement instables. De plus, l'effet de certains paramètres de fonctionnement sur la performance et l'efficacité du sécheur est étudié et comparé avec des données publiées.

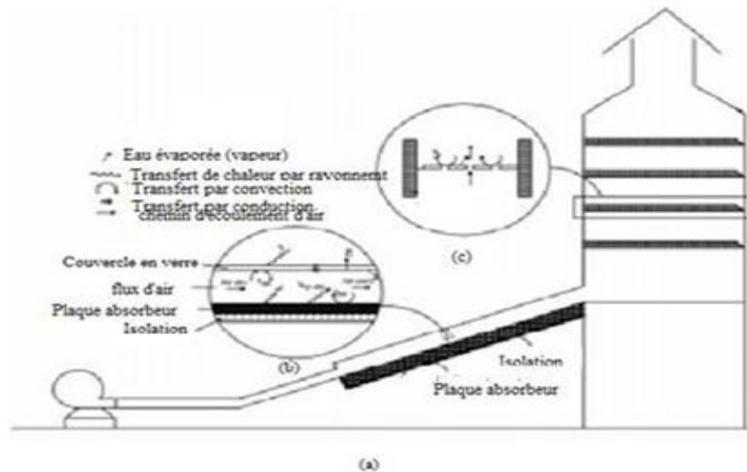


Figure II. 13 :(a) Schéma du séchoir solaire indirect [44].

Dans une autre étude expérimentale **S. Ould Amrouche et al [45]**, ont décrit le dispositif de régulation de la température et du débit de l'air dans le séchoir solaire. Ce séchoir est composé d'un contacteur électrique, d'un ventilateur et d'une résistance électrique destinée à fournir le chauffage. Il est noté que la température et l'humidité sont les paramètres les plus importants dans le processus de séchage des plantes aromatiques et médicinales. La régulation de la température de séchage permet la conservation des propriétés des produits séchés. L'alimentation du chauffage d'appoint par le réseau électrique sera remplacée par un système photovoltaïque constitué de modules et de batteries. Il est envisagé aussi la mise au point d'un variateur électronique de la vitesse du ventilateur en fonction de la température interne de la chambre de séchage.

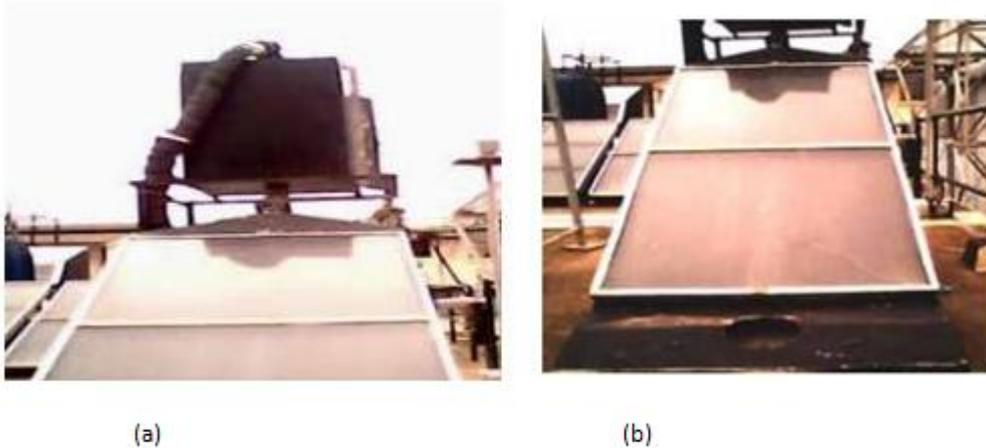


Figure II. 14 : (a) Séchoir expérimental ;(b) Capteur solaire à air [45].

L'étude de **Lyes Bennamoun [46]** est présente un article qui consacrer les méthodes courantes du stockage d'énergie thermique appliqué au séchage solaire avec la présentation des paramètres de conception optimaux pour le séchoir étudié. Il a été constaté que les matériaux les plus fréquemment utilisés pour le stockage d'énergie lors du séchage solaire sont Stockage à lit compact avec utilisation de roches, de sables ou de graviers. Le stockage de chaleur latente a trouvé une petite application pour le séchage solaire. De façon générale en fonction du produit séché, l'insert de Le stockage d'énergie thermique augmente l'efficacité des séchoirs solaire et permet de récupérer le surplus de solaires radiations pendant les périodes d'ensoleillement pour une réutilisation pendant périodes de faible ensoleillement.

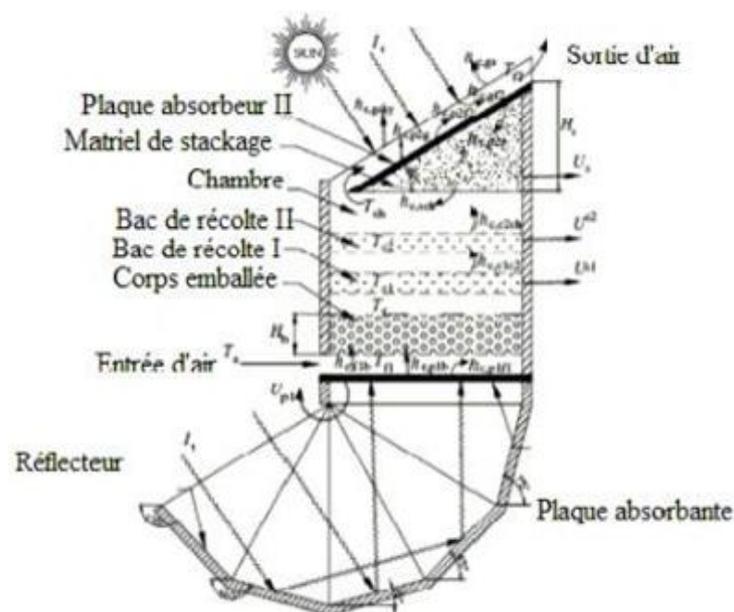


Figure II. 15 : Absorbeur inversé à accumulation thermique convectif naturel séchoir à récolte solaire [46].

II.3 Conclusion

A travers cette étude de ce chapitre, nous avons présenté les recherches obtenues à travers de différents travaux des chercheurs pour analyser le comportement dynamique et thermique de système de séchage. Cela, explique le recours à l'exploitation des séchoirs solaires surtout indirect qui connaissent un développement remarquable durant ces dernières années.

Chapitre III : Modélisation mathématique

III. 1 Introduction

A partir des chapitres précédents en basant sur les connaissances de capteurs solaires plans à air; il est remarqué qu'il n'y a pas de règles générales pour la conception de capteur, donc nous avons présenté dans ce chapitre l'étude mathématique et la description géométrique de notre capteur solaire d'un sécheur solaire.

III. 2 Mode de transfert thermique

III. 2. 1 Conduction

La conduction thermique est un mode de transfert thermique spontané d'une région de température élevée vers une région de température plus basse. Cette loi dite de Fourier établit que la densité de flux de chaleur est proportionnelle au gradient de température. [47]

Il existe dans le capteur solaire à air trois modes d'échange par conduction entre :

- La vitre : entre les faces supérieure et inférieure.
- L'isolant : entre les faces supérieure et inférieure.
- L'absorbeur et l'isolant.

-Loi de **fourier** s'écrit sous forme :

$$q = - K.S \overline{\text{grad}} T \quad (\text{III} - 1)$$

K : conductivité thermique (w/m.k)

q : le flux thermique (w)

III. 2. 2 Convection

Ce transfert d'énergie s'accompagne de mouvement interne générée dans une masse fluide (liquide ou un gaz). ce transfert peut notamment être dû entre différents points dans le capteur :

- La vitre et l'air extérieur
- La vitre et la plaque
- Le fluide et l'absorbeur
- Le fluide et l'isolant
- L'isolant et l'ambiance

L'échangeur de convection est établi par la loi de Newton :

$$q = h.S (T_p - T_f) \quad (\text{III} - 2)$$

q : Le flux échangé par convection

h : Coefficient de convection

S : Surface de la paroi solide

T_p : Température de la paroi solide

T_f : Température du fluide

III. 2. 3 Rayonnement

Le rayonnement est un transfert électromagnétique comme l'infrarouge peut se réaliser dans le vide sans la présence de matière. Dans cet échangeur existé entre :

- entre la vitre et le ciel.
- entre la vitre et absorbeur.
- entre l'isolant et le sol.

On utilise la loi de **Stefan-Boltzmann** :

$$q = \varepsilon \sigma (T_v^4 - T_c^4) \quad (\text{III} - 3)$$

σ : constante de Stephan Boltzmann

$$\sigma = 5,673 \times 10^{-8} \quad (\text{w/m}^2 \cdot \text{k}^4) \quad (\text{III} - 4)$$

ε : Coefficient d'émissivité sans unité.

T : température du corps (en kelvin).

III. 3 Bilan thermique globale de la paroi absorbante

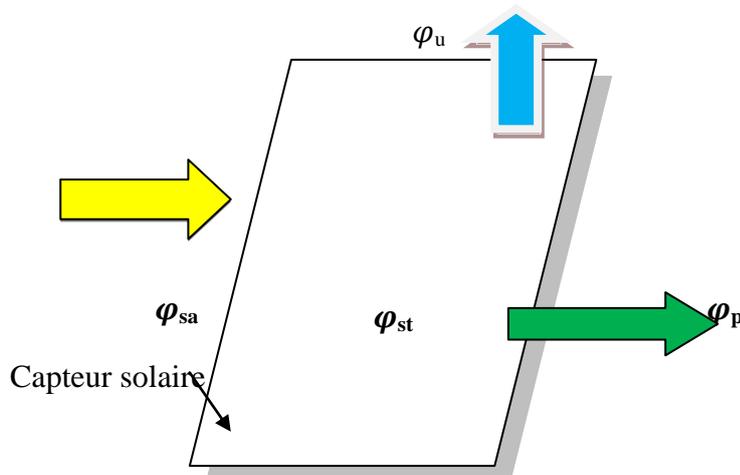


Figure III. 01 : schéma représentatif du bilan thermique d'un capteur solaire.

III. 3. 1 Le bilan thermique de la paroi absorbante

$$\varphi_{sa} = \varphi_{\bar{p}} + \varphi_u + \varphi_{st} \quad (\text{w}) \quad (\text{III-5})$$

φ_{sa} : Flux solaire absorbé.

$\varphi_{\bar{p}}$: Flux perdu par la paroi absorbante.

φ_u : Flux utile transmis au fluide caloporteur.

φ_{st} : Flux stocké dans le capteur.

III. 3. 2 Le flux stocké

$$\varphi_{st} = M_e \cdot C_{eau} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad (\text{w}) \quad (\text{III-6})$$

Où :

M_e : Masse en eau du capteur définie par : $\sum m_{ci} = M_e \cdot C_{eau}$

i : représentant les différent éléments constitutifs du capteur.

T : Température moyenne du capteur.

t : Temps

III. 3. 3 La puissance absorbée par un capteur donne par la relation suivante

$$\varphi_{sa} = \tau_{cs} \times \alpha_{ps} \times G_{(i,y)*} \times \mathcal{S} \quad (\text{III-7})$$

φ_{sa} : flux solaire absorbé par la surface exposé (W).

τ_{cs} : Coefficient de transmission de la couverture transparente par rapport au rayonnement solaire.

α_{ps} : Coefficient d'absorption de la paroi absorbante par rapport au rayonnement solaire.

$G_{(i,y)*}$: Eclairement (densité de flux) solaire incident sur le capteur ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)

\mathcal{S} : Surface de la paroi absorbante.

Dans le cas où le fluide caloporteur ne subit pas de changement d'état, le flux utile s'écrit:

$$\varphi_u = q_{cf} (T_{fs} - T_{fe}) \quad (\text{w}) \quad (\text{III-8})$$

Où:

q_{cf} = débit calorifique du fluide caloporteur ($\text{w} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$).

$$q_{cf} = \dot{m} \cdot cp \quad (\text{III-9})$$

\dot{m} : Le débit massique

C_p : capacité calorifique

T_{fs} : Température du fluide caloporteur a la sortie de l'absorbeur.

T_{fe} : Température du fluide caloporteur a l'entrée d'absorbeur.

III. 3. 4 Le flux perdu

Les déperditions thermiques du capteur sont mises sous la forme :

$$\varphi_{\vec{p}} = h_p (T_{pm} - T_a) S \quad (\text{w}) \quad \text{(III-10)}$$

Où:

h_p : Coefficient global de pertes du capteur.

T_{pm} : Température moyenne de la paroi absorbante.

T_a : Température de l'air extérieur.

La température moyenne T_{pm} dans le cas d'un capteur solaire plan on peut être calculé par :

$$T_{pm} = \frac{3T_{fs} + T_{fe}}{4} + \Delta T \quad (\text{c}^\circ) \quad \text{(III-11)}$$

ΔT : différence de température entre le fluide et la paroi absorbante.

Pour admettre de la non-linéarité de l'évolution de la température du fluide dans le capteur et de l'écart de température existant entre le fluide et la paroi absorbante. [48]

III. 3. 5 Rendements d'un capteur solaire

Le rendement d'un capteur solaire est défini par rapport au flux solaire incident de la façon suivant :

Le rendement global:

$$\eta = \frac{\varphi_u}{G^*(i,y)^* \times S} \quad \text{(III-12)}$$

Le rendement interne:

$$\eta_i = \frac{\varphi_u}{\varphi_{sa}} \quad \text{(III-13)}$$

Le rendement optique (radiatif) :

$$\eta_o = \frac{\varphi_{sa}}{G^*(i,y)^* \times S} \quad \text{(III-14)}$$

Les rendements moyens sont définissant sur une période qui intègre la relation du bilan (III-5) qui choisie :

$$\int_0^t \varphi_{sa} dt = \int_0^t \varphi_{\bar{p}} dt + \int_0^t \varphi_u dt \quad (\text{III-15})$$

$$\text{Soit : } Q_{sa} = Q_{\bar{p}} + Q_u \quad (\text{III-16})$$

Donc les rendements moyens de capteur sur la période considérée par :

$$\bar{\eta} = \frac{Q_u}{\int_0^t G^*(i,y)^* \times S dt} \quad (\text{III-17})$$

$$\bar{\eta}_i = \frac{Q_u}{Q_{sa}} \quad (\text{III-18})$$

$$\bar{\eta}_o = \frac{Q_{sa}}{G^*(i,y)^* \times S} \quad (\text{III-19})$$

III. 4 Description du capteur solaire

Dans premier temps, il est noté que le capteur solaire plan à air à différent rangée d'obstacle de forme zigzag à été réalisé au sein de l'université d'Ain Témouchent.

Le capteur solaire étudié est un capteur plan à air à simple passe, d'une longueur $L=1.97\text{m}$, d'une largeur $l=0.98\text{m}$ et d'une surface $A=1,93\text{m}^2$ (Figure III. 02).

Ces principaux composants sont :

- Une couverture transparente de verre d'épaisseur 4mm.
- Une plaque absorbante mince en laine de verre peinte en noir mat.
- L' hauteur passive (couverture transparente-plaque absorbante) est égale à 10cm.
- L'isolation arrière et latérale est assurée grâce à une feuille de polystyrène d'épaisseur 40mm insérée entre deux feuilles en contreplaqué de 5mm d'épaisseur ; L'ensemble est contenu dans un boîtier en bois.
- Une petite Ventilateur a une vitesse de 2m/s pour crée la convection forcée.

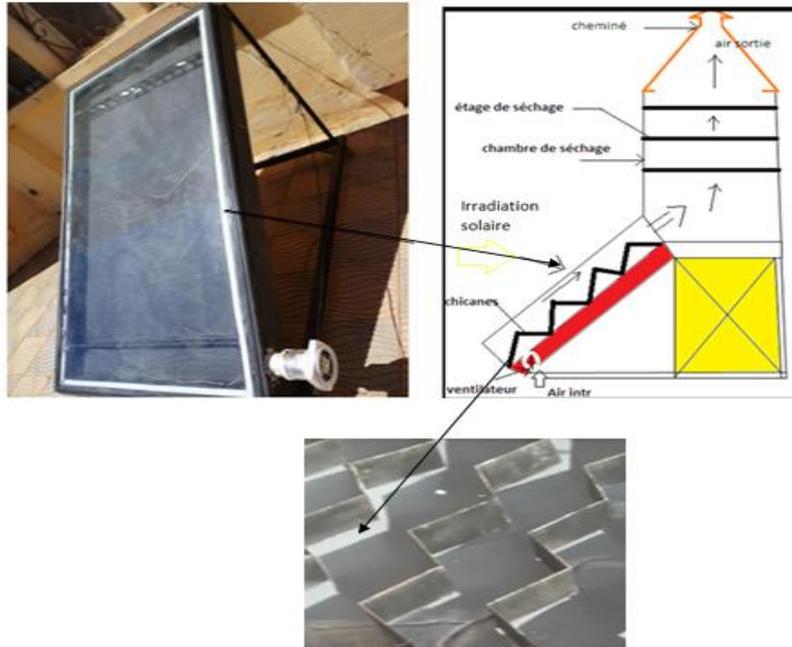


Figure III. 02 : Schéma de capteur avec chicanes.

III. 4. 1 préparation du capteur

La mise en œuvre convenable d'un projet d'étude de capteur solaire passe par plusieurs étapes :

- Ramener les différents matériels et composants nécessaires pour réaliser le montage.
- vérification des différentes faces de l'isolant (arrière et latérales).
- le nettoyage et la finalisation du boîtier.
- grattage de la peinture de la plaque absorbante.
- Purgation des verres (vitre).
- Placé le ventilateur.
- étalonnage et montage des différents thermocouples comme montrés la figure III. 04.
- établissement du verre a la face auparavant du capteur à l'aide de colle et de joint.

III. 4. 2 Les chicanes

Pour augmenté les performances thermiques de ces capteurs solaire plans à air .plusieurs travaux ont été consacrés a différentes méthodes, généralement les travaux récent portent principalement sur la différente innovation technique comme l'utilisation d'obstacles ou d'ailettes a diverses formes dites chicanes.

Les chicanes que nous avons choisie sont des tôles en acier au forme **V** avec une hauteur de 8cm, de longueur de 180cm et angle de 110° C pinte on noir mate dans le but d'augmenter la surface d'absorptions de soleil. Le montage de chicane est longitudinal et perpendiculaire au sens d'écoulement d'air dans le capteur. Dans cette figure suivant on montré la machine nommée plieuse qui peut former notre type d'obstacle (forme de V) avec l'image de chicane.

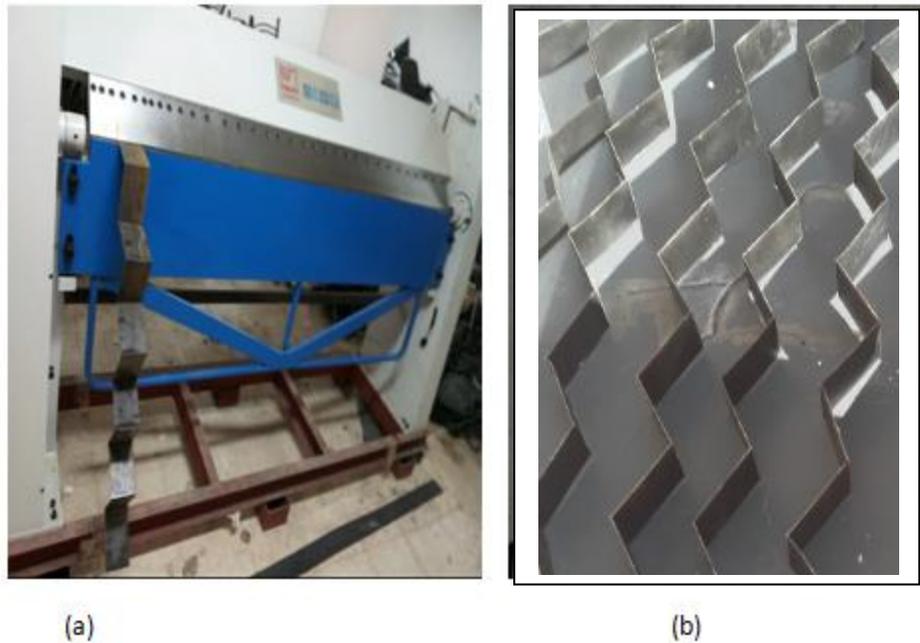


Figure III. 03 : (a) Machine plieuse ; (b) Chicanes noir math.

III. 4. 3 Instruments de mesure

A l'aïd des thermocouples type K d'intervalle de mesure compris entre -50°C a 400°C et a une précision de 0.1°C avec un diamètre de 0.5mm. Ces thermocouples ont été branché au l'acquisitions (VDAS). Les thermocouples type K sont placés dans le capteur de la façon montré dans la figure suivant :

- Un thermocouple pour relevé la température ambiante.
- Un thermocouple pour relevé la température de moitié de l'absorbeur (pour contrôle).
- 02Un thermocouple à la sortie du capteur.

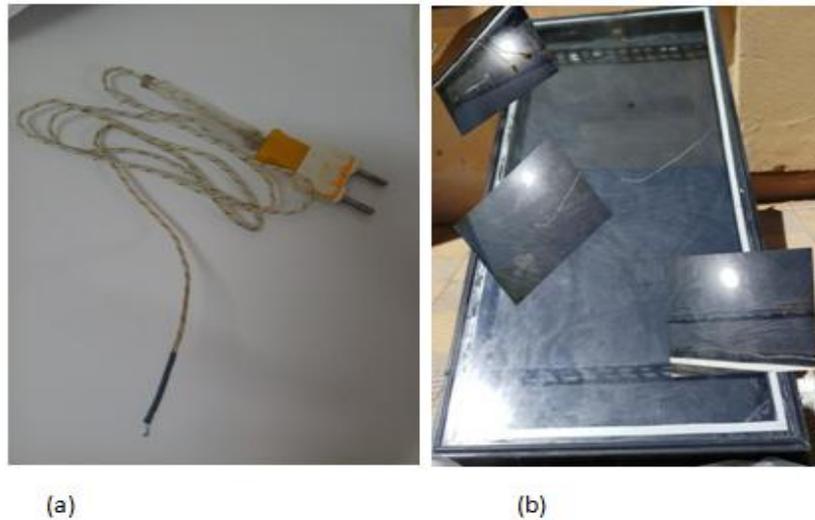


Figure III. 04: (a) Thermocouples de type K ; (b) Emplacement du thermocouple.

III. 4. 3. 3 Mesure de l'éclairement

Le solarimètre étalonné est un instrument qui permet de mesurer le rayonnement solaire global w/m^2 . Celui-ci est placé au milieu de capteur exposé au rayonnement solaire comme est montré dans la figure suivante :



Figure III. 05 : Un solarimètre.

III. 4. 3. 4 Anémomètre multifonction

La vitesse de l'air entrée par le ventilateur est mesurée à l'aide d'un anémomètre multifonction présenté dans la figure ci-dessous. Le rôle du ventilateur est pour créer la convection forcée.



Figure III. 06 : Un Anémomètre multifonction.

III. 4. 3. 5 Caméra thermique

Caméra thermique est un type de caméra thermographique utilisée dans la lutte contre les incendies en rendant le rayonnement infrarouge sous forme de lumière. Elle peut également permettre de contrôler le bon fonctionnement d'une installation de chauffage .ce type de camera est montré dans la figure suivante :



Figure III. 07 : Camera thermique.

III. 4. 3. 6 Logiciel VDAS

logiciel **VDAS** est légèrement différente pour chaque produit utilisé avec celui-ci. Tecquipment a créé des interfaces individuelles qui incluent les affichages nécessaires pour chaque appareil. Par exemple, une soufflerie nécessite des mesures différentes d'un banc de

test d'une pompe. Ce logiciel est assez flexible pour permettre à l'utilisateur de créer, sauvegarder des defferent mesure .

Le système d'acquisition VDAS est un excellent outil pour la plupart des produits tecquipment. Il permet de s'affranchir du relevé manuel des valeurs et évite donc ainsi les erreurs humaines.

Le logiciel a diverses fonctionnalités. Il peut :

- Afficher les données en temps réel sous forme numérique ou analogique.
- Effectuer des calculs en temps réel sur les mesures pour générer des données utilisables.
- Créer et imprimer des tableaux et des graphiques.
- Sauvegarder automatiquement des mesures ou à la demande de l'utilisateur.



Figure III. 08 : Ecran typique du logiciel VDAS.

III. 5 Conclusion

Ce chapitre présente les étapes suivie dans la réalisation d'un capteur solaire plan a air intégré par des chicane de forme V au sein de notre université ; vu les instruments de mesure et le système d'acquisition de mesure de températures Vdas dans le but de faire l'étude expérimentale.

Chapitre IV : Résultat et interprétation

IV. 1 Introduction

Cette partie présente les résultats obtenus par l'expérience pour l'étude du comportement d'un capteur solaire de séchoir solaire indirect destiné au séchage en basant sur les mesures des températures, la vitesse de l'air asséchant et le flux d'irradiation. On présente ensuite des graphes par des analyses des résultats mettant en évidence l'influence de température ambiante et le flux d'irradiation solaire dans le capteur de séchage à savoir l'amélioration par d'intégration de la nouvelle forme des chicane qui placer verticalement dans le sens de l'écoulement de l'air sur l'absorbeur afin d'améliorer les performances thermique a la sortie de capteur aussi l'influence de la forme des chicane qui orienter la nature de l'écoulement par la création des tourbillons, chose qui favorise l'échange thermique.

IV. 2 Résultats et interprétation

IV. 2. 1 Considérations Générales

Les mesures des différentes grandeurs ont été mesurés de 9H heure du matin jusqu'à 15 heure de soir. Cette fourchette de temps a permet d'observer l'effet de la température d'entrée du fluide caloporteur et l'irradiation dans notre système étudié en suivre ces étapes :

- Le flux de rayonnement dans le capteur est mesuré toutes les 60min.
- Les mesures de température ambiante (entrée) et sortie chaque 15min.

IV. 3 Analyse des résultats

Notre travail est effectuée à plusieurs étapes sur le capteur solaire à différents modèles d'expériences. Ce tableau ci-dessous est résumé les différents cas étudiés.

cas	Cas 01	Cas 02	Cas 03	Cas 04
description	Capteur simple Sans chicane	Capteur à 02 rangées chicane en V	Capteur à 04 rangées chicane en V	Capteur à 07 rangées chicane en V
Les jours des expériences	27/06/21	28/06/21	24/06/21	23/06/21

Tableau IV. 01 : Description de différents cas étudiés.

En ce concerne les flux d'irradiation et la température ambiante pour l'ensemble des cas étudiés les figures IV. 01, IV. 02, IV. 03 et IV. 04 montre ces grandeur en fonction de temps. Et comme prévu, les températures et le flux sont augmente du matin jusqu'un le début d'après midi avant de diminue plus tard de fin de journée.il est note que les valeurs maximum de rayonnement et la température ambiante moyenne de notre étude est atteint 1000w/m^2 et 30°C .

Ces graphes expriment les séries de mesures pour le capteur solaire a tous les cas ont été prise dans les jours comme montrée le tableau ci dessous.

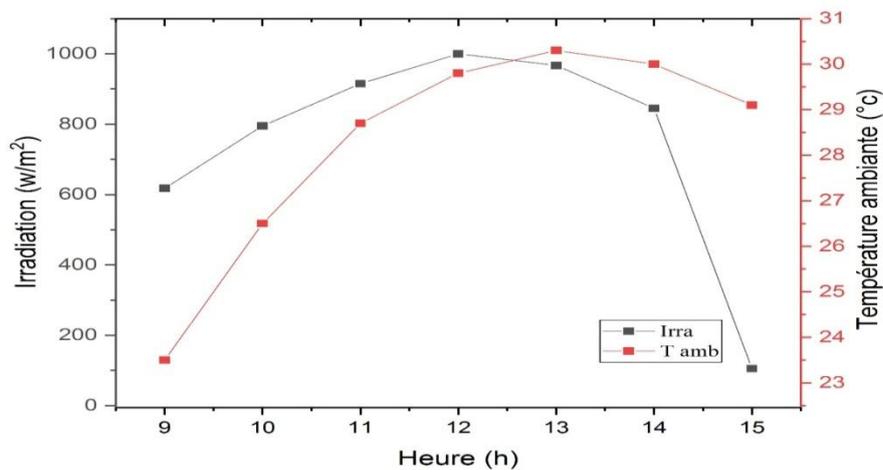


Figure IV. 01 : Évolution de du rayonnement solaire et température ambiante en fonction du temps pour cas simple.

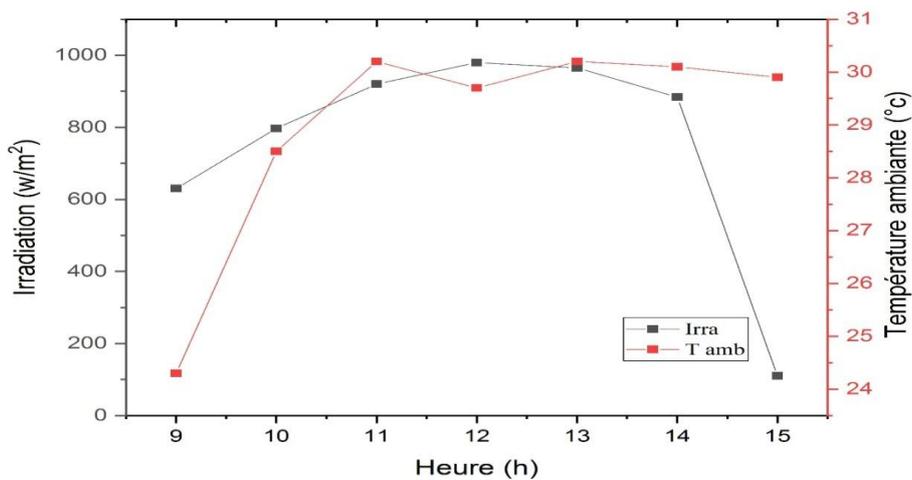


Figure IV. 02 : Évolution de du rayonnement solaire et température ambiante en fonction du temps pour cas 02.

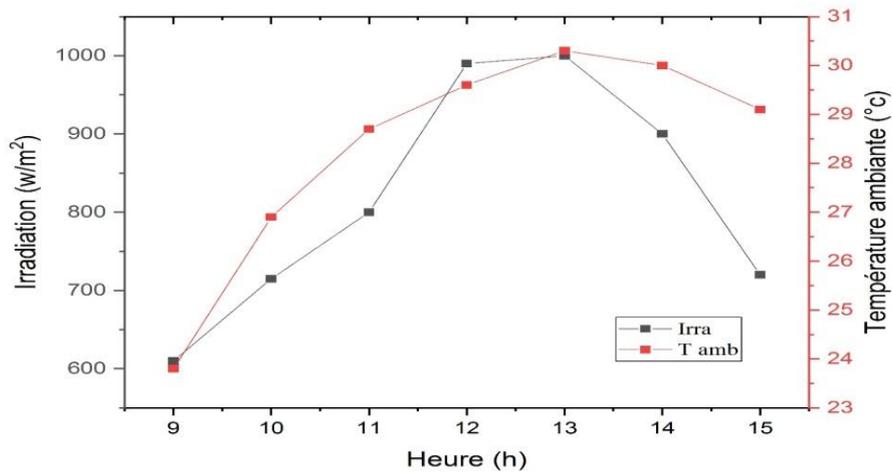


Figure IV. 03 : Évolution de du rayonnement solaire et température ambiant en fonction du temps pour cas 03.

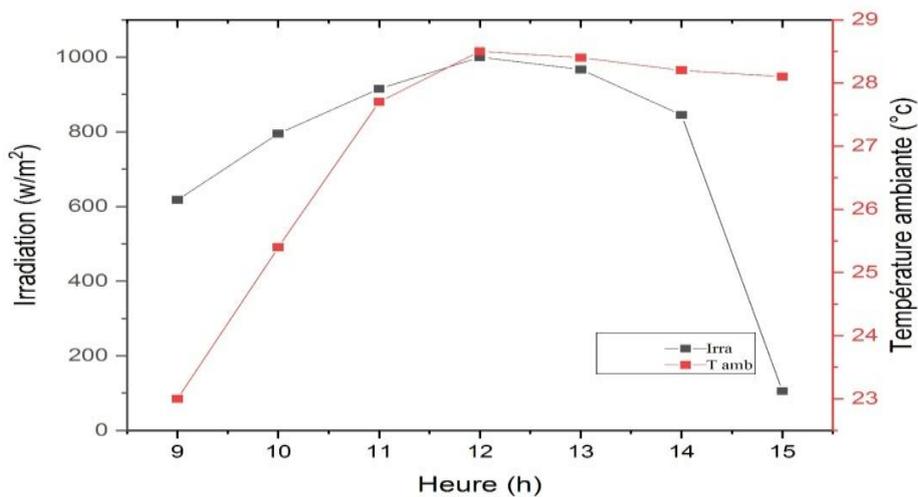


Figure IV. 04 : Évolution de du rayonnement solaire et température ambiant en fonction du temps pour cas 04.

IV. 3. 1 Etude de Température mesurée au capteur

Les différentes températures entrée T1 (ambiante) et les températures de sortie T2 sont mesurée dans les mêmes jours précédent pour l'ensemble des cas a convection forcé $v = 2\text{m/s}$. Les figures suivant montrent l'évolution de température ambiante et la température de sortie de l'air chauffée à différent cas étudiés.

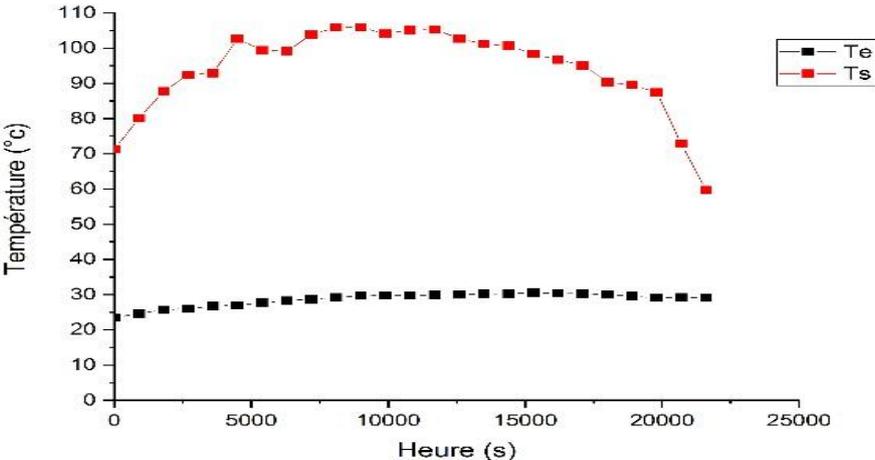


Figure IV. 05 : Les températures entré et sortie en fonction du temps pour le cas 01.

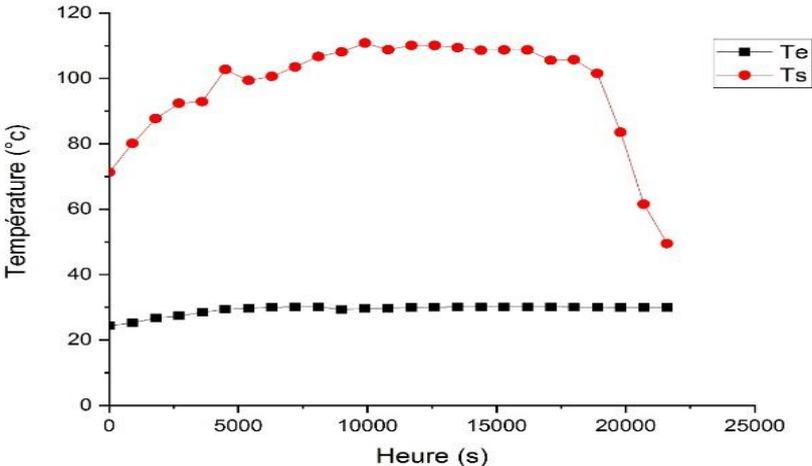


Figure IV. 06 : Les températures entré et sortie en fonction du temps pour le cas 02.

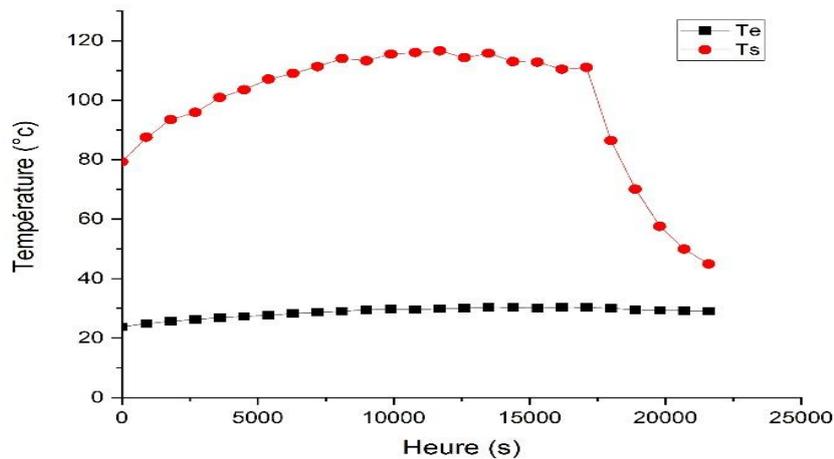


Figure IV. 07: Les températures entré et sortie en fonction du temps pour le cas 03.

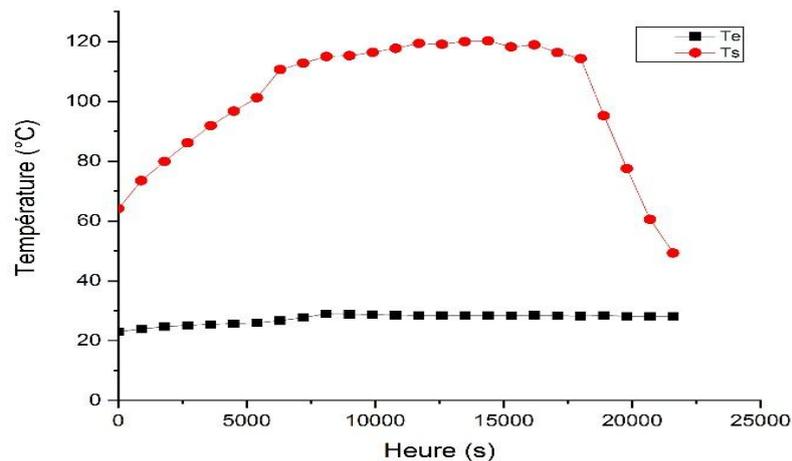


Figure IV. 08 : Les températures entré et sortie en fonction du temps pour le cas 04.

Les quatre figures précédant présentées les valeurs de différentes températures de chaleur indiquent respectivement les heures d'ensoleillement. L'évolution de température entrée et sortie est similaire pour les quatre cas ; les courbes se croisent entre 09h et 14h et décroissant entre 14 et 15h. On constate que les températures (T_{amb} , T_{sortie}) suivant une évolution logique en fonction de la durée de la journée puisque le rayonnement solaire global augmente ou diminue.

On remarque clairement que la température de sortie atteint des valeurs maximales dans l'ensemble des cas à 13h.

La température de l'air sortie atteint les 100°C, pour Le cas 02 est 108°C, pour le cas 03 est 113°C et 120°C pour le cas 04.

En analysant les résultats représentés dans ces figures on constate que plus de nombre d'obstacle la température de sortie est amélioré donc une amélioration des performances thermique.

IV. 3. 2 Différence de température ΔT en fonction de temps

Pour remarquer l'influence de l'intégration de chicanes dans le capteur solaire, on fait l'intervalle de température de sortie et entrée de chaque mesure $\Delta T = T_s - T_{am}$ dans l'ensemble des cas étudié en fonction de temps .la figure suivant représente cette écart dans les jours d'expériences.

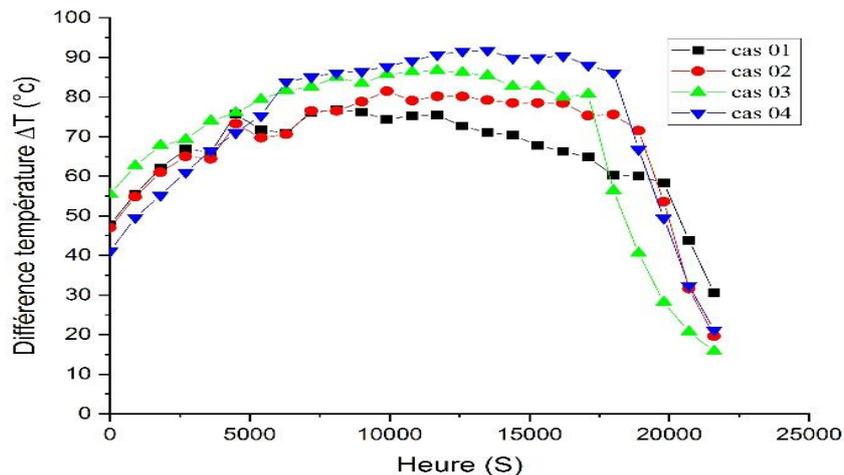


Figure IV. 09 : Différence de température de sortie et entrée pour différent cas étudiée.

Dans cette courbe représente la différence de température ΔT mesuré en fonction de temps dans les jours de mesure .IL est illustre bien que l'augmentation de l'écart de température correspond à une nette amélioration de performance thermique de chaque cas. Notons que vers midi a13h, temps de maximum de flux solaire, le meilleur résultat dans le cas 04. L'écart passe 90°C au cas 04 puis 80°C pour 4 rangées ensuite 70°C pour 2 rangées et atteindre 60 °C pour le cas simple, une croissance de température de 10 en moyenne à chaque addition de deux rangée.

L'explication de cette amélioration se réfère principalement à l'influence de chicane. On déduit que le nombre de chicane entraîne avec ce forme de zigzag agit sur l'échange de l'air chaude avec l'absorbeur donc plus l'écoulement est turbulent et plus de ΔT augmente.

IV. 3. 3 Rendement de chaque cas étudié

Nous avons consacré également une partie d'étude au rendement établi dans un tableau ou par un histogramme en prend un temps à 13h pour tous les cas étudiés.

Les cas étudié	Cas 01	Cas 02	Cas 03	Cas 04
Donnes de flux solaire et Tamb à 13H	1000 w /m ² 30°C	980 w /m ² 30.1°C	990 w /m ² 30.3°C	950 w /m ² 28.4°C
rendement	29%	32%	33%	37%

Tableau IV. 02 : Rendement avec les donnes climatiques.

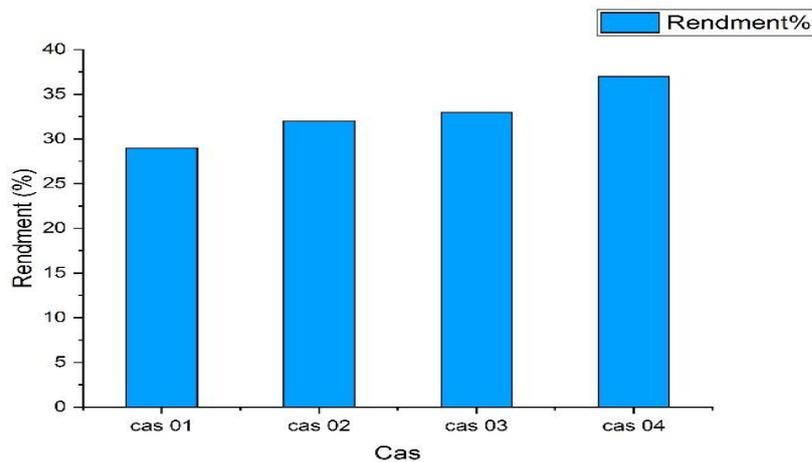


Figure IV. 10 : Evolution de rendement pour les cas étudiés.

Le tableau représente les valeurs du rendement thermique du capteur solaire en fonction du temps, selon le rayonnement solaire global incident à l'ensemble des cas. Le tableau montre ou la figure IV. 10 que le rendement augmente avec l'augmentation de l'écart de température

entrée-sortie du capteur et l'ensoleillement solaire durant la période d'exposition au soleil. On peut remarque que le rendement du capteur pour le cas 04 atteint la valeur maximale à environ 37%.

Remarque

Vue l'influence de flux solaire dans les cas 01 et 02, la valeur de rendement est presque égaux .il est note que le rendement thermique du capteur solaire en fonction du temps, selon le rayonnement solaire global incident.

IV. 3. 4 Distribution de la température de l'air au sein du capteur

Afin d'analyser quantitativement les quatre configurations proposées du capteur solaire, nous avons présenté le champ de température à différentes sections de capteur grâce à une caméra infrarouge. La figure IV. 11 illustre la distribution de la température au sein de capteur solaire pour l'ensemble des cas étudié.

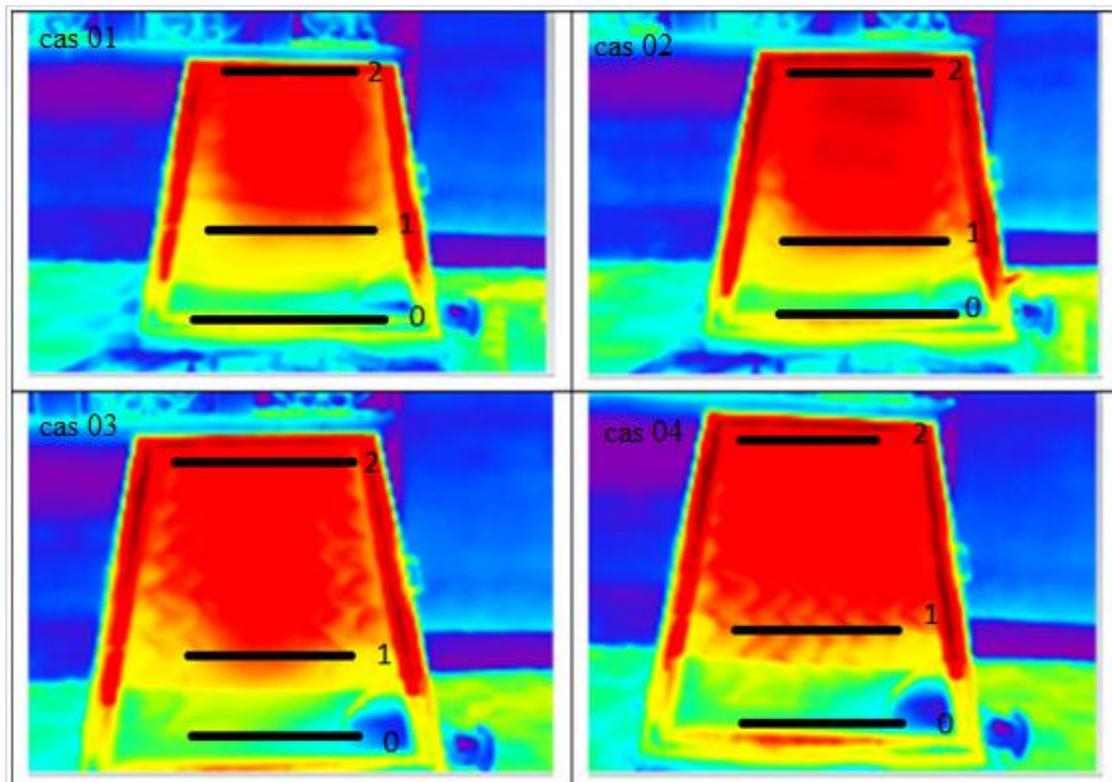


Figure IV. 11 : Distribution de la température de l'air aux différents cas de capteurs.

Les résultats de capture montrent les observations suivantes:

Au niveau de l'entrée de point **0** et **1** de capteur, on remarque que les distributions de la température sont faibles pour les quatre configurations de capteur. Aussi dans la région supérieure de point **1** et **2** soit droite ou gauche l'air est plus chaud que la partie inférieure. La zone de température la plus élevée est observée dans les modèles 02, 03 et 04 qui s'expriment par la présence de chicane. Ce champ de température observé au long de sections de capteur peut s'expliquer par le sens de l'écoulement de l'air, la sortie de l'air et par la présence des nombre de chicane.

Donc il est clair que la distribution de température est augmentée en particulier à la partie supérieure du capteur.

IV. 4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats obtenus à travers aux différentes expériences réalisées pour analyser le comportement thermique du différent modèle de capteur solaire. Il est nécessaire d'indiquer que les résultats obtenus représentés par les différentes courbes selon le modèle étudié, sont en parfaite concordance avec les lois du transfert de chaleur et de masse.

L'intégration de notre forme de chicane dans le capteur solaire a permis d'améliorer les performances thermique ou dynamique de l'air. Il est donc nécessaire d'inclure ces obstacles dans la veine d'air de capteur solaire pour l'augmentation de la surface d'échange thermique.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Ce mémoire présente une nouvelle contribution pour l'amélioration des performances thermique et le rendement d'un capteur solaire plan à air destiné au système de séchage comporte un absorbeur intégré à des chicane en forme de zigzag.

A travers ce parcours, nous avons contribué à l'étude d'un capteur solaire plan à air simple (sans chicane) et le compare au capteur muni de plusieurs rangées de chicanes longitudinales placées perpendiculaire à l'écoulement d'air de l'absorbeur. Avec sa forme de zigzag (chicane) est servie à augmenter la surface d'échange de chaleur, l'augmentation de ce facteur permet d'augmenter la puissance solaire captée ainsi ceci conduit à l'élévation de la température de l'air au sein du capteur permettant d'avoir un temps de séchage court du produit et une turbulence de l'air. Par conséquent augmentation le débit de l'air asséchant qui dégage l'humidité dans la chambre de séchage.

Une étude expérimentale comparative a été menée pour la mise en évidence des performances thermique en basant sur l'amélioration de rendement de capteur solaire l'élément principale de sécheur solaire par de suivre durant la journée des variations de la température ambiante entrée et la variation de la flux solaire pendant un jour.

On peut donc conclure, en se basant sur les résultats d'expérience obtenus du facteur d'amélioration thermique, pour les configurations de deux et quatre et sept chicanes, que le cas le plus performant correspond au cas de sept chicanes (cas 04).

Cette étude nous a ramené que l'adjonction des chicanes a apporté une augmentation remarquable au rendement de capteur de modèle à chicane, donc il est nécessaire d'intégrer des obstacles dans la veine d'air de capteur solaire.

En perspective de notre travail se situent principalement au niveau des points d'influence et des créations suivantes :

- L'espacement entre les chicanes.
- Effet de l'épaisseur des chicanes.
- le nombre de V des chicanes.
- Effet de débit massique.

Conclusion Générale

- Utilisation de nouveaux matériaux de stockage plus performants comme les matériaux à changement de phases MCP.
- complété le sécheur en créé la chambre de séchage pour faire l'opération de séchage de produit agricole.

Référence bibliographique

Référence bibliographique

- [1] **J. Bernard**. Energie solaire calculs et optimisation, Ellipse Edition Marketing. (2004).
- [2] <https://www.lenergioutcompris.fr/actualites-conseils/c-est-quoi-l-energie-solaire-48577>.
- [3] **W. BELAID**,« Analyse des pertes thermiques de l'utilisation des matériaux sélectifs des convertisseurs de l'énergie solaire », PhD Thesis, 2014.
- [4] <https://www.engie.com/activites/renouvelables/solaire>.
- [5] Production d'eau chaude solaire, dimensionnement, montage, mise en service et entretien, guide PACER, Office Fédéral des Questions Conjoncturelles, 237 p, 1994.
- [6] **ARBIA Aissa** et **CHAOUBI Ouafa**, mémoire master académique « Contribution à la simulation des transferts thermiques dans un capteur solaire plan pour application de séchage », université kasdi merbah ouargla (2015).
- [7] **M. MOGHARBI** et **D. HALASSA**, « Conception et réalisation d'un capteur solaire plan à Air », Mémoire de Master, Université de Ouargla, 2006.
- [8] **D. Mennouche**, Valorisation des produits agro-alimentaires et des plantes médicinales par les procédés de séchage solaire. Mémoire de magister. Université Kasdi Merbah Ouargla(2006).
- [9] **Nadia Chalal** étude d'un séchoir solaire fonctionnant en mode direct et indirect Mémoire de magister. (2007).Université Mentouri-Constantine.
- [10] <https://www.google.dz/search?client=ms-android>.
- [11] **N.Nadir**, Recherche des conditions optimales de fonctionnement d'un séchoir solaire. Mémoire de magister, université Kasdi Merbah Ouargla(2009).
- [12] **N.Chalal**, Etude d'un séchoir solaire fonctionnant en mode direct et indirect. Mémoire de magister. (2007).Université Mentouri-Constantine.
- [13] **Boussalia Amar**. Thème : Contribution à l'étude de séchage solaire de produits agricoles locaux. Mémoire de magister, Faculté des sciences de l'ingénieur, Université Mentouri Constantine, option Génie Climatique 2009/2010.
- [14] **A. Boubeghal, M. Benhammou, B. Omari, S. Amara, L. Amer, H. Moungar et S. Ouejdi**, Etude numérique d'un séchoir solaire fonctionnant en convection naturelle Revue des Energies Renouvelables ICRES-07 Tlemcen p. 315 – 320. (2007).

Référence bibliographique

- [15] **Rezgui Karima**, Etude de la faisabilité et amélioration des performances de séchoirs solaires dans des régions semi arides Magister, Université Larbi Ben M'hidi Oum- Elbouaghi Constantine (2009).
- [16] **Ounis Med Lamdjed, Bessei Med Taher, Bouhanna El Bachir**. Thème : contribution à l'amélioration énergétique d'un séchoir solaire hybride utilisant l'apport d'énergie par Cellules photovoltaïques. Mémoire d'ingénieur d'état, Faculté des sciences et Technologies et science de la matière, Université Kasdi Merbah-Ouargla. Spécialité Génie Mécanique, option Énergétique 2010/2011.
- [17] **A.BENSEDDIK**, « Modélisation et simulation de séchage de la figue par des séchoirs Solaires indirects fonctionnant en convection forcée, mémoire de magister », Université AbouBaker Belkaid-Tlemcen, 2011.
- [18] **M.DAGUENET**, « Les séchoirs solaires: théorie et pratique », 1985. Méthode de séchage.
- [19] **R, Bernard; G, menguy; M, Schwartz**. Le rayonnement solaire, conversion thermique et applications, Technique et Documentation. (1979).
- [20] **Menasria F.**, (2009), « Modélisation des Echanges par Convection dans un Canal Rectangulaire Munid'Ailettes », Mémoire de Magister, Université de Biskra.
- [21] www.lepanneausolaire.net/les-differents-types-capturs.php: www.google.com .
- [22] **N, Bellel**. Contribution à la réalisation et simulation d'un capteur plan à eau type collecteur; thèse de magistère, Université de Constantine. (1989).
- [23] **Bemer, C., Durst, F., McEligot, DM**. (1984) « Numerical study of fluid flow and heat transfer in a parallel plate channel with baffles », Journal of Heat Transfer, pp. 10.
- [24] **Lopez, J.R., Anand, N.K., Fletcher, L.S**. (1996) « Heat transfer in a three- dimensional channel with baffles », Numerical Heat Transfer.30, pp. 189–205.
- [25] **Ben Slama, R**. (2007) « The air solar collectors: Comparative study, introduction of baffles to favor the heat transfer », Solar Energy 81, 139–149.
- [26] **Patankar, S.V., Liu, C.H. and Sparrow, E.M**. (1977), « Fully developed flow and heat transfer in ducts having streamwise-periodic variations of cross-sectional area », Journal of Heat Transfer, Vol. 99, pp. 180-6.
- [27] **Kellar, K. M., Patankar, S. V.**, (1987) « Numerical prediction of flow and heat transfer

Référence bibliographique

in parallel plate channel with staggered fins », *Journal of heat transfer*. 109, pp.25-30.

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

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

[30] **Amraoui Mohammed Amine**, Mémoire de Magister «Etude numérique d'un capteur solaire plan à air Influence de la forme de la rugosité », (2012).

[31] **Ekechukwu, O.V. and B. Norton**, Design and measured performance of a solar chimney for natural-circulation solar-energy dryers. *Renewable Energy*, 1997.10(1) :p.81-90.).

[32] **Mesut Abuska ; Mehmet Bahattin Akgül**. Experimental Study on Thermal Performance of a Novel Solar Air Collector Having Conical Springs on Absorber Plate, King Fahd University of Petroleum & Minerals 2016, DOI 10.1007/s13369-016-2177-4.

[33] **N. Moumni, S. Yousef-Ali, A. Moumni, J.Y. Desmons**. Energy analysis of a solar air collector with rows of fins. *Renewable Energy* 29 (2004) 2053–2064.

[34] **M.A.S.M. Tarminzi, A.A. Razak a, M.A.A. Azmi a, A. Fazlizan, Z.A.A. Majid c, K. Sopian**. « Comparative study on thermal performance of cross-matrix absorber solar collector with series and parallel configurations », *Case Studies in Thermal Engineering* Volume 25, June 2021, 100935.

[35] **Romdhane Ben Slama, Michel Combarous**. Study of orange peels drying kinetics and development of a solar dryer by forced convection. *R.B. Slama, M. Combarous / Solar Energy* 85 (2011) 570–578.

[36] **S. Yousef-Ali**. « Study and optimization of the thermal performances of the offset rectangular plate fin absorber plates, with various glazing », *Laboratoire de Mécanique et d'Energie' tique, Université' de Valenciennes et du Hainaut-Cambre'sis, Le Mont Houy, 59313 Valenciennes Cedex 9, France, Renewable Energy* 30 (2005) 271–280.

[37] **T Bhattacharyya, R Anandalakshmi, K. Srinivasan**. « Heat Transfer Analysis on Finned Plate Air Heating Solar Collector for its Application in Paddy Drying », *International Conference on Recent Advancement in Air Conditioning and Refrigeration, RAAR 2016*, 10-12 November 2016, Bhubaneswar, India.

Référence bibliographique

- [38] **A. Labed, N. Moummi, A. Benchabane, K. Aoues et M. Zellouf.** «Performances thermiques et pertes de charges de différentes configurations de capteurs solaires plans à air Etude expérimentale dans la région de Biskra, Algérie », Revue des Energies Renouvelables Vol. 18 N°2 (2015) 209 – 216.
- [39] **K. Aoues, N. Moummi, M. Zellouf, A. Moummi, A. Labed, E. Achouri et A. Benchabane.** « Amélioration des performances thermiques d'un capteur solaire plan à air: Etude expérimentale dans la région de Biskra », Laboratoire de Génie Mécanique, Université Mohamed Khider B.P. 145, Biskra, Algérie, Revue des Energies Renouvelables Vol. 12 N°2 (2009) 237 – 248.
- [40] **Md Azharul Karima, M.N.A Hawladerb.** « Performance investigation of flat plate, v-corrugated and finned air collectors », Energy 31 (2006) 452–470 .
- [41] **Abhay Lingayat, Chandramohan V.P, V.R.K. Raju.** « Design, Development and Performance of Indirect Type Solar Dryer for Banana Drying », International Conference on Recent Advancement in Air Conditioning and Refrigeration, RAAR 2016, 10-12 November 2016, Bhubaneswar, India
- [42] **Hajar Essalhi,Rachid Tadili, M.N Bargach** « Conception of a Solar Air Collector for an Indirect Solar Dryer. Pear Drying Test », <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.114>.
- [43] **Arumugam Balasuadhakar,** « Natural Convection Solar Dryers for Agricultural Products A Comprehensive Exploration », Journal of Science and Technology 14(13): 1021-1027. <https://doi.org/10.17485/IJST/v14i13.126> .
- [44] **Samaneh Sami, Amir Rahimi, and Nasrin Etesami.**Dynamic Modeling and a Parametric Study of an Indirect Solar Cabinet Dryer. Drying Technology, 29: 825–835, 2011. <https://doi.org/10.1080/07373937.2010.545159>.
- [45] **S. Ould Amrouche et N. Benaouda,** « Système de régulation d'un séchoir solaire pour plantes aromatiques et médicinales », Revue des Energies Renouvelables SMSTS'08 Alger (2008) 221 – 228).
- [46] **Lyes Bennamoun.** « Improving Solar Dryers, Performances Using Design and Thermal Heat Storage », Article in Food Engineering Reviews. December 2013.
- [47] https://fr.wikipedia.org/wiki/Conduction_thermique.
- [48] **Nadji Nedjemeddine.** Mémoire de Master, « Étude des performances d'un capteur solaire plan à conversion thermique », Université badji mokhtar annaba, 2018.