

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIARET



FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUEES
DÉPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Energétique

THÈME

Simulation numérique des transferts thermiques dans un capteur solaire plan à air à double passe muni des chicanes rectangulaires

Préparé par :

M^r ADDA Mokhtar
M^{elle} ABDELLI Miassa

Devant le Jury :

Nom et prénoms	Grade	Lieu d'exercice	Qualité
M_r B.ABED	MCP	UIK Tiaret	Président
M_r A.SAFA	MCB	UIK Tiaret	Examinateur
M_r A.KARAS	MCA	UIK Tiaret	Encadreur
M_r A.BENAHMED	Doctorat-Assistant	UIK Tiaret	Co-Encadreur

PROMOTION 2017 /2018

Dédicace

*Je remercie tout d'abord **allah** qui nous a aidé de faire se modestes
travaille, nous dédions ce modeste travail :*

À mes chers parents

*Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma
considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et
mon bien être. Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me
portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne
toujours. Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés,
le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitte jamais
assez. Puisse Dieu, le très haut, vous accorder santé, bonheur, une longue vie
et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.*

À mes chères sœurs, et mon fiancé.

*À toute la famille **ABDELLI** et aussi la famille **ABDA**.*

*À mon encadreur : **M. KARAS AK** enseignant à l'université de
Tiaret, Amen Co-encadreur Monsieur **BENAHMED Abdessalah**
pour son aide et ses conseils avisés.*

*À chères nos amis de 2ème année master en génie mécanique option énergétique,
et toute personne qui nous a aidés de près ou de loin à terminer ce travail.*

À tous mes enseignants depuis mes premières années d'études.

***ABDELLI** Miassa*



Dédicaces

Je dédie cet humble mémoire aux êtres les plus chers

- ❖ *À mon père et ma mère pour leurs sacrifices et leurs prières*
- ❖ *À mes chers frères*
- ❖ *À la famille **ADDA** et aussi la famille **ABDELLI***
- ❖ *À mes professeurs*
- ❖ *À mes amis surtout **BENHMED Abdelillah***
- ❖ *À tous ceux qui m'ont soutenu tout au long de mon cursus*
- ❖ *À ma collègue, qui est fatigué de moi et fait un gros effort*
- ❖ *À ma belle mère *



ADDA Mokhtar



Remerciements

***Nous devons tout d'abord
remercier ALLAH, pour nos
avoir donné la santé et la force
pour accomplir ce travail.***

***Nous tiens de remercier
cordialement***

Notre encadreur

***DR. KARAS Abdelkader
pour son assistance et son aide.***

***Nous remercions également
Les membres du jury.***

Mon co-encadreur

***BENAHMED Abdelillah
Tous ceux qui m'ont aidée de près
ou de loin***



An open book is shown from a low angle, with its pages fanned out. The background is a vibrant blue with a bokeh effect of white and light blue sparkles. The word 'SOMMAIRE' is written in a bold, gold, serif font across the center of the book's pages.

SOMMAIRE

Sommaire

Dédicace	
Remerciement	
Sommaire	
Listes des Figures et des Tableaux	
Nomeclature	
Introduction Générale	

Chapitre I

Généralité sur les capteurs solaires plans

I.1. Introduction	03
I.2. Définition	03
I.3. Constituant d'un capteur solaire plan	03
I.3.1. Couverture transparente (vitre)	04
I.3.2. Absorbeur	04
I.3.3. Isolation thermique	04
I.3.4. Coffre du capteur	05
I.4. Principe de fonctionnement d'un capteur solaire plan	05
I.5. Différents types des capteurs solaires plans	06
I.5.1. Le capteur plan vitré	06
I.5.2. Le capteur plan non vitré	08
I.5.3. Le capteur à tubes sous vide	09
I.5.4. Capteur CPC	10
I.5.5. Capteurs cylindro-parabolique	10
I.6. Domaine d'application d'un capteur solaire plan	11
I.7. Conclusion	11

Chapitre II

Recherche bibliographique sur les capteurs solaires plans à air

II.1. Introduction13

II.2. Recherche réalisées sur les capteurs solaires à seul passe13

II.3. Recherche réalisées sur les capteurs solaires à double passe26

II.4. Conclusion35

Chapitre III

Méthodes Numériques et Présentation du code fluent

III.1. Introduction39

III.2. Méthodes numériques39

III.2.1. Méthodes principales de discrétisation39

III.2.1.1. Différent fini40

III.2.1.2. Elément finis40

III.2.1.3. Volume finis40

III.2.2. Les différentes étapes de la mise en œuvre45

III.2.3. Principes des codes CFD46

III.2.4. Modèles de fermeture47

III.2.4.1. Modèle (k- ϵ)48

III.2.4.1.1. Modélisation de L'équation de k.....49

III.2.4.1.2. Modélisée d'équation de ϵ 49

III.2.4.1.3. Constantes standards de modèle (k- ϵ).....50

III.3. présentation des logiciels de calcul.....50

III.3.1. Mailler Gambit51

**III.3.2. Le procédé de création de la géométrie par le GAMBIT et la simulation par le
Fluent.....51**

III.3.3. Domaine d'étude (géométrie)52

III.3.4. Etapes de calcul.....53

III.3.4.1. Lancement de gambit54

III.3.4.2. Maillage de la géométrie55

III.3.4.3. Conditions aux limites.....55

III.3.4.4. Lancement de fluent56

III.4. Conclusion61

Chapitre IV

Présentation et Interprétation des Résultats

IV.1. Introduction	62
IV.2. Courbe du résiduel	62
IV.3. Validation des résultats	63
IV.4. Analyse des résultats	63
IV.4.1. Pression	64
IV.4.1.1. Contour de pression dynamique	64
IV.4.1.2. Courbe de la pression dynamique	64
IV.4.2. La vitesse	65
IV.4.2.1. Contour de la vitesse résultante	65
IV.4.2.2. Courbe de la vitesse résultante	66
IV.4.2.3. Contour de la vitesse suivant X	67
IV.4.2.4. Courbe de la vitesse suivant X	67
IV.4.2.5. Contour de la vitesse suivant Y	68
IV.4.3. La température	69
IV.4.3.1. Contour de température totale	69
IV.4.3.2. Courbe de température totale	69
IV.4.4. Energie cinétique turbulente	70
IV.4.4.1. Contour d'énergie cinétique turbulente	70
IV.4.5. Etude comparative	71
IV.5. Conclusion	72
Conclusion Générale	74
Référence bibliographique	76
Résumé	

*Liste
des Figure
et des Tableaux*



Listes des figures et des tableaux**Chapitre I**

Figure I.1: Photo d'un capteur solaire plan	1
Figure I.2: Shéma du capteur plan.....	2
Figure I.3: Principe de fonctionnement d'un capteur solaire plan	4
Figure I.4: Capteur solaire plan vitré	5
Figure I.6: Capteur solaire sans vitrage	6
Figure I.7: Schéma d'un capteurs solaire non vitré à revêtement Sélectif	7
Figure I.8: Capteur à tubes sous vide	7
Figure I.9: Coupe Schématique du capteur CPC	8
Figure I.10: Capteur cylindro-parabolique	9

Chapitre II

Figure II. 1 : Capteur solaire à air simple passe.....	14
Figure II. 2 : Schéma de capteur solaire modélisé.....	14
Figure II. 3 : Coupe transversale du capteur à air.....	15
Figure II. 4 : Profil de températures (Tfs / Tfe).....	15
Figure II. 5 : Représentation du rendement instantané.....	15
Figure II.6 : Profil de températures (Tfs / Tfe).....	16
Figure II. 7 : Représentation du rendement instantané.....	16
Figure II. 8 : Le capteur solaire plan à air avec des chicanes (obstacles).	17
Figure II. 9 : Installation expérimentale.....	17
Figure II. 10 : Variayion du rendement et des pertes de charge en fonction du débit pour des capteurs SC, Capteurs muni de DCL, OCL puis TL.	18
Figure II. 11 : Différentes formes des ailettes ajoutées à absorbeur pour améliorer l'efficacité de l'absorbeur.....	18
Figure II. 12 : Schéma représentatif des obstacles rectangulaires perpendiculaires à l'écoulement.....	19
Figure II. 13 : Insolateur à ailettes rectangulaire.....	19
Figure II. 14 : Evolution du rendement du capteur en fonction du débit volumz dz l'air pour les deux configurations de capteurs (avec chicane et absorbeur sélectif).	19
Figure II. 15 : Visualisation de l'écoulement d'air dans un capteur sans et avec chicanes.	20
Figure II. 16 : Schéma du modèle expérimental.....	20
Figure II. 17 : Evolution de la température de l'absorbeur en fonction du débit.....	21

Figure II. 18 : Evolution de la température de l'air a la sortie du capteur en fonction du débit.	21
Figure II. 19 : Evolution du rendement du capteur en fonction du débit.....	22
Figure II. 20 : Différents capteurs solaire étudié par Ong.	23
Figure II. 21 : Configuration des chicane utilisées par Labeled et al.....	23
Figure II. 22 : Dispositif expérimental.....	24
Figure II. 23 : Schéma des deux configurations utilisées par Aoues et al.....	24
Figure II. 24 : Capteur solaire plan à air muni de rugosité cylindrique.....	24
Figure II. 25 : Différents arrangement des chicane cylindriques	24
Figure II. 26 : Différentes configurations des chicane testées par Chouchane et al.....	25
Figure II. 27 : Schémas d'un insolateur plan incliné	26
Figure II. 28 : Schéma de l'insolateur courbé	26
Figure II. 29 : Photographie de la plaque absorbante des différents capteurs	26
Figure II. 30 : Deux types de capteurs solaires à air à double passe selon la direction de l'écoulement.	27
Figure II. 31 : Schémas représentatif de capteur étudié (écoulement contre courant).....	27
Figure II. 32 : Schéma d'un élément du capteur.	28
Figure II. 33 : Les modèles des capteurs solaires à air	28
Figure II. 34 : Schéma de capteur solaire à air à double passe avec milieux poreux.....	29
Figure II. 35 : Schéma de capteur solaire à air à double passe avec milieux poreux.....	29
Figure II. 36 : Vue de face et de haut d'u collecteur à air à double passe avec recyclage	29
Figure II. 37 : Différents types des capteurs testés par Ozgen et al.	30
Figure II. 38 : Deux configurations plan et v-ondulé testées par El-Sebaï et al.....	30
Figure II. 39 : Le schéma d'un capteur solaire thermique à double passe avec des milieux poreux dans le deuxième canal.....	31
Figure II. 40 : Capteur solaire à air à double passe avec des ailettes placées dans le deuxième canal.	31
Figure II. 41 : Effet du rayonnement solaire sur le débit massique et l'efficacité.....	32
Figure II. 42 : Variation du rendement thermique en fonction du rapport.....	32

Chapitre III

Figure III.1 : Volume de contrôle bidimensionnel.....	41
Figure III.2 : Schémas des étapes à utiliser pour la simulation sur ces logiciels Gambit et Fluent.	51
Figure III.3 : Schéma du capteur solaire à double passe.....	52
Figure III.4 : Face de domaine du calcule On dessine la configuration Schéma du capteur solaire à double passe.....	53
Figure III.5 : Création du Capteur Solaire plan à double passe.....	54

Figure III.6 : Maillage de géométrie.....	54
Figure III.7: Conditions aux limites.....	55
Figure III.8 : Type de résolution	56
Figure III.9 : La lecture de la grille	56
Figure III.10 : Fenêtre solveur.FIGURE.....	57
Figure III.11 : Fenêtre de modèle visqueux.	57
Figure III.12 : Fenêtre de Matériaux.	58
Figure III.13 : Fenêtre de bounday conditions.	59
Figure III.14 : Fenêtre de residual monitors.	59
Figure III.15 : Fenêtre de solution initialisation.	60
Figure III.16 : Fenêtre Itérâtes.....	60

Chapitre IV

Figure IV.1 : Courbe résiduel	62
Figure IV.2 : Comparaison de la titre variation de la température de deux passe entre notre résultat et celui [SANDALI] (avec $I_t = 500 \text{ W/m}^2$)	63
Figure IV.3 : Les différentes sections choisies	63
Figure IV.4 : Contour de pression dynamique [Pa].....	64
Figure IV.5 : Profil de la pression dynamique suivant Y.....	65
Figure IV.6 : Contour de la vitesse résultante [m/s].....	65
Figure IV.7 : Profil de la vitesse résultante suivant X.....	66
Figure IV.8 : Contour de la vitesse suivant X [m/s].....	67
Figure IV.9 : Profil de la vitesse suivant X.....	68
Figure IV.10: Contour de la vitesse suivant y [m/s].....	68
Figure IV.11 : Contour de température totale [K]	69
Figure IV.12 : Profil de température totale première passe	69
Figure IV.13 : Profil de température totale deuxième passe	70
Figure IV.14 : Contour d'énergie cinétique turbulente [m^2/s^2]	70
Figure IV.15: Profil de la température totale pour différentes capteurs	71

List des tableaux

Chapitre III

Tableau III.1 : Récapitulatif des équations régissant l'écoulement.....	41
Tableau III. 2: Coefficients du modèle K- S standard.....	44
Tableau III. 3: Dimensions géométriques du capteur solaire.....	52
Tableau III. 4: les différentes propriétés du matériau	53
Tableau III. 5: Conditions aux limites.....	55
Tableau III. 6: les paramètres entrant dans le solveur fluent (Permettre La Traçage Résiduelle)	58



Nomenclature

Nomenclature

Notations latines :

symbole	Désignation	Unité
a	Vitesse du son	m/s
C _m	Coefficient de moment	/
C _u	Coefficient sans dimension	/
D	Diamètre	m
E	Epaisseur	m
I	Eclairement solaire globale incident	w/m^2
K	L'énergie cinétique de turbulence	/
L	Longueur de pale	m
R	Constante universelle des gaz	J/kg K
Re	Nombre de Reynolds	/
S	Surface	m ²
T _{fe}	Température de fluide l'entrée	K
T _{fs}	Température de fluide sortie	K
V	Vitesse d'écoulement	m/s

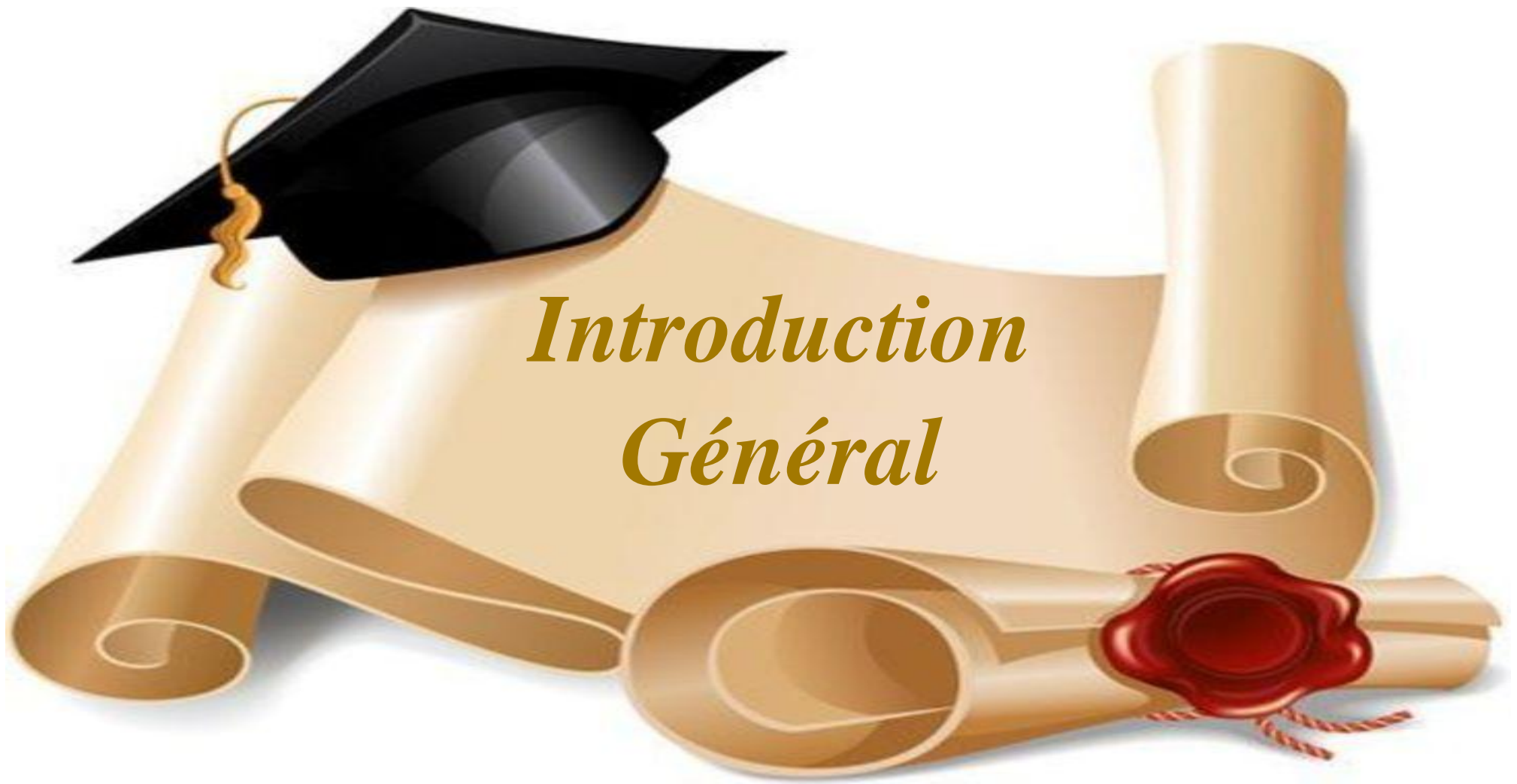
Abréviations :

RNG: Reynolds normalization group

CFD: Computational fluid dynamics

Notations grecque :

symbole	Désignation	Unité
ρ	Masse volumique	kg/m ³
ν_t	Viscosité cinématique turbulente	m ² /s
μ	Viscosité dynamique	kg/ (m.s)
ε	Taux de dissipation	/
γ	Rapport de la chaleur spécifique	/
ω	Vitesse de rotation	rd/s
λ	Conductivité thermique	[W/m.K]
η	Rendement instantané du capteur	/
Re	Nombre de Reynolds	/
ϕ	L'altitude du lieu	/



Introduction
Général

Introduction Générale

L'énergie solaire est l'énergie que dégage le soleil sous forme de rayonnement, direct ou diffus. Sur terre l'énergie solaire est l'origine du cycle de l'eau et du vent, le règne végétal dont dépend le régime animal, l'utilise également en la transformant en énergie chimique par la photosynthèse. Grâce aux diverses exécutions, elle peut être transformée en une autre forme d'énergie utile pour l'activité humaine, notamment en chaleur, en électricité ou en biomasse. Par extension, l'expression « énergie solaire » souvent employée pour désigner l'électricité ou l'énergie thermique obtenues à partir du rayonnement solaire.

L'énergie solaire thermique est la transformation de rayonnement solaire en énergiethermique. Cette énergie thermique peut être soit utilisée directement (système passif) ou indirectement (système actif). Le principe de capter le rayonnement solaire et le stocker dans les systèmes passifs (véranda, serre, façade vitrée) ou à redistribuer cette énergie par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur qui peut être de l'eau, un liquide antigel, ou même de l'air s'ils s'agit de système actif.

Aussi l'énergie solaire peut être transformée en électricité par conversion photovoltaïque, de même à la distillation d'eau de mer et au séchage de différents produits, elle peut également être utilisée pour la climatisation en générant des températures froides à partir de la chaleur du soleil par cycle à absorption.

Dans le cadre de ce travail, nous allons nous intéresser à l'exploitation de l'énergie solaire par voie thermique en utilisant un capteur solaire à double passe pour la production de l'air chaud.

Ce présent travail comprend quatre chapitres :

- **Dans le 1^{er} chapitre** : on a donné des notions générales des capteurs solaires.
- **Dans le 2^{ème} chapitre** : on a présenté quelques travaux concernant les capteurs solaires.
- **Dans le 3^{ème} chapitre** : on a présenté les différentes méthodes numériques et la présentation du code fluide.
- **Dans le 4^{ème} chapitre** : on a donné la présentation et l'interprétation des résultats.

Chapitre I

Généralité sur les capteurs solaires plans



Chapitre I

Généralité sur les capteurs solaires plans

I.1. Introduction

Les capteurs solaires sont des dispositifs dont le principe de fonctionnement est basé sur la conversion d'énergie solaire en chaleur. Dans ce chapitre nous avons présenté des généralités sur les capteurs solaires. Ainsi que leurs différentes composantes, et ses utilisations dans le domaine de l'énergie solaire.

I.2. Définition

Le capteur solaire plan est un insulateur à simple passe entre l'absorbeur et la vitre. Il transforme l'énergie radiante du soleil en énergie thermique extraite par le fluide en écoulement dans le capteur. Cette énergie est utilisée dans différentes applications solaires, comme par exemple le séchage des produits agroalimentaires (fruits, bois..), le chauffage[1]. Il combine deux principes physiques : les effets de serre et du corps noir.(Figure.I.1)



Figure I.1: Photo d'un capteur solaire plan

I.3. Constituant d'un capteur solaire plan:

Le capteur est représenté schématiquement sur la (Figure.I.2). Il est constitué d'une plaque noire (absorbeur), Couverture transparente vitrée, d'un isolant sur ses faces arrière et latérale, coffre du capteur, et caisson.

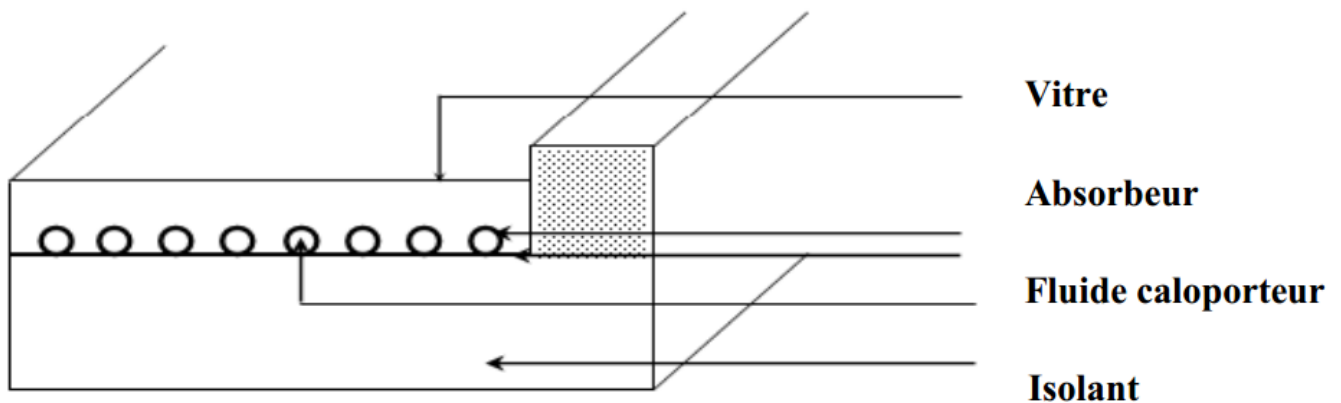


Figure I.2:Schéma du capteur plan a eau

Nous allons étudier chaque élément en particulier, en donnant les indications nécessaires pour réaliser ou choisir un bon capteur.

I.3.1. Couverture transparente(vitre) :

La couverture a une fonction de protection mécanique de l'absorbeur mais elle joue également un rôle important dans le bilan thermique en réduisant de chaleur. Echanges convectifs dont l'importance est fonction de l'épaisseur de la lame d'air ou du gaz situé entre l'espace couverture absorbeur[2].

Echanges radiatifs par création de l'effet de serre, c'est-à-dire bonne transparence et faible transmission du rayonnement infrarouge par l'absorbeur.

La couverture doit présenter une bonne résistance aux chocs, aux brusques variations de températures ainsi qu'aux températures élevées. Elle doit être facile à mettre en œuvre et présenter un faible coefficient de dilatation et de flexibilité.

I.3.2. Absorbeur :

L'absorbeur est un élément essentiel du capteur solaire. Il doit absorber la plus grande partie du rayonnement solaire et transmettre la chaleur produite vers le fluide caloporteur avec un minimum de perte [2].

I.3.3. Isolation thermique :

L'absorbeur doit transmettre l'énergie captée au fluide caloporteur en évitant les pertes thermiques par conduction, convection et par rayonnement, des différentes parties périphériques vers l'extérieur. Les solutions adaptées sont les suivantes:

- **Parties avant de l'absorbeur**

La lame d'air située entre la vitre et l'absorbeur se comporte comme un isolant vis-à-vis de la transmission de chaleur par conduction. Cependant, si l'épaisseur de cette lame est trop grande, une convection naturelle intervient, d'où une perte d'énergie. Pour les températures usuelles de fonctionnement du capteur plan, l'épaisseur de la lame d'air est de 2.5 cm [3]. En plaçant deux vitres, on limite les pertes dues à la réémission ainsi que les pertes par conduction et par convection [3],

- **Parties arrière et latéral**

Afin de limiter les pertes thermiques à la périphérie du capteur, on peut placer une ou plusieurs couches d'isolant qui doit résister et ne pas dégazer aux hautes températures,

Sinon, il faut s'attendre à voir apparaître un dépôt sur la face intérieure de la couverture.

En plus d'utiliser un isolant pour minimiser les pertes thermiques on peut augmenter la résistance de contact entre la plaque, l'isolant et le coffre en évitant de presser ces surfaces les unes contre les autres car dans le cas d'une forte rugosité, il peut exister entre les deux faces en contact un film d'air qui empêche la chaleur de passer facilement par conduction [3].

I.3.4. Coffre du capteur :

Le coffre du capteur renferme les différents actifs. Il devra donc assurer une protection efficace aux agents atmosphériques [2].

Les coffres de capteurs sont réalisées soit en fine feuille de métal (acier galvanisé, aluminium, inox) avec protection par revêtement stable aux intempéries.

Le coffre ou cadre doit permettre d'assurer sa fixation sur la couverture tout en lui permettant de se déplacer librement. Le vitrage est généralement posé avec un joint élastomère insensible aux rayonnements ultraviolets et avec un profile mécanique autorisant des opérations de montage et démontage aisées des celui-ci.

I.4. Principe de fonctionnement d'un capteur solaire plan :

Le principe de fonctionnement d'un capteur solaire plan peut être résumé comme suit :

Le rayonnement solaire traverse la vitre et arrive sur l'absorbeur muni d'une surface sélective où il est converti en chaleur à sa surface. Le fluide caloporteur qui circule dans l'absorbeur conduit la chaleur captée vers un échangeur de chaleur, à partir duquel elle est transmise au consommateur. Le vitrage est transparent pour le rayonnement visible et le proche I.R mais opaque pour le rayonnement I.R lointain émis par l'absorbeur, ainsi, la couverture transparente crée un effet de serre. L'isolation thermique en dessous et autour du capteur diminue les déperditions thermiques et augmente ainsi son rendement [3]. (Figure I.3)

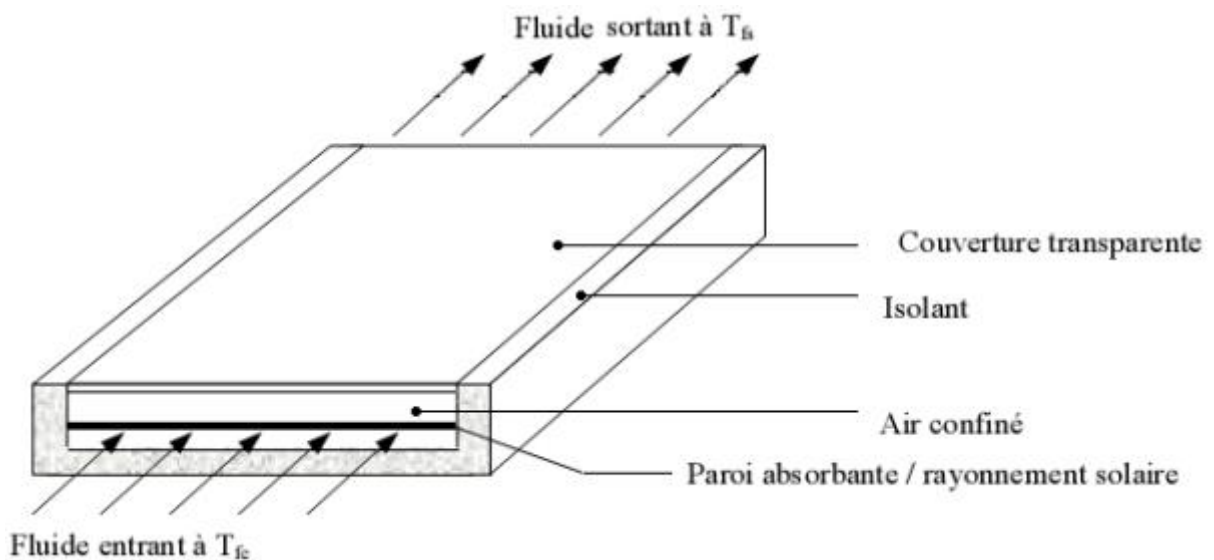


Figure I.3: Principe de fonctionnement d'un capteur solaire plan

I.5. Différents types des capteurs solaires plans :

Il

existe différents types de capteurs solaires plans pour chauffer les liquides. Leur choix dépend généralement de la température désirée, et des conditions climatiques pendant la période d'utilisation du système. Les technologies les plus courantes sont : les capteurs à liquide plans sans vitrage et les capteurs à liquide plans vitrés.

I.5.1. Capteur plan vitré

C'est le modèle le plus répandu. Il est constitué d'une caisse isolée couverte par un vitrage. À l'intérieur est placée l'absorbeur, un serpentin contenant le fluide à réchauffer. Pour que le serpentin

absorbe mieux la chaleur, il est bordé par des ailettes noires, la couleur noire transformant mieux la chaleur absorbée. Dans ce genre de modèle, l'absorbeur est protégé contre les déperditions thermiques par un matériau isolant (la plupart du temps, de la laine de roche). La vitre est quant à elle faite de verre trempé très résistant (intempéries, grêle), très transparente (faible teneur en fer) et spécialement conçue pour présenter un faible niveau de réflexion afin d'emmagasiner un maximum de chaleur. Si ces capteurs sont les modèles les plus choisis, c'est qu'ils sont :

- ✓ Robustes et d'une structure simple.
- ✓ Techniquement perfectionnés (qualité de la vitre, isolation).
- ✓ D'un rapport prix/performances sans égal.
- ✓ Faciles à intégrer grâce à leur surface plane.
- ✓ Discrets en montage sur le toit.

Les détails qui vont faire la différence, se trouvent dans la qualité de fabrication du caisson (aluminium, acier inoxydable), la qualité et l'épaisseur de l'isolation autour de l'absorbeur, le vitrage et son traitement anti-réflexion, les joints et l'assemblage. (Figure.I.4)

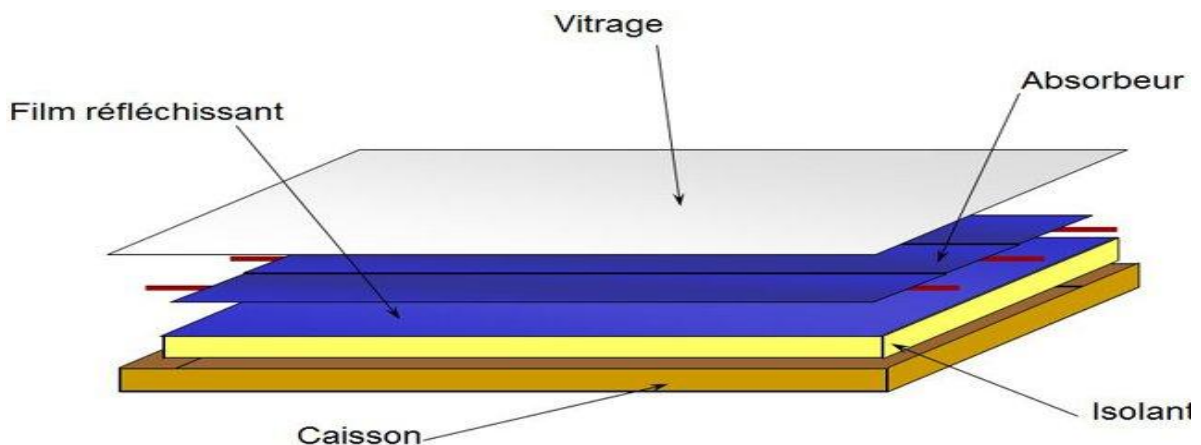


Figure I.4: Capteur solaire plan vitré

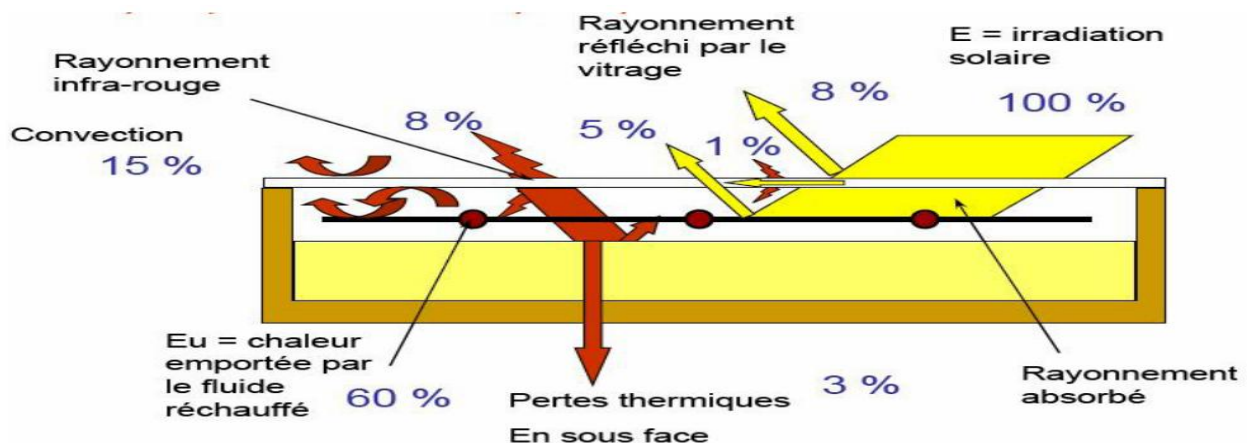


Figure I.5: Schéma de fonctionnement des capteurs plans vitrés

I.5.2. Capteur plan non vitré :

Nettement moins répandu que le capteur vitré, il est constitué d'un absorbeur sans caisse ni vitrage, ce qui simplifie la fabrication et le coût de fabrication. C'est un capteur qui par contre, est très dépendant de la température de l'air.

Performant l'été, il présente une grande sensibilité au vent froid l'hiver par son absence de vitrage. Il faut prévoir en général, une fois et demi plus de surface de capteurs pour égaler la production de capteurs plans vitrés.

On arrive finalement à un prix unitaire de l'installation équivalent avec le capteur vitré. (Figure.I.6)



Figure I.6: Capteur solaire sans vitrage

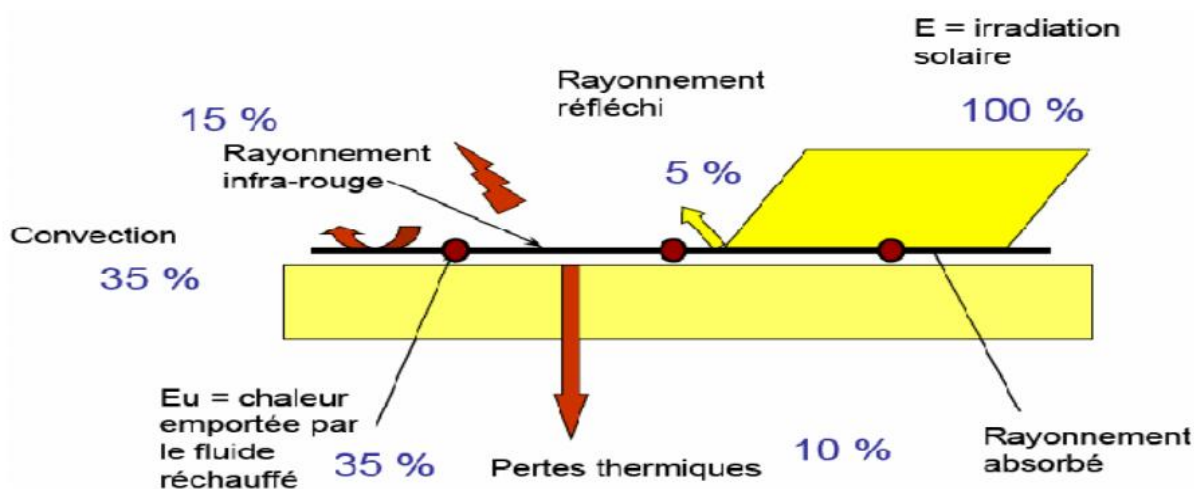


Figure I.7: Schéma d'un capteur solaire non vitré à revêtement Sélectif

I.5.3. Capteur à tubes sous vide :

C'est le type de panneaux High-Tec. Encore pas trop développé en France, il commence à faire une percée. Il est constitué d'une série de tubes transparents sous vide qui isolent l'absorbeur. On fait le vide dans ces tubes, comme dans les bouteilles isothermes afin de réduire les déperditions de chaleur par convection et par conduction thermique. L'intensité du vide est d'une importance décisive pour l'interruption du mécanisme de transfert de chaleur.

Il peut être rempli de gaz inerte, et certains de xénon, afin de réaliser une réduction significative du coefficient de déperdition.

Ce type de capteurs réagit avec moins d'inertie que les capteurs conventionnels. Ils s'échauffent plus rapidement, ils permettent de mieux tirer partie des petites périodes d'ensoleillement, ils permettent de mieux profiter de l'éclairement du soleil du matin et du soir. Comme les capteurs à tubes sous vide peuvent atteindre des températures extrêmes de plus de 150°C, le fluide caloporteur est spécialement développé pour ce genre d'installation.

La tuyauterie du circuit voyant passer le fluide à plus de 150° C, les tubes en cuivre ne doivent pas être soudés à l'étain. Les déperditions étant réduites par rapport à celles d'un capteur plan vitré, le rendement est nettement supérieur. (Figure.I.8)



Figure I.8: Capteur à tubes sous vide

I.5.4. Capteur CPC (Compound Parabolic Concentration) :

C'est un capteur plan ou à tubes sous vide avec un réflecteur "concentrateur a segments paraboliques" figure (I.9). Les réflecteurs CPC ont une géométrie qui permet au rayonnement solaire direct et diffus d'atteindre l'absorbeur, car la surface de l'absorbeur est cylindrique couvrant la totalité de la surface du tube intérieur. Ainsi, la partie face au soleil peut capter le rayonnement direct et la partie cachée peut capter le rayonnement par réflexion. (Figure.I.9)

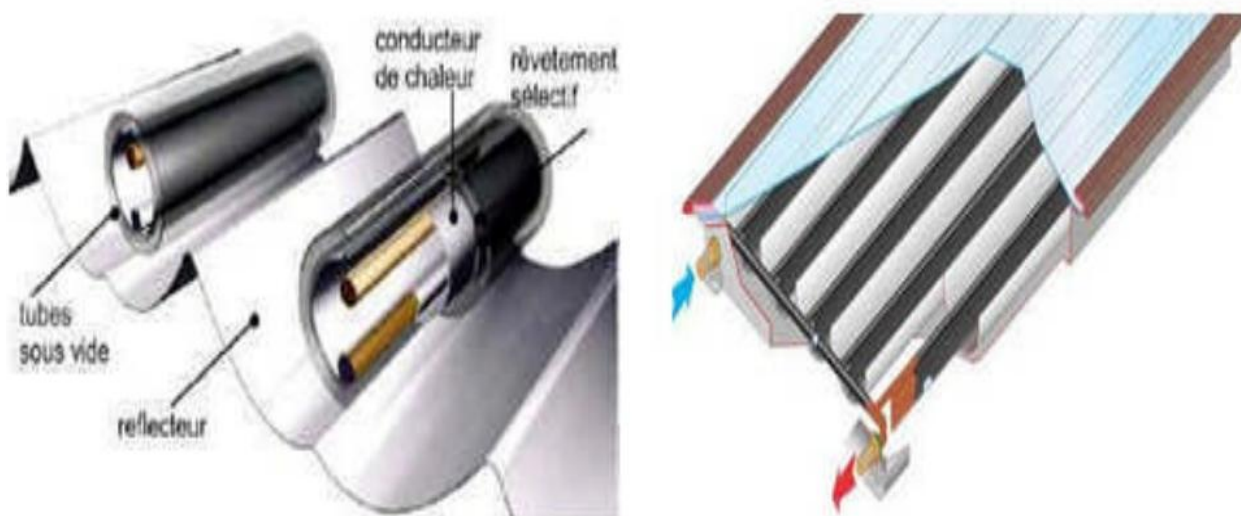


Figure I.9: Coupe Schématique du capteur CPC

I.5.5. Capteurs cylindro-parabolique :

Les concentrateurs solaires utilisent des surfaces réfléchissantes (miroirs) paraboliques ou cylindro-parabolique figure I.10 pour concentrer les rayons solaires respectivement dans le foyer ponctuel ou dans le foyer linéaire de ces surfaces. Dans le foyer ponctuel ou le long du foyer linéaire se trouvent les récepteurs (absorbeurs) qui captent la chaleur solaire ainsi concentrée. Naturellement, ces concentrateurs doivent suivre le mouvement du soleil. (Figure.I.10)



Figure I.10: Capteur cylindro-parabolique

I.6. Domaine d'application des capteurs solaires plan:

- ✓ Chauffages solaire.
- ✓ Climatisation solaire.
- ✓ Séchage solaire.
- ✓ Distillation solaire.
- ✓ Dessalement solaire.
- ✓ Refroidissement solaire.

I.7. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons défini les capteurs solaires d'une manière générale. Nous nous sommes référés à leurs types, qui diffèrent de l'un à l'autre, et le principe de son fonctionnement. Comme nous avons vu leurs applications.



Chapitre II

*Recherche bibliographique sur les capteurs
solaires plans à air*

Chapitre II

Recherche bibliographique sur les capteurs solaires plans à air

II.1.Introduction

En raison des propriétés thermo-physiques défavorables de l'air, le taux de transfert de chaleur entre la plaque absorbante et l'air est faible, ce qui conduit à un faible rendement thermique. Ainsi, en faisant augmenter le taux de transfert de chaleur entre l'absorbeur et l'air, plusieurs techniques sont utilisées pour améliorer les performances des échangeurs de chaleurs destinés aux applications solaires[5]

II.2.Recherches réalisées sur les capteurs solaires à simple passe

Akpinar et al (1975). [6] ont établi une analyse expérimentale d'un nouveau capteur solaire à air à plusieurs obstacles et sans chicanes type d. Les expériences ont été réalisées pour de deux débits 0.0074 et 0.0052Kg/s. le rendement le plus élevé a été déterminé pour les capteurs avec une plaque absorbante type b. ils ont observé que l'efficacité du capteur s'améliore avec un débit croissant et diminue avec l'augmentation de la température. Quant à la perte exergetique du système, elle diminue en fonction de l'augmentation de l'efficacité du capteur solaire à air. Le contrôle de l'écoulement d'air (circulation de l'air) est indispensable pour passer à un écoulement turbulent complètement développé à l'intérieur de la veine d'air dynamique. Donc la possibilité de manipuler un champ d'écoulement d'air pour supporter le faible taux de transfert de chaleur dans les capteurs solaires à air est d'une immense importance technologique. De nombreuses techniques de contrôle de l'écoulement de l'air dans les capteurs solaires à air tenant d'atteindre cet objectif sur la base de deux méthodes (active et passive), dans le but de minimiser les pertes thermiques par frottement et d'augmenter le transfert thermique entre l'absorbeur et l'air. Le développement de la recherche, est basé sur la circulation de l'air en générant de la turbulence et l'interaction de ces structures cohérentes avec l'absorbeur dont l'objectif principal est de collecter le maximum d'énergie solaire avec un coût minimum.

Yeh et Lin (1995).[7]Ont étudié théoriquement et expérimentalement l'influence du rapport d'aspect « le rapport entre la longueur et la largeur du capteur solaire »(figure II. 1). Ils ont trouvé qu'à une surface constante, le rendement thermique augmente avec l'augmentation du rapport d'aspect.

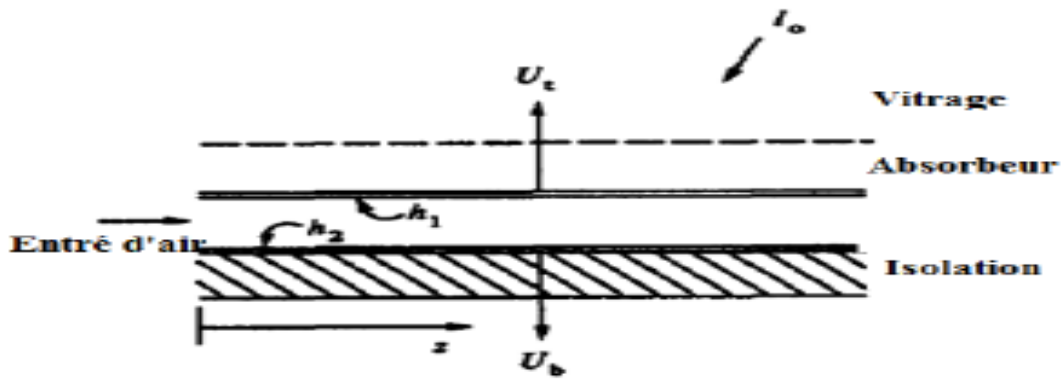


Figure II.1: Capteur solaire à air simple passe

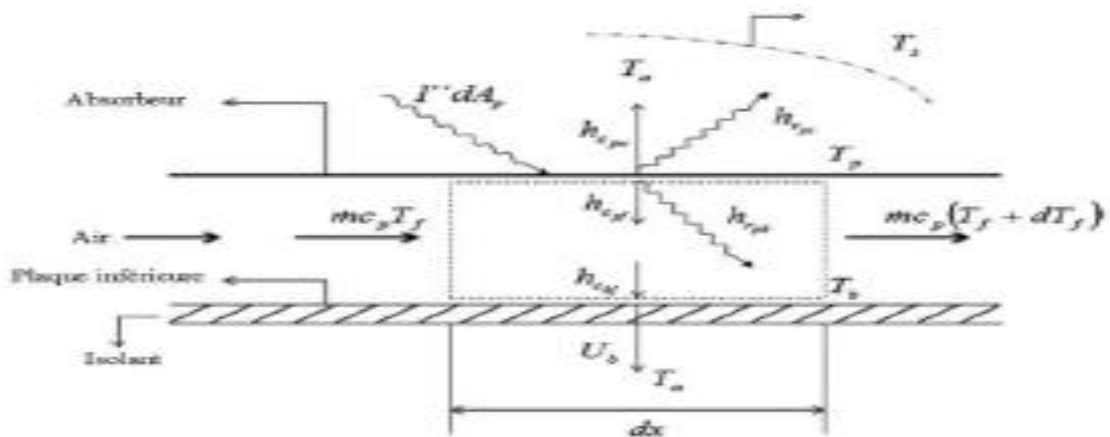


Figure II.2: Schéma de capteur solaire modélisé

A. BENKHELIFA (1998). [8]a présenté un modèle mathématique pour étudier l'influence de quelques paramètres sur le coefficient de perte thermique vers l'avant du capteur. Le modèle 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, mais, l'accroissement de la distance entre l'absorbeur et la vitre diminue les pertes thermiques comme la montre la (Figure II.2).

F. MOUKHTARI et D. SEMMAR (1999). [9] ont fait une étude expérimentale d'un capteur solaire plan à air. Ils ont présenté les résultats des essais effectués sur le capteur solaire plan à air. En premier lieu, ils ont donné la méthode de réalisation du modèle expérimental en se référant aux modèles standards des capteurs à air, ensuite une campagne de mesures a été menée afin de juger les performances thermiques de ce système.

Les paramètres mesurés ils permettent d'appuyer l'analyse théorique, ils valoriser son capteur solaire à air, et pour une éventuelle utilisation de son capteur dans le séchage des produits agro-alimentaires.

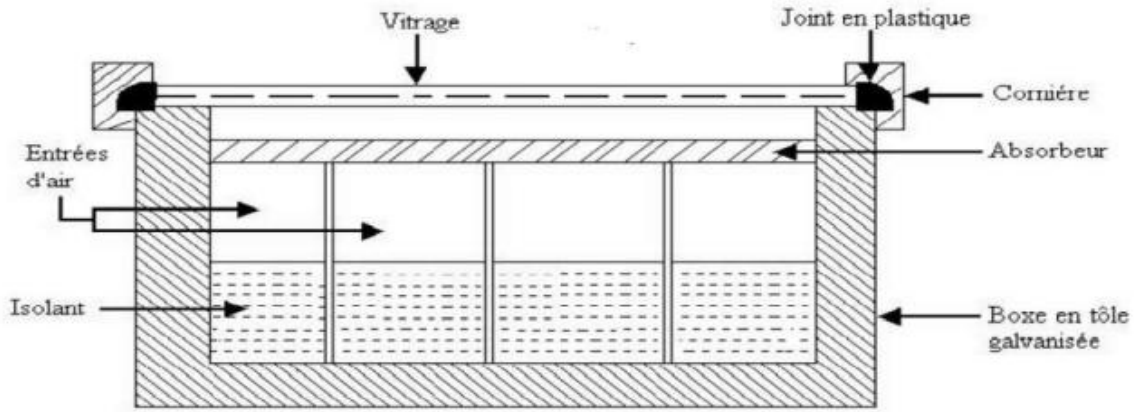


Figure II.3 : Coupe transversale du capteur à air

Les résultats sont présentés sous forme de graphes en convection naturelle et forcée.

➤ Convection naturelle

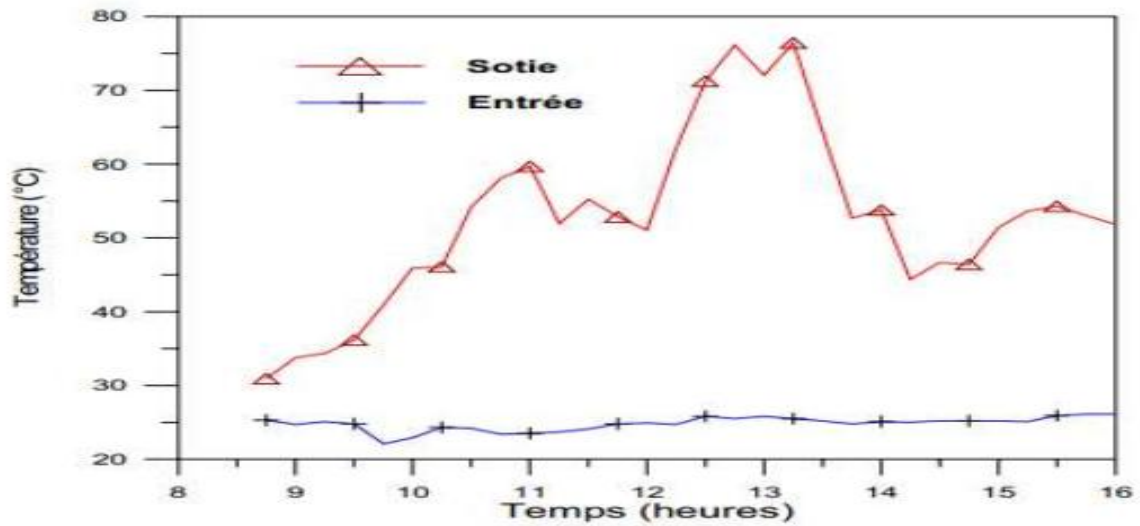


Figure II.4: Profil de températures (T_{fs} et T_{fe})

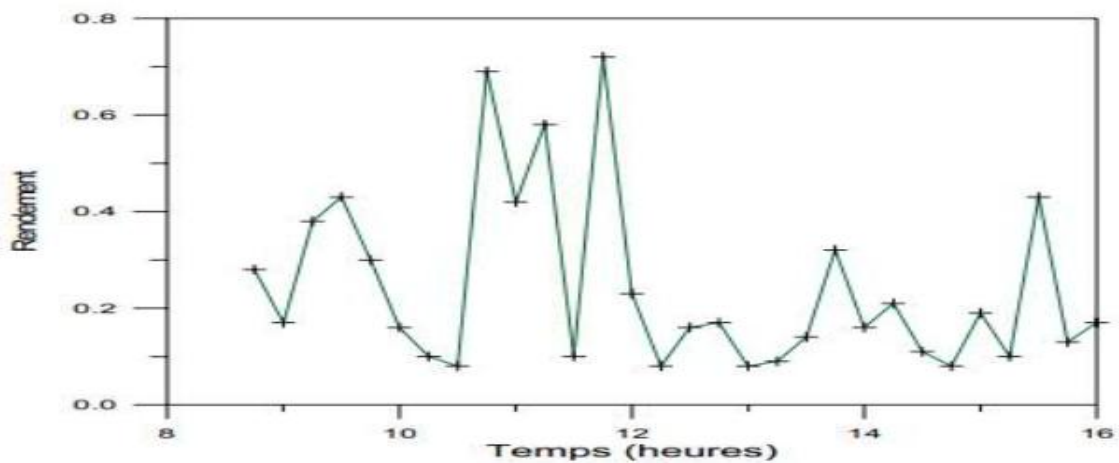


Figure II.5 : Représentation du rendement instantané

➤ Convection Forcée

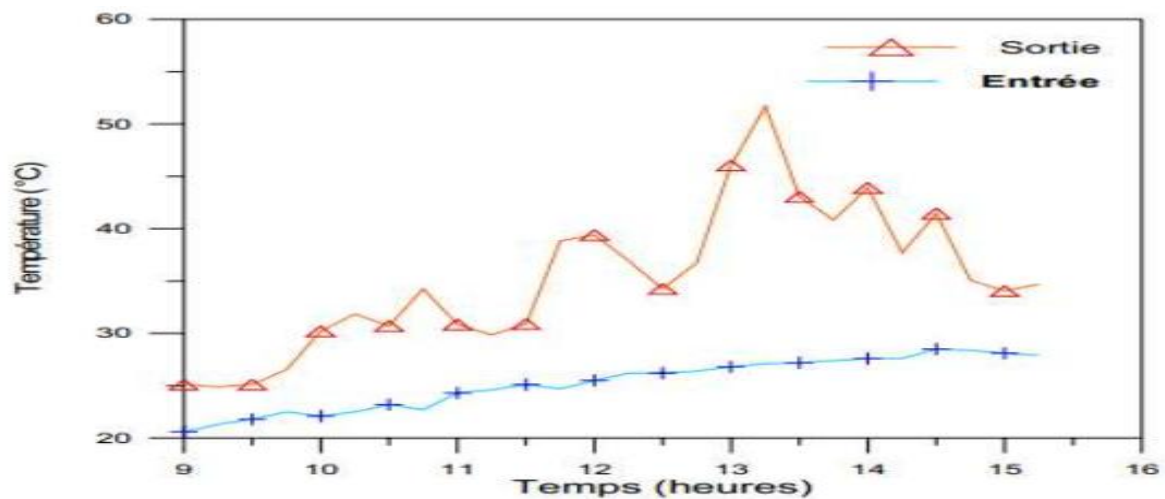


Figure II.6 : Profil de températures (Tfs et Tfe)

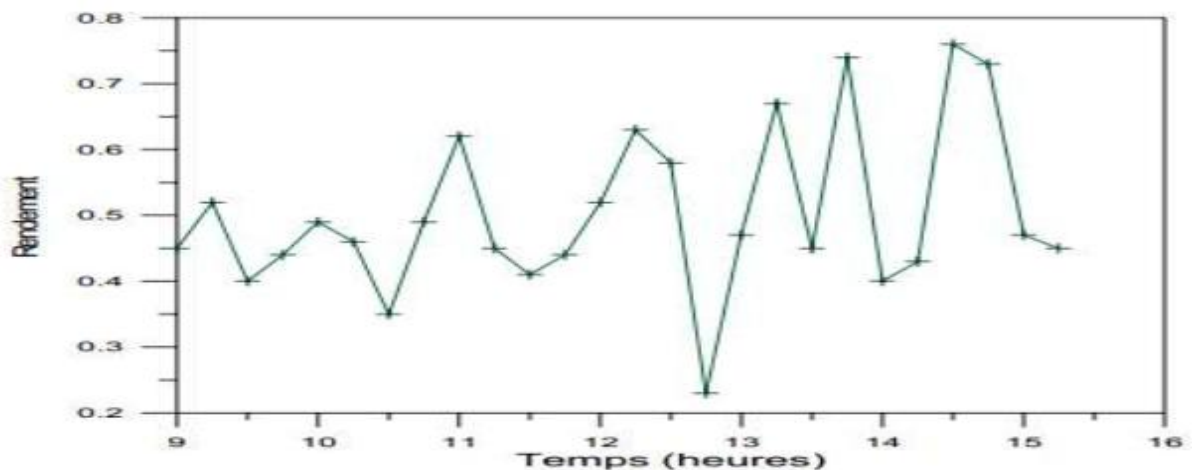


Figure II.7 : Représentation du rendement instantané

A partir des résultats obtenus, ils ont conclu que:

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

A. AHMED-ZAID et al (2001). [10] ont étudié expérimentalement l'insuffisance de l'échange thermique réalisée dans le capteur solaire plan à air entre le fluide et l'absorbeur. L'utilisateur est amené à apporter des améliorations pour de meilleures performances ou une meilleure efficacité thermique. Ils ont introduit des chicanes (obstacles) pour améliorer le rendement-écart de température du capteur.

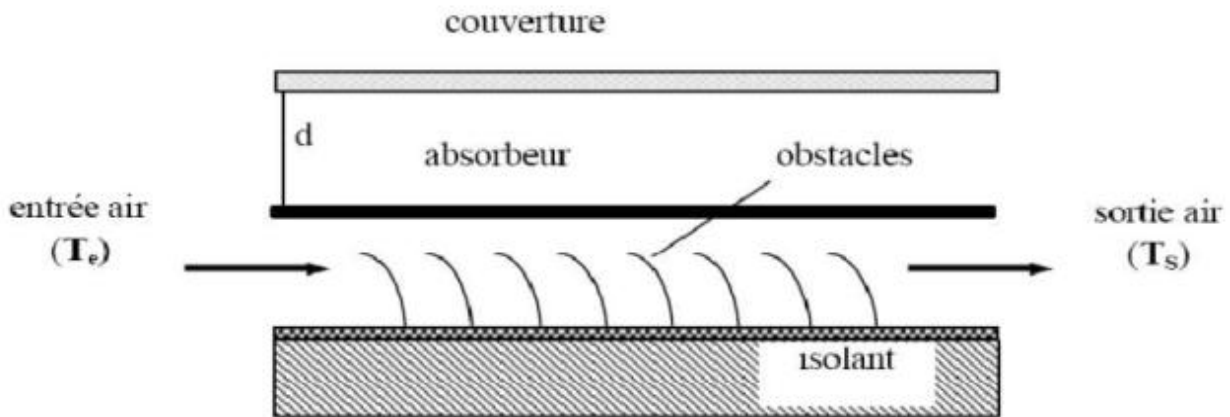


Figure II.8 : Le capteur solaire plan à air avec des chicanes (obstacles)

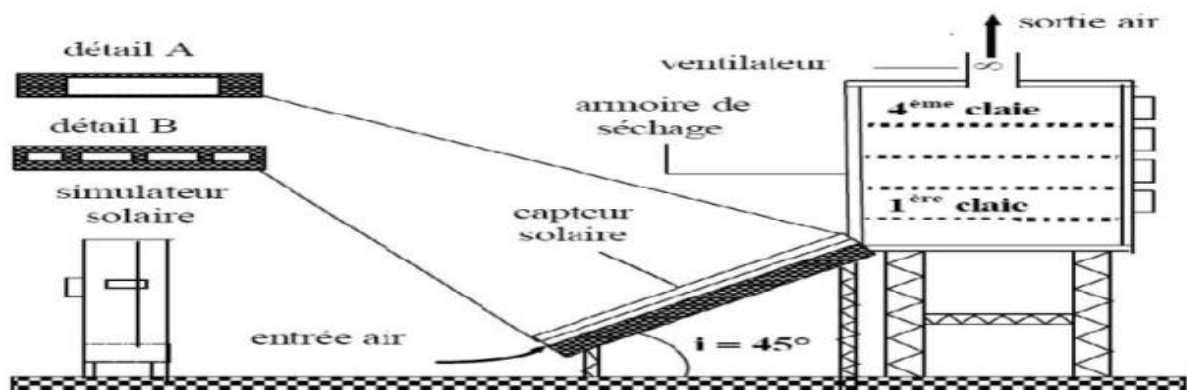


Figure II.9 : Installation expérimentale

Ce travail a montré que l'utilisation des chicanes dans la veine dynamique d'un capteur solaire plan demeure un moyen efficace pour l'amélioration de ses performances.

Les résultats présentés montrent l'amélioration tenue par l'utilisation des obstacles TL et DCL. Néanmoins, le respect de la température idéale de l'air de séchage est indispensable pour prendre en considération quelques contraintes (qualité, saveur, couleur et valeur alimentaire) imposées par le produit fini.

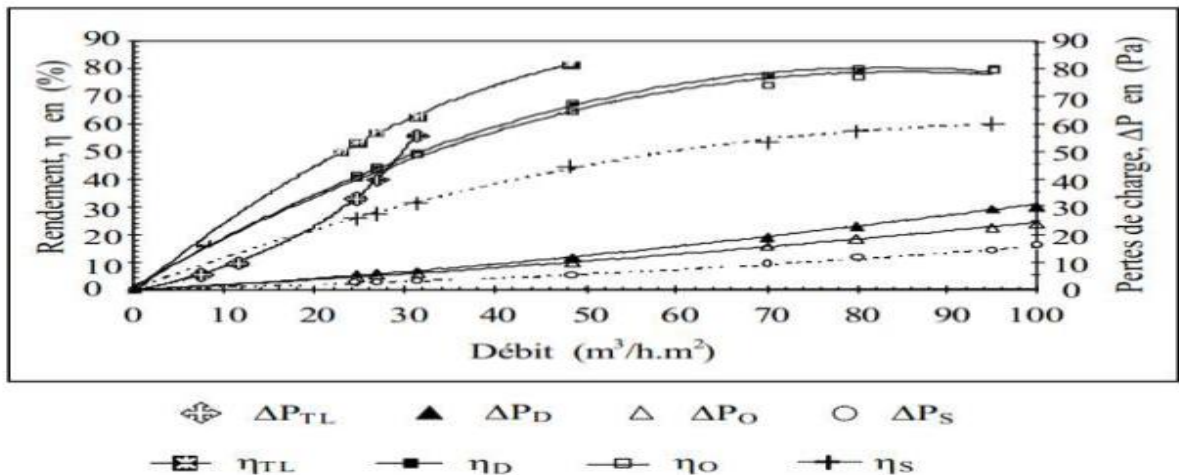


Figure II.10 : Variayion du rendement et des pertes de charge en fonction du débit pour des capteurs SC, Capteurs muni de DCL, OCL puis TL

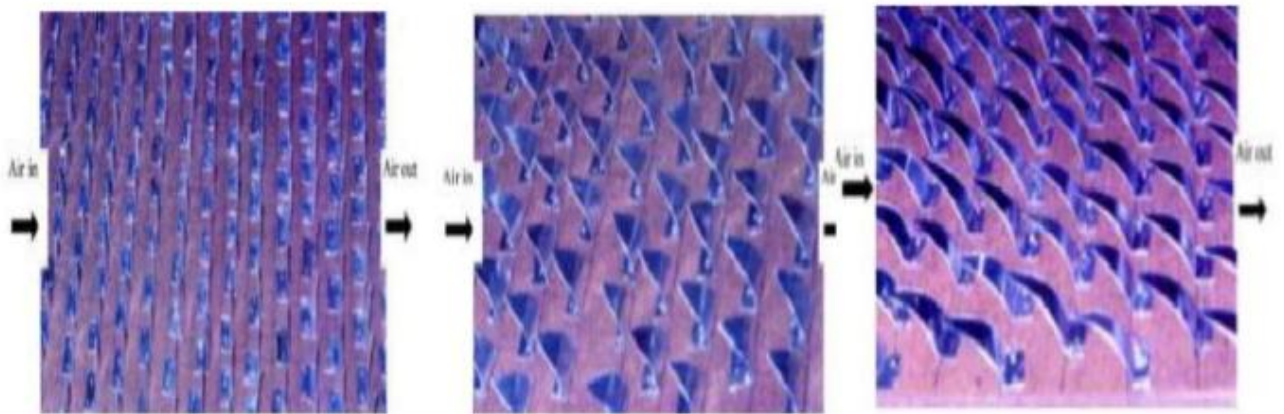


Figure II.11 : Différentes formes des ailettes ajoutées à l'absorbeur pour améliorer l'efficacité de l'absorbeur

Moumni et al (2004). [11] ont créé un écoulement turbulent entre l'absorbeur et la plaque inférieure et ont réduit les zones mortes par l'utilisation des ailettes de forme rectangulaires perpendiculaires à l'écoulement (figure II. 12), pour améliorer l'efficacité des capteurs solaires à air. Les résultats expérimentaux montrent qu'avec l'utilisation de telles rugosités artificielles, l'accroissement du rendement thermique peut atteindre les 80%. Avec la comparaison de ce type de capteur avec un autre sans rugosité artificielles, utilisant deux types d'absorbeurs, sélectif et non sélectif, ils ont trouvé que la sélectivité de l'absorbeur ne présente pas une amélioration remarquable sur le rendement thermique dans le cas d'un capteur solaire muni des chicane rectangulaires. Par contre, l'amélioration est significative pour le capteur lisse. Ceci n'a pas d'intérêt, car le rendement de ce dernier est limité à 55% même pour les grands débits.

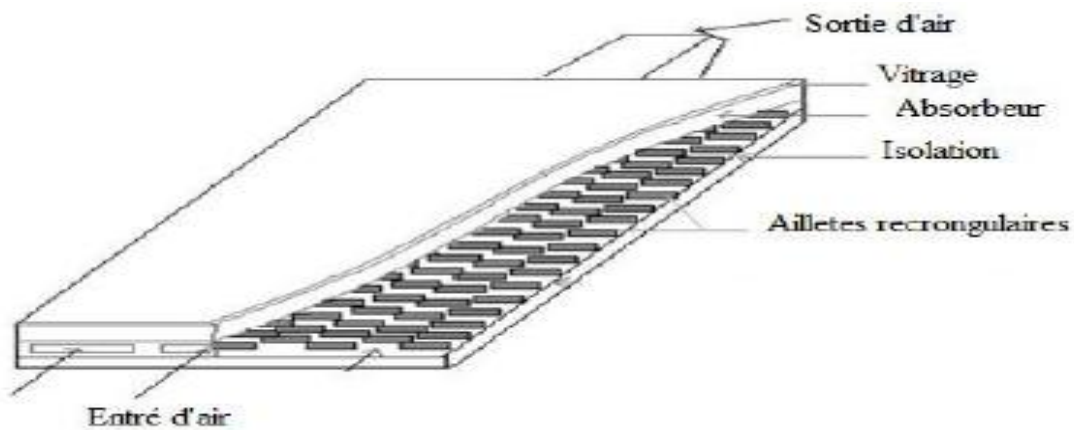


Figure II. 12 : Schéma représentatif des obstacles rectangulaires perpendiculaires à l'écoulement

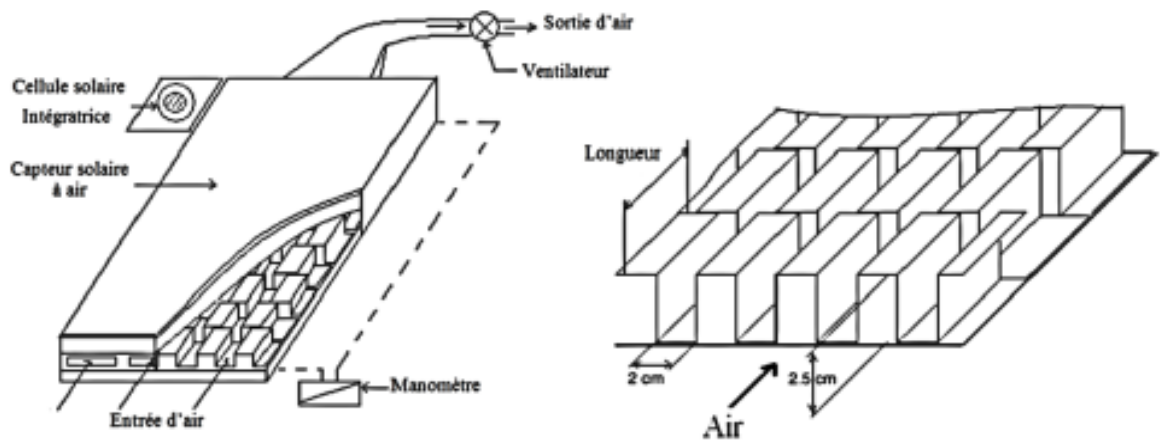


Figure II. 13 : Insolateur à ailettes rectangulaire

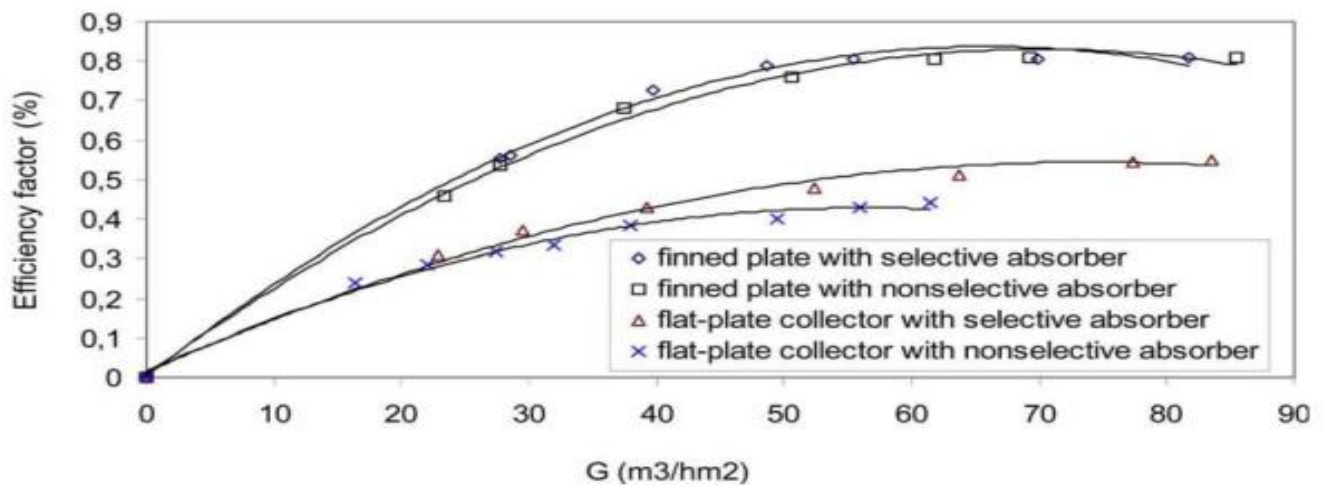


Figure II. 14: Evolution du rendement du capteur en fonction du débit volumz dz l'air pour les deux configurations de capteurs (avec chicane et absorbeur sélectif)

Youcef–Ali et al (2006).[12, 13]ont élaboré une étude expérimentale pour examiner l'amélioration du rendement thermique d'un capteur plan garni d'ailettes rectangulaires disposées parallèlement à l'écoulement d'air.les ailettes soudées à la partie inférieure de la plaque absorbante ont été arrangées en quinconce dont l'objectif principal de générer des tourbillons. Les auteurs ont abouti à des rendements thermiques de 68% pour le double vitrage et 78% pour le triple vitrage à un débit massique de 50 kg/hm² ces rendements sont plus élevés par rapport à un insolateur plan. Leurs résultats montrent que le panneau avec triple vitrage est plus performant que celui du double vitrage. Ceci est dû à la réduction des pertes de chaleur globale malgré la diminution du montant de radiation transmis à l'absorbeur.

Ben Slama (2007). [14] a mené des études pour visualiser l'air circulant à l'intérieur du collecteur, en utilisant la fumée blanche injectée dans le canal d'air mobile. Cette méthode présente la localisation des zones mortes, ainsi que la forme des tourbillons engendrés par les chicanes. La visualisation de l'écoulement d'air dans les différents capteurs solaire sans et avec chicanes sont présentée sur la (figure II. 15). La meilleure configuration est celle qui permet de propager la trajectoire de flux d'air, qui augmente la vitesse de l'air dans le collecteur, menant ainsi à l'amélioration du transfert de chaleur, qui favorise l'efficacité énergétique tout en assurant une augmentation maximale de la température.

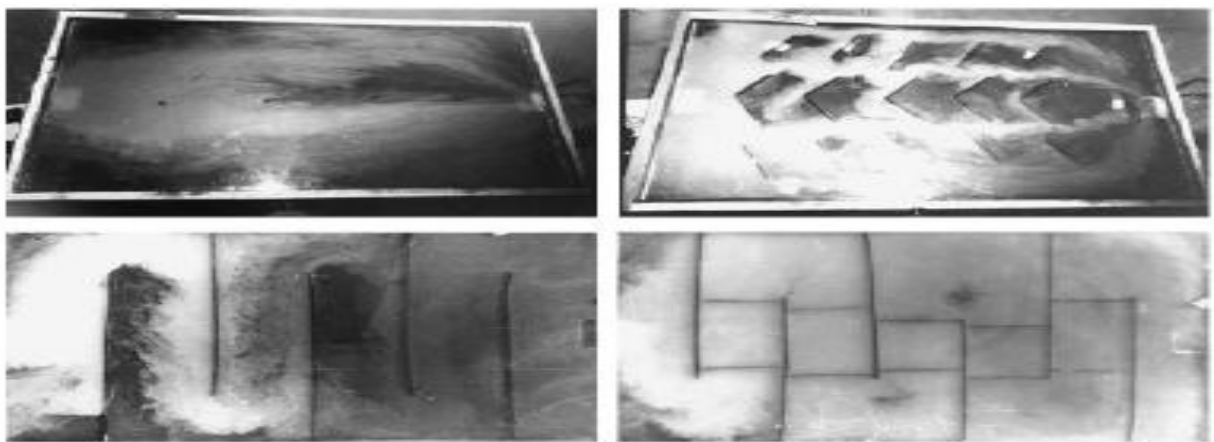


Figure II. 15 : *Visualisation de l'écoulement d'air dans un capteur sans et avec chicanes*

Labed et al (2009). [15, 16] ont mené une étude théorique et expérimentale d'un capteur solaire plan à air muni d'un modèle de rugosités artificielles un peu spécifique placées dans la veine d'air mobile pour créer un écoulement de plus en plus turbulent entre l'absorbeur et la plaque inférieure (Figure II. 16). Le fluide passe entre les rugosités artificielles (chicanes) sous la forme de canaux de bases à la fois parallélépipédiques et trapézoïdales, ce qui permet une bonne distribution

du fluide et réduit ainsi les zones mortes. Ils ont présenté également les résultats issus de l'analyse théorique du capteur solaire avec chicane. Les résultats sont comparés à ceux obtenus avec un capteur solaire à air sans chicane. Par adjonction des chicanes de formes trapézoïdales, l'auteur et ses collaborateurs ont pu apporter des améliorations importantes du rendement du capteur allant jusqu'à 15%. L'amélioration apportée se traduit par une élévation de la température de sortie et une baisse de la température de l'absorbeur. Il ressort de l'étude menée, le rôle très favorable à l'augmentation de l'échange thermique dû à la présence de ce type de chicanes placées dans la veine d'air utile. Néanmoins, ces chicanes engendrent des pertes de charge par comparaison à un canal lisse (capteur sans chicanes).

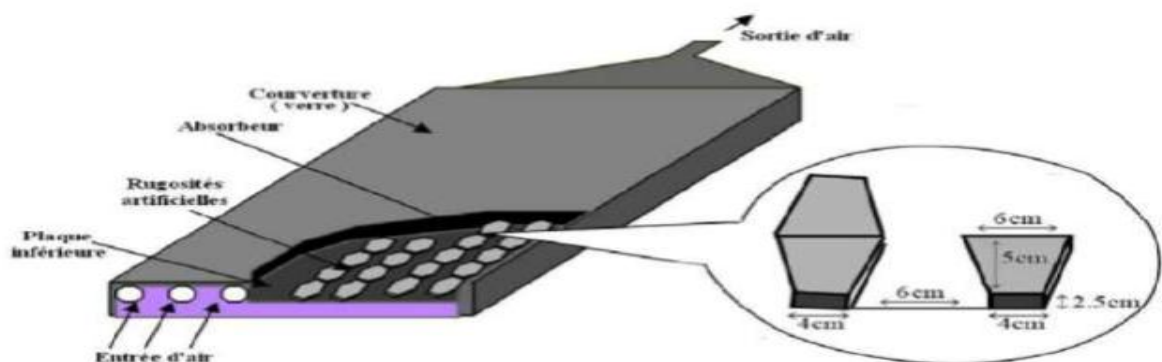


Figure II. 16 : Schéma du modèle expérimental

La (figure II.17), montre que les résultats expérimentaux ont la même allure que les résultats issus de l'étude théorique et que la température de l'absorbeur pour un capteur sans chicanes pour les différents débits est plus élevée que celle d'un capteur avec chicanes.

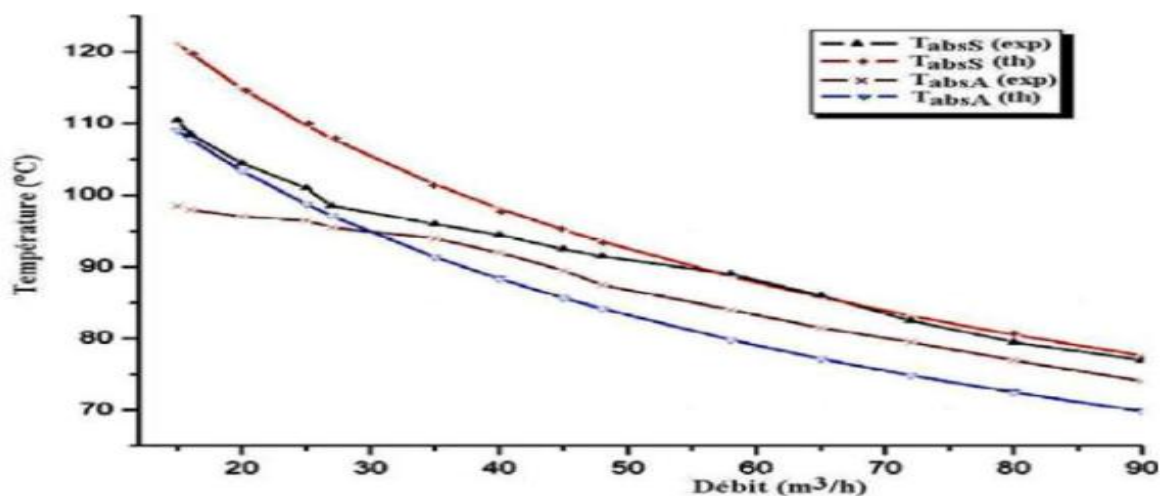


Figure II. 17 : Evolution de la température de l'absorbeur en fonction du débit

La (figure II.18), traduit une comparaison entre les performances calculées pour le cas d'un capteur avec et sans chicane pour différents débits. On remarque que les rugosités artificielles permettent d'améliorer les performances thermiques du capteur. En effet un gain d'environ 20°C est obtenu.

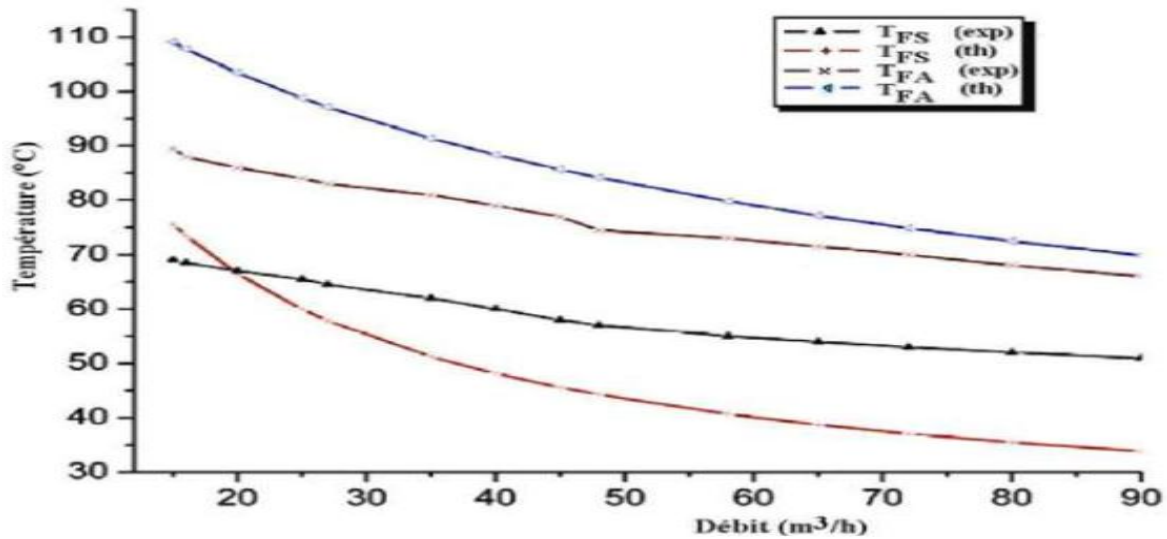


Figure II. 18 : Evolution de la température de l'air à la sortie du capteur en fonction du débit

La(figure II. 19) montrent l'évolution du rendement du capteur en fonction du débit pour les deux cas (avec et sans chicane). On constate que le rendement augmente avec le débit et qu'une nette amélioration des performances est apportée par l'adjonction des chicanes.

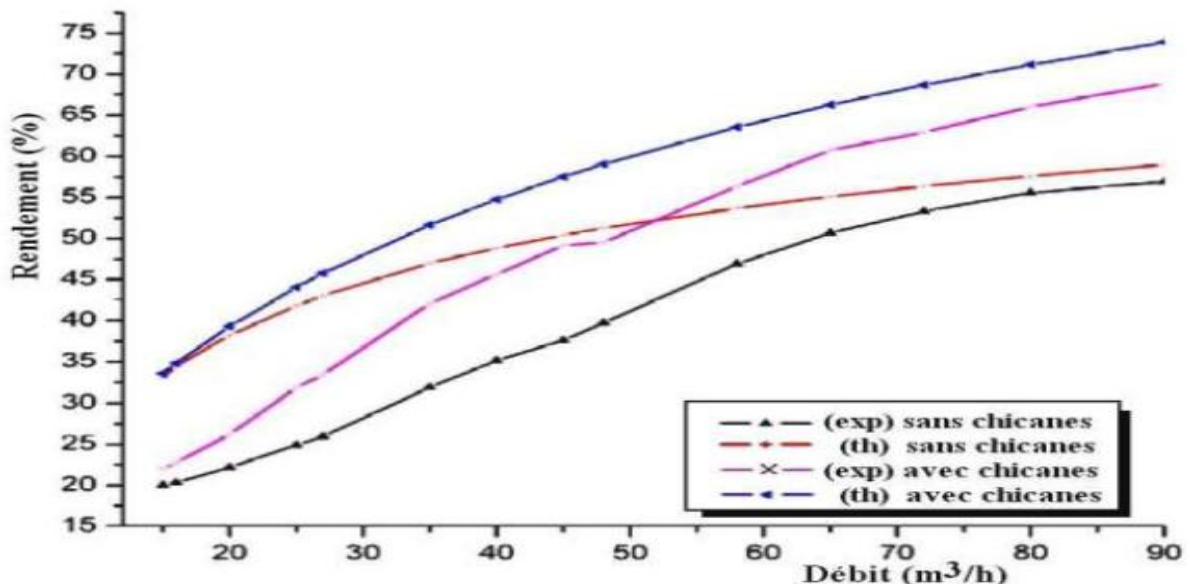


Figure II. 19 : Evolution du rendement du capteur en fonction du débit

Baritto et Bracamonte (2012). [17] ont présenté un model numérique sous forme adimensionnel dont le but d'avoir la distribution de la température le long du capteur solaire plan à

air sans vitrage (figure 20). Ils ont proposé une équation facile à manipuler pour calculer la température de sortie d'air en fonction du débit massique et le rapport d'aspect du collecteur. Cette équation montre un bon accord avec les données expérimentales. Ong [18, 19] a étudié plusieurs configurations des capteurs solaires à air (type 1 : capteur avec un seul écoulement entre l'absorbeur et la vitre , type 2 : capteur avec un seul écoulement entre l'absorbeur et la vitre, Type 3 : capteur double vitrage et double canal avec un seul écoulement d'air entre l'absorbeur et l'isolant , Type 4 : capteur double canal avec double passage d' écoulement d'air entre l'absorbeur et l' isolant et entre la vitre et la plaque absorbante) (voir la figure 3). L'auteur a présenté un model mathématique pour résoudre les équations de bilan énergétique par l'utilisation de la matrice inverse dont le but de calculer les températures de chaque composant de collecteur. Un bon accord qualitatif et quantitatif a été obtenu entre les résultats numériques et expérimentaux.

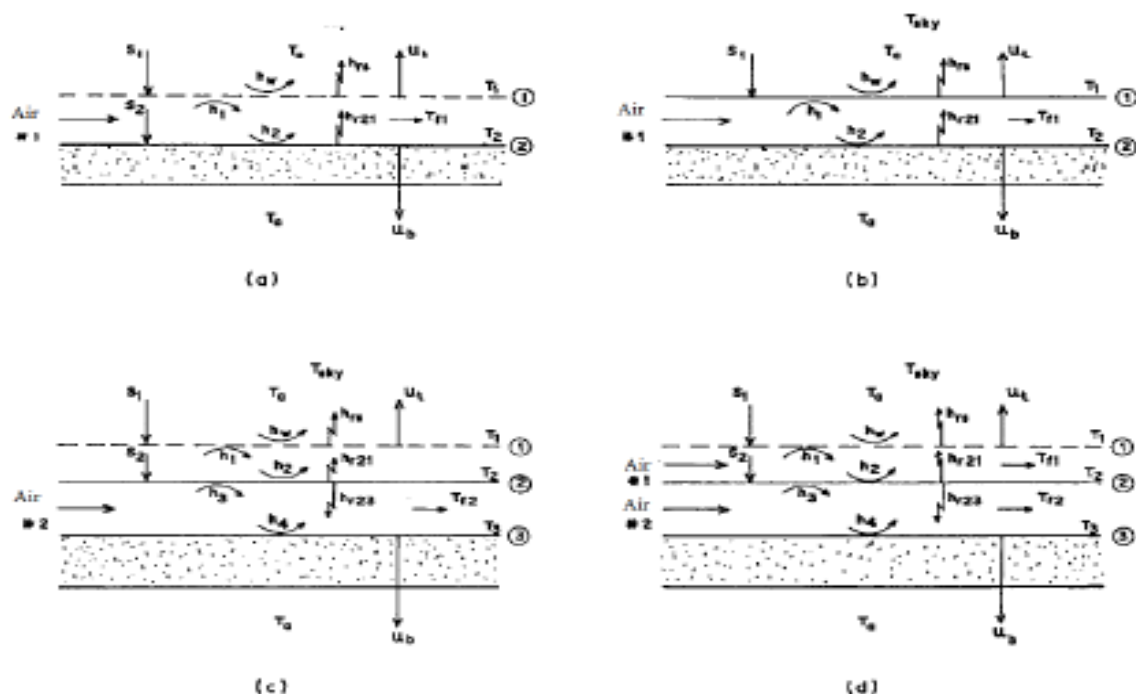


Figure II. 20 : Différents capteurs solaire étudié par Ong

Aoues et al (2012). [20, 21] Ont mené une série des tests expérimentaux sur un capteur solaire à air dont le but d'optimiser les performances thermiques. La veine d'air dynamique du capteur de 25mm de hauteur, comprise entre la plaque absorbante et une plaque en acier galvanisé placé sur l'isolant, cette veine est équipée de rugosités artificielles de différentes formes (model-1 et model-2) et différents arrangements (A et B) (figure II 21 et II22). L'adjonction des obstacles dans le parcours offert au fluide caloporteur, permet l'augmentation de l'échange thermique avec l'absorbeur. Les auteurs ont conclu que la géométrie de passage dans la section droite perpendiculaire à l'écoulement joue un rôle important. Ainsi, la comparaison entre les performances

des configurations étudiées a abouti au choix de la configuration B1(chicanes modèle-1) comme étant celle qui permettra d'obtenir le meilleur rendement.

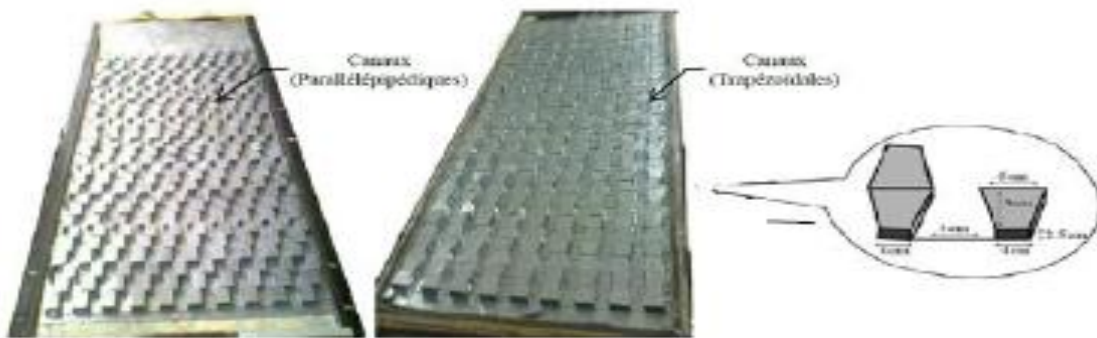


Figure II. 21 : Configuration des chicanes utilisées par Labeledet al [16]

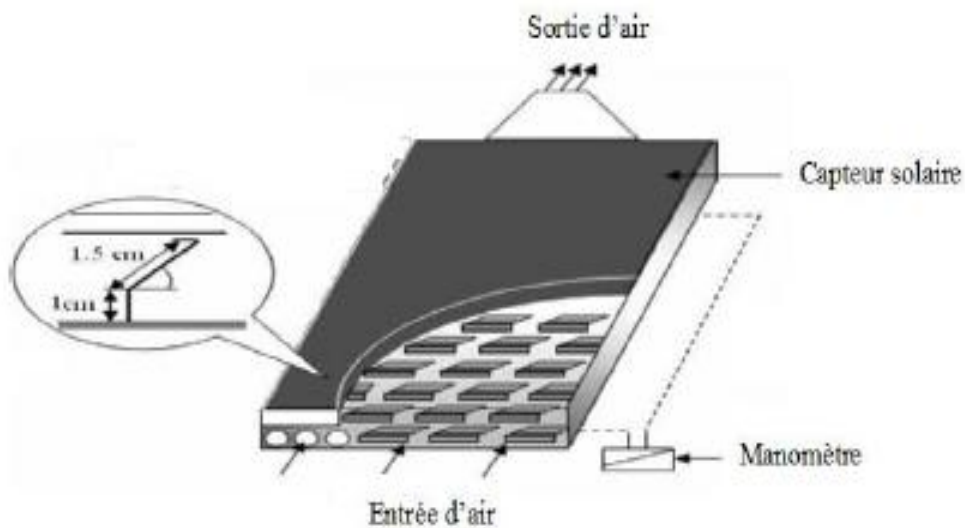


Figure II. 22 : Dispositif expérimental[16]

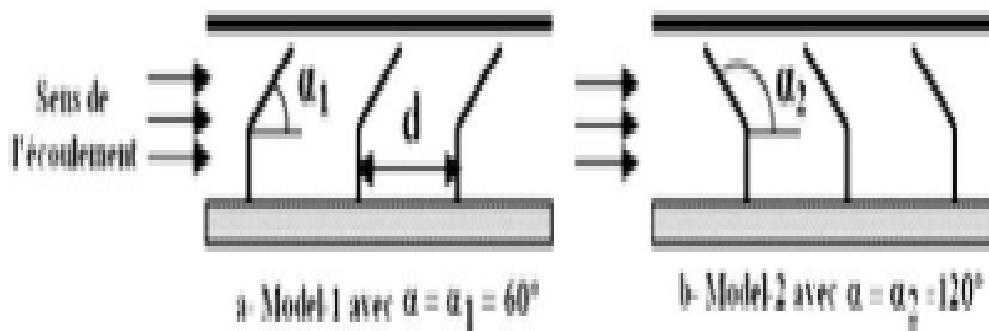


Figure II. 23: Schéma des deux configurations utilisées par Aoues et al[20]

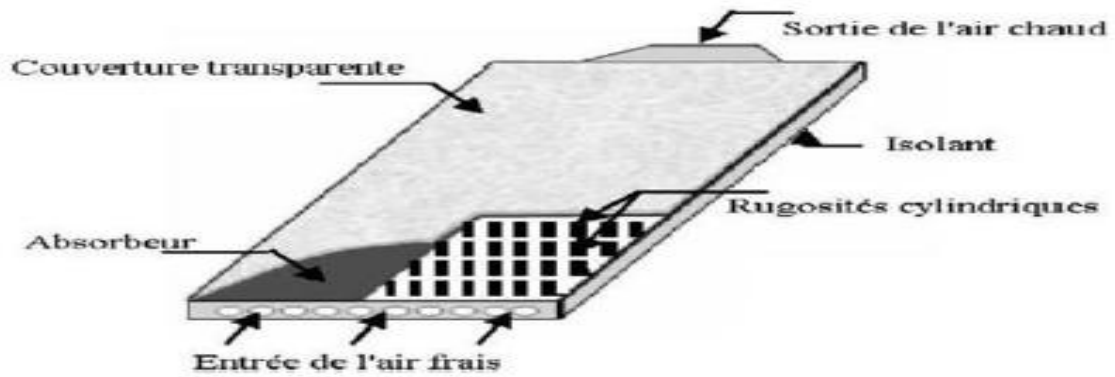


Figure II. 24 : Capteur solaire plan à air muni de rugosité cylindrique

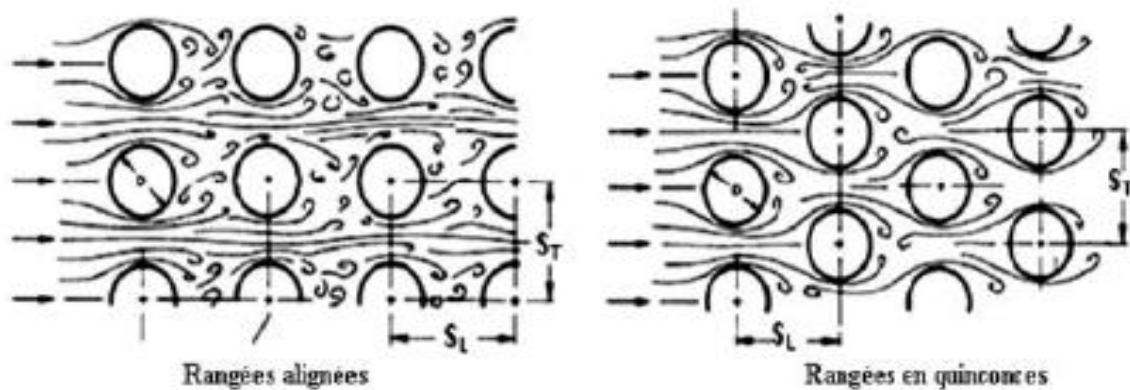


Figure II. 25 : Différents arrangement des chicanes cylindriques

Chouchane et al (2012).[22, 23] ont établi des modèles empiriques reliant les pertes de charge aux caractéristiques géométriques des différentes rugosités artificielles et des différents modes de dispositions de celle-ci dans la veine d'air dynamique d'un canal rectangulaire (figure 26). Un dispositif expérimental a été mis au point pour mesurer les pertes de charge occasionnées entre l'amont et l'aval du conduit utile. Les résultats expérimentaux montrent que les pertes de charges sont plus importantes en présence de la disposition en quinconce.



Figure II. 26 : Différentes configurations des chicanes testées par Chouchane et al.

En plus, **Aoues et al (2014), [24]** Ont mené un travail théorique en vue d'améliorer le coefficient de transfert convectif entre l'air et l'absorbeur, en plaçant des chicane cylindriques perpendiculairement à l'écoulement dans la veine d'air dynamique la plaque absorbante et l'isolant. les auteurs ont étudié trois capteurs (capteur plan à air dépourvu de chicanes, capteur plan à air muni des chicanes cylindriques arrangées en rangés alignées et un capteur solaire à air plan muni des chicanes arrangées en quinconce. les auteurs ont trouvé que le meilleur rendement est obtenu avec des chicanes cylindriques arrangées en quinconce, et le plus faible rendement pour un capteur lisse (capteur sans chicanes).

Mahboub et al (2016), [25, 26] Ont proposé un modèle empirique pour l'étude de l'effet de l'angle d'attaque sur le transfert de chaleur par convection forcé sur une plaque plane d'un écoulement non visqueux (figure 27). Ils ont constaté qu'à grande valeur de Prandtl, la variation du transfert de d chaleur par convection modifier substantiellement son comportement par rapport aux petites valeurs. Mahboub et al. [27] ont proposé une nouvelle conception d'un insolateur courbé. Ils ont déduit que l'impact des forces centrifuges sur l'échange thermique dans l'insolateur courbe semble être analogue à l'effet de rugosités artificielles en fournissant un bon mélange d'air suite à la formation d'un écoulement secondaire tourbillonnaire qui s'intensifie proportionnellement au débit d'air. Cependant, contrairement aux conduits rectilignes ayant des rugosités artificielles insérés perpendiculairement au sens de l'écoulement impliquant une séparation de l'écoulement et des zones de recirculation en amont et en aval de chaque élément de rugosités [28], les tourbillons dans le conduit courbe se forment dans le plan de sa section droite et le gradient de pression dans la direction de l'écoulement est favorable partout, ce qui implique en effet une perte de charge relativement faible.

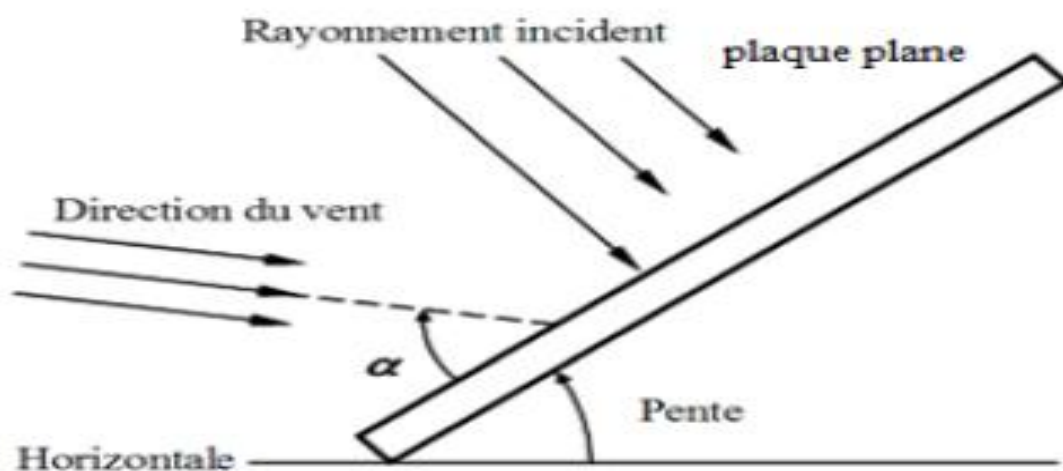


Figure II. 27 : Schémas d'un insolateur plan incliné

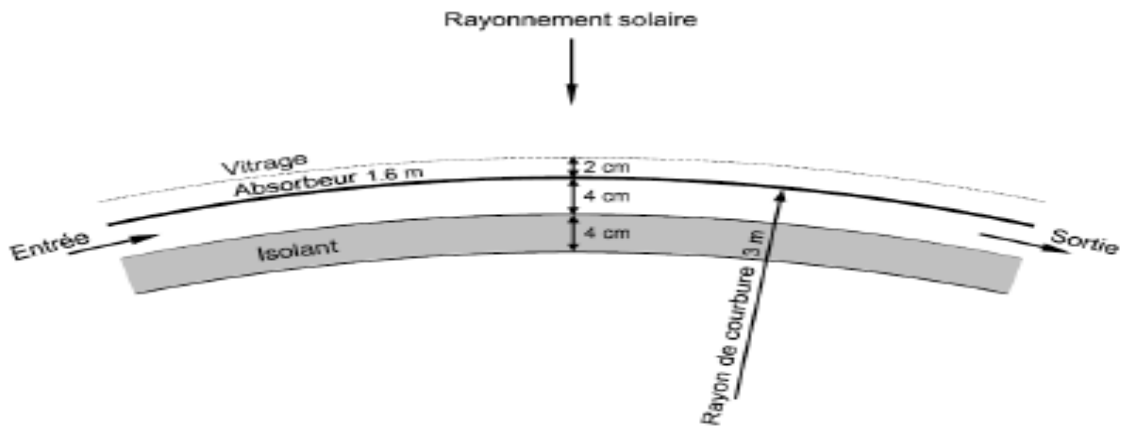


Figure II. 28 : Schéma de l'isolateur courbé

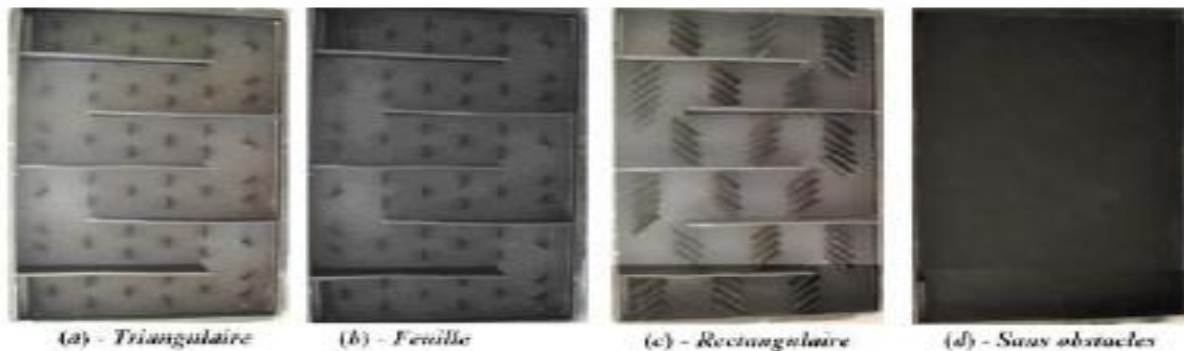
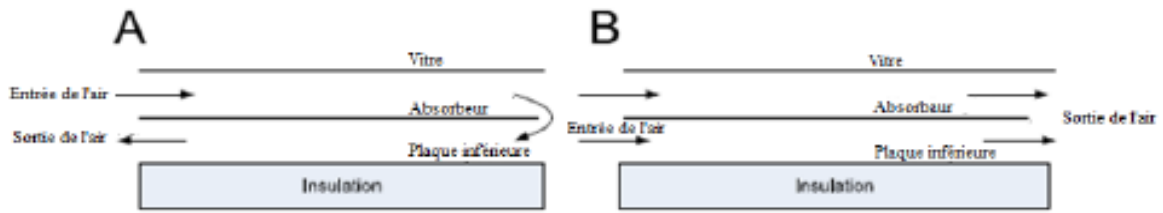


Figure II. 29 : Photographie de la plaque absorbante des différents capteurs

II.3. Recherches réalisées sur les capteurs solaires à doubles passe

Les capteurs solaires à air à double passage peuvent être classés en fonction de la direction de l'écoulement. C'est-à-dire écoulement contre-courant et co-courant ou écoulement parallèle. Dans un écoulement contre-courant l'air s'écoule au dessus et au dessous de la plaque absorbante dans le sens opposé tandis que dans le type à écoulement parallèle, l'air circule à la fois au dessus et au dessous de l'absorbeur dans la même direction (voir figure II. 30)

Plusieurs chercheurs ont effectué des études théoriques visant à améliorer les performances thermiques des capteurs solaires à air à double passe en utilisant différentes techniques : augmenter la surface d'échange par l'utilisation des chicanes, en utilisant les milieux poreux et l'utilisation des plaques absorbantes ondulées.



(a) écoulement contre courant. (b) écoulement co-courant.

Figure II. 30 : Deux types de capteurs solaires à air à double passe selon la direction de l'écoulement

Le concept de capteurs solaires à air à double passage de l'air a été étudié pour la première fois par Satcuna-Nathan et Deonarine [29] et plus tard il a été considéré par Caouris et al. [30]. Ces chercheurs ont mené des expériences sur la conception des capteurs solaires à double passage avec l'écoulement d'air dans deux canaux différents. Les pertes thermiques des couvercles peuvent être réduites en utilisant des systèmes. Un modèle de transfert de chaleur a été développé et analysé par Wijesundera et al. [31] et a comparé les résultats avec les panneaux solaires à une seule passe. Le rendement de collecteur a été analysé sur une gamme des conditions de conceptions et de fonctionnement. Les auteurs ont constaté aussi que la performance des systèmes de double passage était meilleure que la performance des systèmes simple passe. Ils ont également constaté que la température de la vitre extérieure était proche de la température ambiante par rapport au système d'une seule vitre la géométrie étudiée est représentée sur la (figure II. 31).

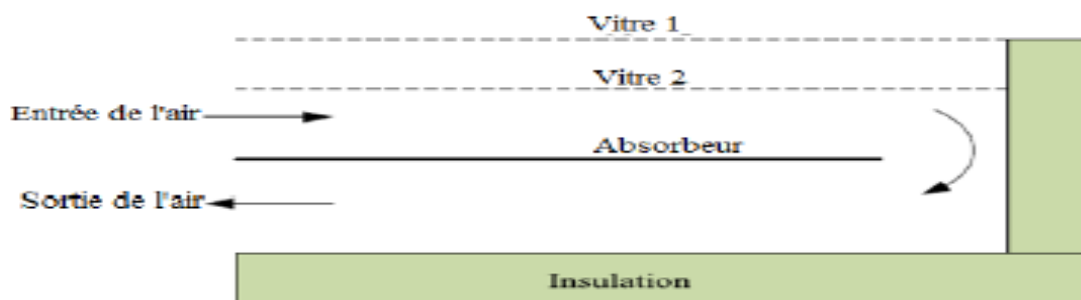


Figure II. 31 : Schémas représentatif de capteur étudié (écoulement contre courant)

A. ZERROUKI et al (2002). [32] Ont modélisé les pertes thermiques dans un capteur solaire à air à deux passes. Ils ont étudié le cas où le capteur est dans un état tel que les conditions de (Bliss-Whillier) sont respectées. Un bilan thermique a été établi respectivement sur la couverture transparente, l'absorbeur puis l'isolation thermique arrière.

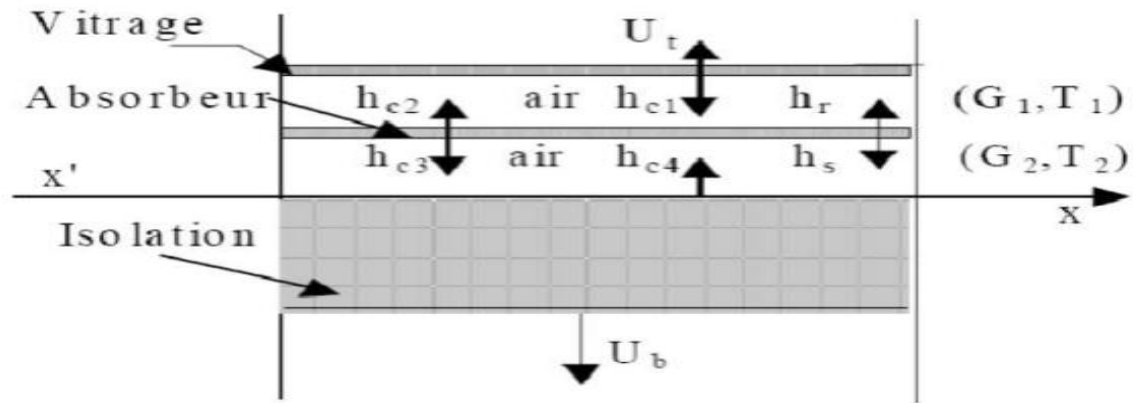
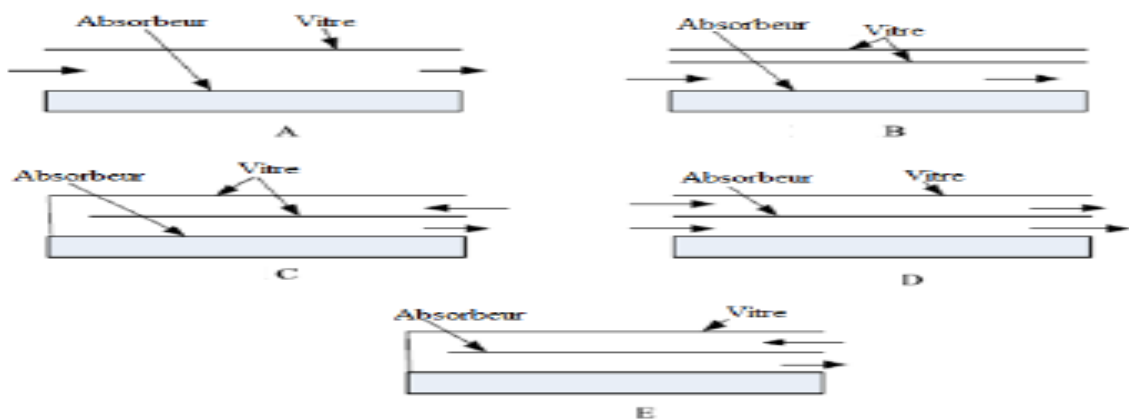


Figure II. 32 : Schéma d'un élément du capteur

Dans cette étude, ils ont présenté une solution mathématique exacte de ce modèle, et fourni les expressions exactes du coefficient de conductance thermique et la conductance totale d'un capteur solaire à deux passes en régime permanent.

La comparaison des résultats avec ceux obtenus avec l'analyse de Bliss - Whillier sont satisfaisants.

Naphon et Kongtragool (2003). [33] ont présenté un modèle mathématique pour étudier les effets de débit massique sur la performance des capteurs solaires à air à double passe et simple passe. Ils ont utilisé la méthode des différences finies pour résoudre les modèles et ont rapporté que le double passe était meilleur que le simple passe pour la même gamme de paramètres de fonctionnement et de conception. Les modèles de capteurs solaires à air sont présentés sur la (figure



II. 33).

Figure II. 33 : Les modèles des capteurs solaires à air

Ramdan et al (2007). [34] Ont mené une étude expérimentale et théorique d'un collecteur solaire à double passage et à double vitrage avec milieux poreux. Le calcaire et le gravier ont été utilisés comme milieux poreux au dessus de la plaque absorbante (figure II. 34). Ils ont trouvé que le rendement thermique augmente avec l'augmentation de débit massique jusqu'à une valeur typique de 0.05 Kg/s au-delà de laquelle l'augmentation de rendement thermique devient insignifiante.

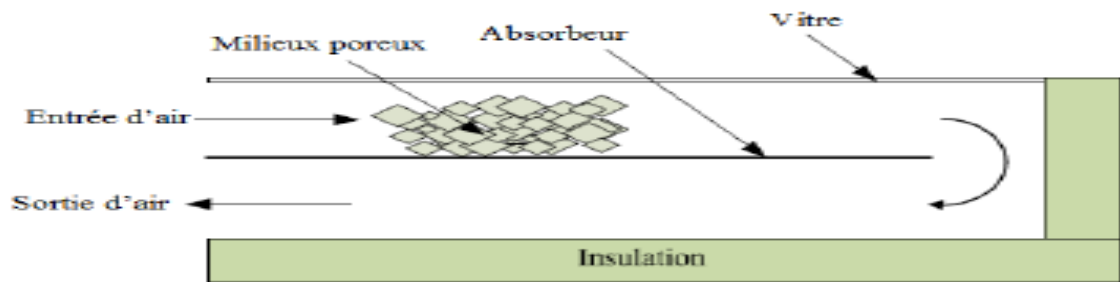


Figure II. 34 : Schéma de capteur solaire à air à double passe avec milieux poreux

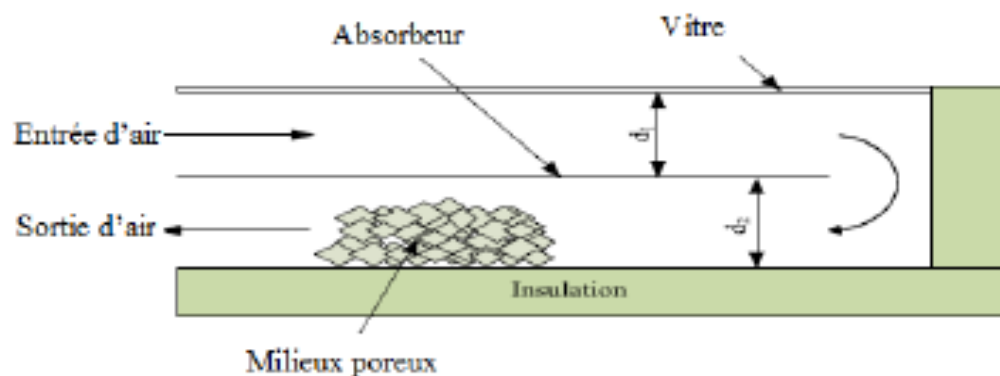


Figure II. 35 : Schéma de capteur solaire à air à double passe avec milieux poreux

Ho et al(2009). [35] Ont présenté une étude expérimentale et théorique d'une nouvelle technique basée sur l'insertion d'une plaque absorbante avec des ailettes attachées par des chicane et en divisant la veine d'air dynamique en deux parties, avec un recyclage externe à l'extrémité (figure II. 36). Cette technique a été conçue dans le but de la création d'une circulation simultanée de l'air sur et sous la plaque absorbante qui permet l'amélioration du rendement thermique. Ils ont comparé les résultats expérimentaux et théoriques avec un capteur solaire simple passe sans recyclage. Une amélioration considérable du transfert de chaleur est obtenue avec l'addition des ailettes et des chicanes. Cette étude suggère de bonnes conditions de fonctionnement pour le projet de chauffage solaire à air avec recyclage pour améliorer le rendement thermique des collecteurs avec une augmentation raisonnable de l'énergie hydraulique dissipée.

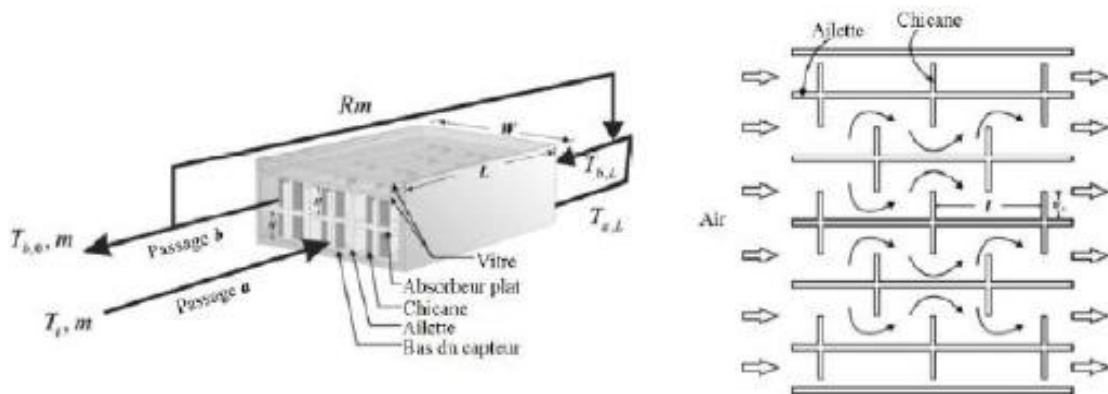


Figure II. 36 : Vue de face et de haut d'un collecteur à air à double passe avec recyclage

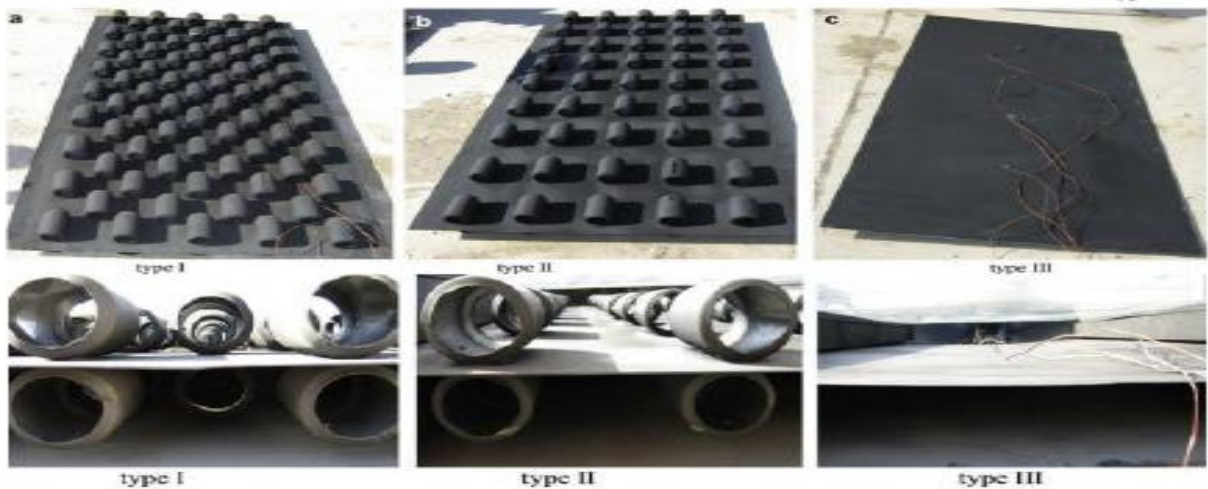


Figure II. 37 : Différents types des capteurs testés par Ozgen et al.

Ozgen et al (2009). [36] Ont mené une étude expérimentale sur la performance thermique d'un panneau solaire à air à double passe avec des petits canaux en aluminium attachés sur la plaque absorbante. Trois dispositions différentes ont été testées (voir figure II. 38). Ils ont constaté que le collecteur avec des petits canaux attachés a augmenté la surface d'échange de transfert de chaleur et crée la turbulence dans la veine d'air dynamique. Les auteurs ont trouvé que le meilleur rendement est obtenu avec le capteur solaire avec des petits canaux attachés sur la plaque absorbante arrangés en quinconce.

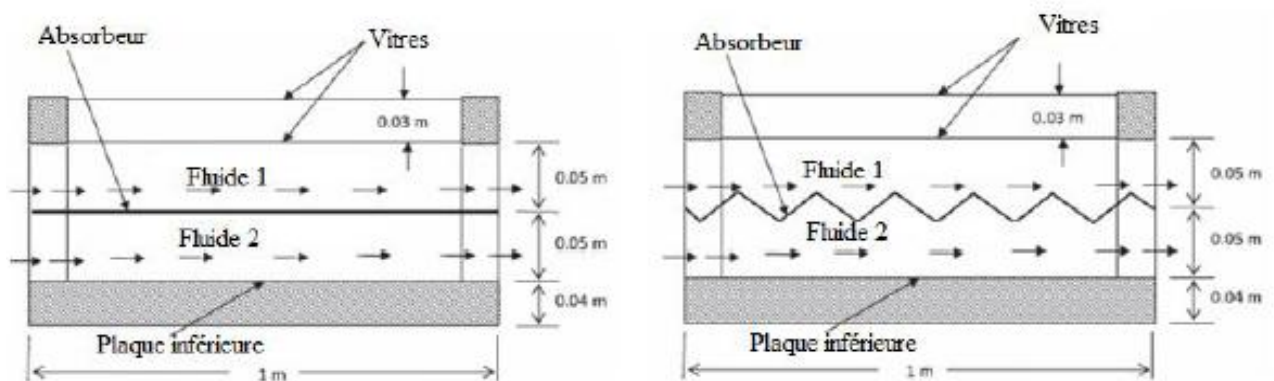


Figure II. 38 : Deux configurations plan et v-ondulé testées par El-Sebaï et al.

Sopian et al (2009). [37] Ont étudié l'évaluation de rendement thermique des insolateurs à air à double passe avec et sans milieu poreux (figure II. 39). Un modèle théorique a été développé pour le capteur solaire à double passe. Une organisation expérimentale a été étudiée. Les milieux poreux ont été arrangés avec différentes porosités pour augmenter le transfert de chaleur. Ils ont étudiés les effets du débit massique et de rayonnement solaire sur le rendement thermique du collecteur à double passe. Ils ont trouvé que l'addition des milieux poreux dans le deuxième canal de capteur solaire à air à double passe augmente la performance thermique du capteur solaire et augmente la surface d'échange thermique. Le rendement thermique du collecteur solaire à double passe avec milieux poreux est atteint à 60-70%.

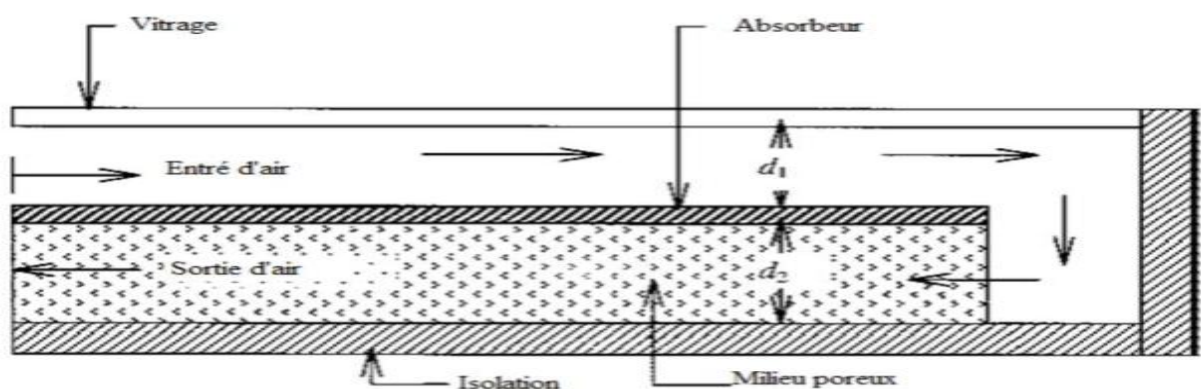


Figure II. 39 : Le schéma d'un capteur solaire thermique à double passe avec des milieux poreux dans le deuxième canal

El-Sebaï et al (2011). [38] ont réalisé une étude comparative théorique et expérimentale sur la performance thermique de deux capteurs solaires à air, plan et v-ondulé, à double vitrage et à double passage d'air. Les résultats de l'étude montrent que la température de sortie, le rendement thermique et le rendement thermo-hydraulique du capteur v-ondulé sont respectivement plus élevés de 5%, 11-14% et 14% par rapport à ceux du capteur plan. Le rendement thermique des deux configurations augmente avec l'augmentation de débit massique jusqu'à 0.05 kg/s au-delà duquel l'augmentation du rendement thermique est peu importante.

AHMAD FUDHOLI et al. [39] ont fait une étude expérimentale sur l'efficacité thermique d'un capteur solaire à air à double passe avec des ailettes placées dans le second canal. L'expérience a été menée par le changement des paramètres qu'ils ont une influence sur l'efficacité thermique du capteur solaire. L'efficacité thermique a été examinée par le changement du débit massique et de rayonnement solaire.

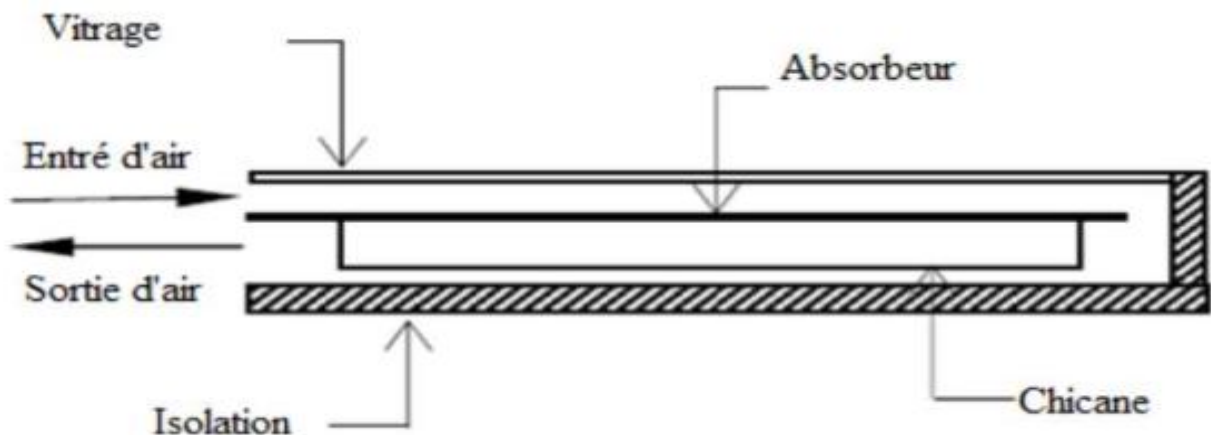


Figure II. 40 : Capteur solaire à air à double passe avec des ailettes placées dans le deuxième canal

ils trouvaient pour trois valeurs du rayonnement solaire $I=123\text{w/m}^2$, $I=772\text{w/m}^2$ et $I=788\text{w/m}^2$, l'efficacité du capteur augmente en fonction du débit massique comme la montre la (figure. II. 41), et cette dernière décroît linéairement lorsque le rapport $(T_0 - T_a)/I$ augmente (figure. II. 42), ils concluaient aussi que le rendement du capteur est fortement dépendant du débit massique, par contre le capteur solaire à double passage avec des ailettes échelonnées en lignes a une efficacité de plus de 75% pour un débit massique de plus de 0.08 kg/s.

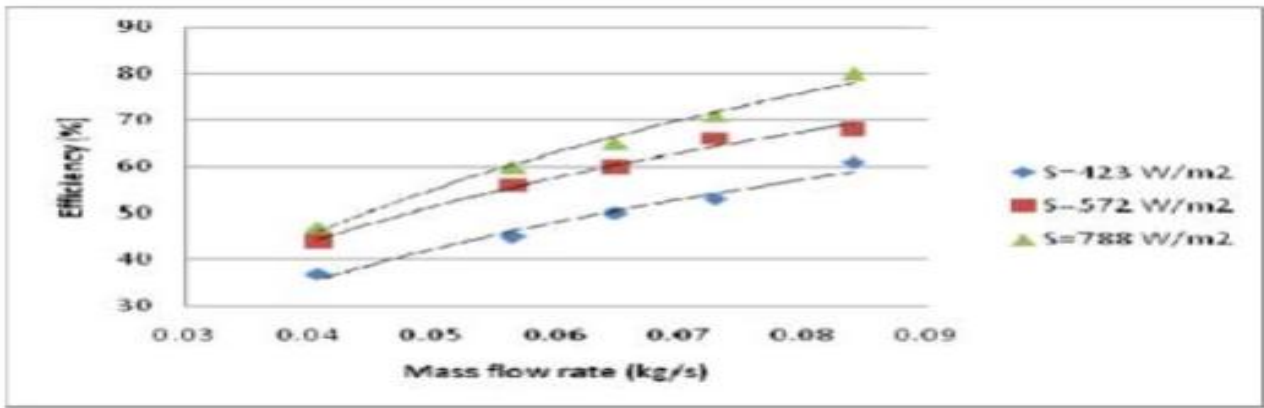


Figure II. 41 : Effet du rayonnement solaire sur le débit massique et l'efficacité

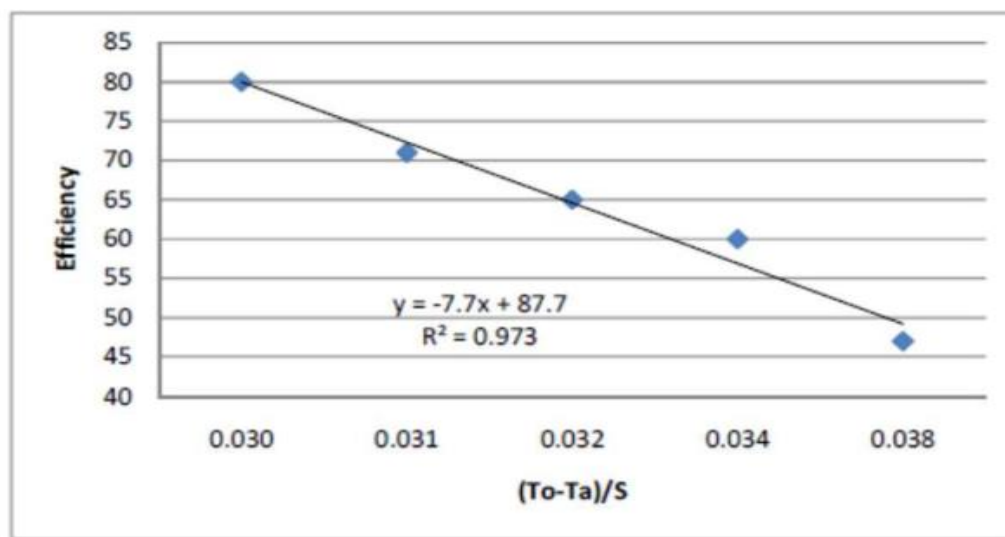
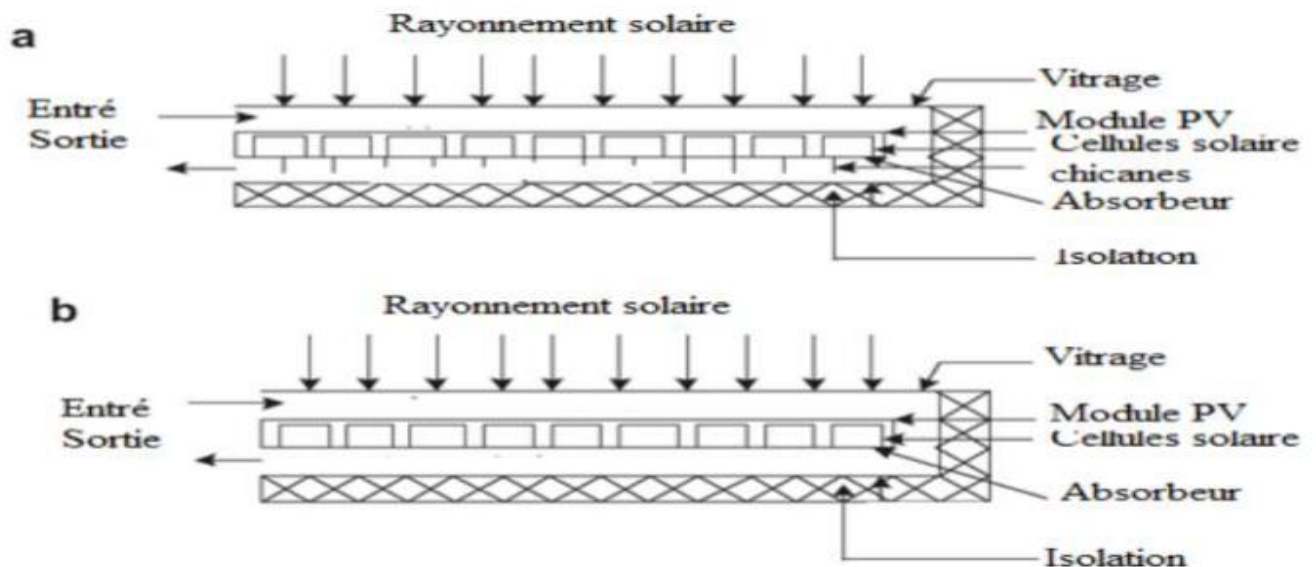


Figure II. 42 : Variation du rendement thermique en fonction du rapport $(T_o - T_a)/S$

RAKESH KUMAR et MARC A. ROSEN (2011).[40] ont étudié la performance d'un capteur solaire PV/T à air à double passe avec et sans ailettes placées dans le canal inférieur. Les ailettes sont arrangées perpendiculairement à la direction de l'écoulement de l'air pour agrandir l'efficacité et le taux du transfert thermique. Les effets des paramètres de fonctionnement et les paramètres climatique sont évalués sur la température de sortie de l'air, la température de



l'efficacité thermique, et l'efficacité électrique. Les effets de la présence des ailettes dans le canal inférieur, les profondeurs des canaux, le débit massique et la température de l'entrée de l'air sont évalués sur l'efficacité thermique et électrique.

Figure II. 43: Capteur solaire à double passe : (a) avec ailettes, (b) sans ailettes

Ils ont conclu que la présence des ailettes dans le canal inférieur augmente la surface de transfert de chaleur et améliore l'efficacité thermique et électrique. L'efficacité thermique augmente proportionnellement avec l'augmentation de l'irradiation solaire et la température de l'entrée de l'air. L'efficacité électrique est affectée par la température de cellule qui dépend de l'irradiation solaire, la température de l'entrée de l'air et le débit massique. La profondeur des deux canaux du capteur solaire joue un rôle très important dans la transmission de la chaleur.

PRASHANT KUMAR (2012). [41] a étudié l'effet du débit massique sur la performance thermique du capteur solaire à air à double passage. L'effet du débit massique total dans les conduites du capteur solaire a été montré pour être un paramètre dominant sur la détermination de l'efficacité thermique effective du capteur solaire. Il a trouvé que la performance thermique dans le système à contre courant est plus élevée que celle dans le système à Co-courant. La comparaison entre les deux systèmes montre que l'efficacité thermique augmente avec l'augmentation du débit massique de l'air.

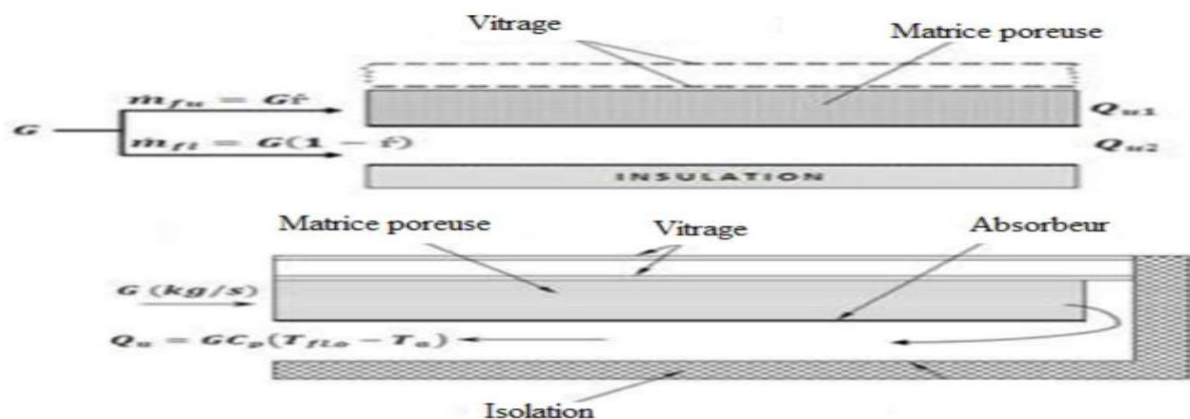


Figure II. 44 : Diagramme schématique du capteur solaire à double passe représentant le débit massique différentiel

CHIL-DONG HO et al (2012). [42] Ont fait des études expérimentales et théoriques sur la performance d'un capteur solaire à air à double passe avec des ailettes et déflecteurs. Les résultats expérimentaux s'écartent de 1,5 à 23% des prédictions théoriques. La comparaison entre la performance du capteur solaire avec différents modèles a été effectuée. Pour renforcer le coefficient de transfert de chaleur par convection et augmenter la zone de transfert de chaleur, il faut utiliser le dispositif à double passage. Les résultats théoriques et expérimentaux montrent que

le rendement du modèle du capteur solaire à double passage avec recyclage est beaucoup plus élevé que les autres modèles. L'utilisation des ailettes améliore l'efficacité thermique du capteur solaire.

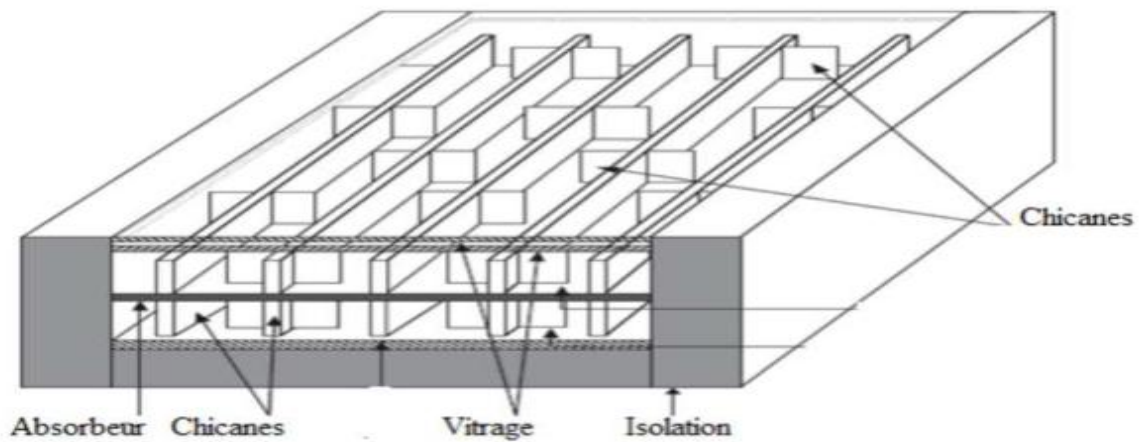


Figure II. 45 : schéma d'un capteur solaire à air à double passe avec des ailettes plus confuses

S.S. KRISHNANANTH et al (2012). [43] Ont fait une étude expérimentale sur un capteur solaire à air à double passe avec intégration d'un système de stockage d'énergie thermique, ils ont utilisé la cire de paraffine comme un milieu de stockage thermique, le capteur solaire qui a été intégré avec un système de stockage thermique a une grande efficacité que le capteur solaire sans système de stockage thermique. Ils ont fait une comparaison entre trois positions d'emplacement du matériel du stockage thermique. Ils ont conclu que la présence du milieu de stockage thermique dans la plaque absorbante est la meilleure configuration.

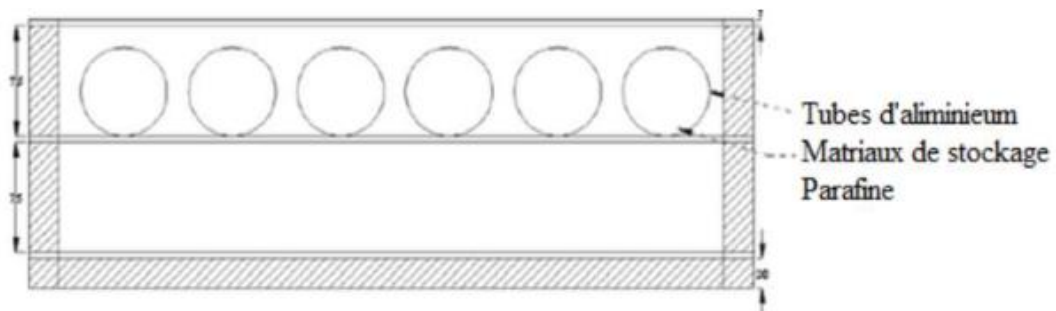


Figure II. 46 : Les capsules au-dessus de la plaque absorbante

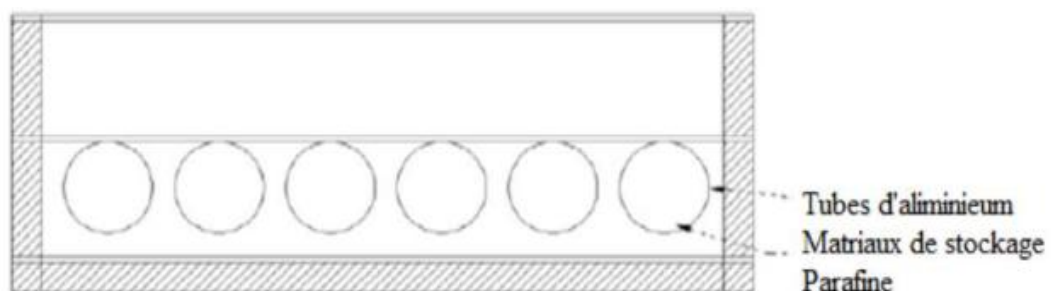


Figure II. 47 : Les capsules au-dessous de la plaque absorbante

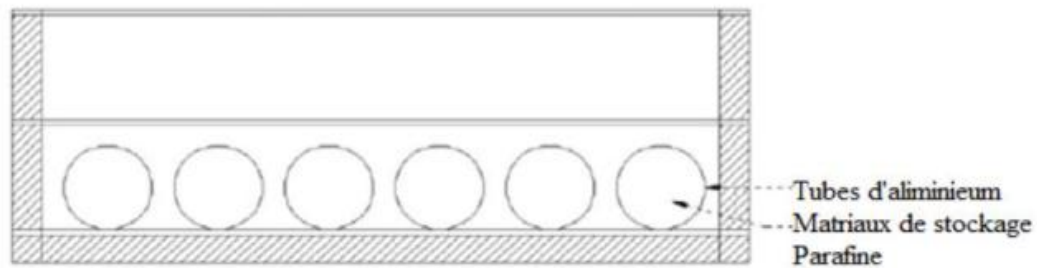


Figure II. 48 : Les capsules au-dessus de l'isolant

A partir de résultats expérimentaux obtenus, ils ont trouvé que le capteur solaire avec lacire de paraffine est libère une température d'air très élève dans toute la journée, et quel'efficacité est plus élève pendant les heures du soir. Le capteur solaire à doubles passe avec des capsules places au-dessus de la plaque absorbant est le plus efficace.

II.4.Conclusion

A travers cette recherche bibliographique, on a remarqué que les précédents chercheurs ont réalisé beaucoup de recherches et d'études concernant les capteurs solaires à air, ils ont trouvés beaucoup de résultats qui permettent d'améliorer l'efficacité thermique et d'exploiter le maximum possible de la production énergétique de ces capteurs à partir del'amélioration des différents paramètres ayant une influence sur l'efficacité thermique.



Chapitre III

*Méthodes Numériques
et Présentation du code fluent*

Chapitre III

Méthodes Numériques et Présentation du code Fluent

III.1. Introduction

Dans ce travail nous allons faire une simulation numérique d'un l'écoulement d'air incompressible en 2D dans un capteur solaire plan. A cet effet nous avons utilisé les équations de Navier-Stokes, conservation de la masse et de la quantité de l'énergie.

Les travaux pratiques proposés ont pour objet de présenter les logiciels le meilleur GAMBIT et solveur FLUENT, de faire des "expériences numérique" sur la simulation des écoulements et d'analyser les résultats. Le logiciel Fluent est basé sur la méthode des volumes finis, qui permet la résolution des équations qui régissent les écoulements .Fluent est associé à Gambit, à l'aide duquel on va définir la géométrie, le maillage, et les conditions aux limites.

III.2. Méthodes numériques

III.2.1. Méthodes principales de discrétisation

Le passage d'un problème aux dérivées partielles continu à un problème discret s'appuie sur les méthodes classiques d'analyse numérique. On distingue trois grandes méthodes pour formuler un problème continu sous forme discrète, la méthode des différences finies, des éléments finis et des volumes finis. La méthode utilisée par le code "FLUENT" est celle des volumes finis.

III.2.1.1. Différences finie

Le domaine de calcul est discrétisé en un nombre fini de points sur lesquels on approche les opérateurs de dérivation des équations modèles par des développements en séries de Taylor tronquées à l'ordre de précision choisie.

III.2.1.2. Éléments finis

Le principe fondamental de la méthode des éléments finis réside dans le découpage du domaine d'étude en domaines élémentaires de dimension finie. Sur chacun de ces domaines, appelés éléments finis, la fonction inconnue est approchée par un polynôme dont le degré peut varier d'une application à l'autre mais reste en général faible. Ces éléments, triangles ou quadrilatères, rectilignes ou curvilignes, doivent réaliser une partition du domaine d'étude (ils sont disjoints et leur union recouvre le domaine tout entier). Cette partition qui est généralement appelée découpage ou discrétisation du domaine doit respecter un certain nombre de règles qui permettent d'assurer un bon déroulement du calcul.

III.2.1.3. Volumes finis

La méthode a été décrite pour la première fois en 1971 par **Patankar** et **Spalding** et publiée en 1980 par **Patankar** (Numerical Heat Transfer and Fluid Flow).

La méthode des volumes finis est une technique de discrétisation qui convertit les équations de conservation aux dérivées partielles en équations algébriques qui peuvent être résolues numériquement. La technique des volumes de contrôle consiste dans l'intégration des équations aux dérivées partielles sur chaque volume de contrôle pour obtenir les équations discrétisées qui conservent toutes les grandeurs physiques sur un volume de contrôle (VC).

Les différentes étapes de la méthode des volumes finis sont :

- La discrétisation du domaine considéré en volume de contrôle.
- L'intégration des équations différentielles aux dérivées partielles.
- Écriture des équations algébriques aux nœuds du maillage.
- Résolution du système algébrique linéaire obtenu.

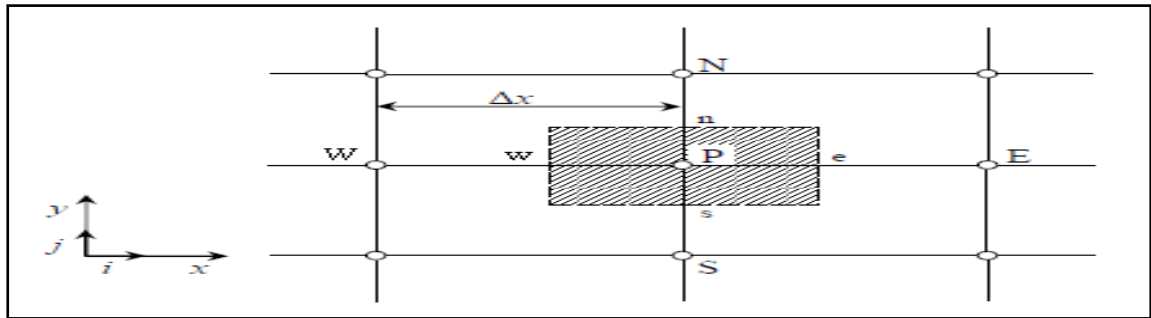


Figure III.1: Volume de contrôle bidimensionnel

Le volume de contrôle est montré par la Figure III.1, Pour un nœud principal P, les points E et W (Est et Ouest) sont des voisins dans la direction x, tandis que N et S (Nord et Sud) sont ceux dans la direction y. Le volume de contrôle entourant P est montré par les lignes discontinues. Les faces du volume de contrôle sont localisées aux point(e) et w dans la direction x, n et s dans la direction y. [44]

Le principe de discrétisation peut être illustré en considérant l'équation de transport pour une grandeur scalaire ϕ :

$$\underbrace{\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi)} + \underbrace{\sum_{j=1} \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \phi)} = \sum_{j=1} \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\underbrace{\Gamma \phi \frac{\partial \phi}{\partial x_j}} \right) + \underbrace{S_\phi} \quad (\text{III.1})$$

Avec :

T: Terme transitoire ;

C: Terme convectif;

D: Terme de diffusion ;

S: Terme source.

Nous venons de voir que, pour chaque variable ϕ , l'équation de transport s'écrit dans le cas stationnaire bidimensionnel [44]:

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u \phi) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v \phi) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) + S_\phi \quad (\text{III.2})$$

Où ϕ est la propriété transportée, Γ indique le coefficient de diffusion et S_ϕ le terme source.

La discrétisation doit se faire au nœud P, ce qui donnera [33]:

$$\text{div}(\Gamma \text{grad} \phi) + S_\phi = 0 \quad (\text{III.3})$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) + S_\phi = 0 \quad (\text{III.4})$$

$$\int_{\Delta V} \frac{\partial}{\partial x} \left(\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) dV + \int_{\Delta V} \frac{\partial}{\partial y} \left(\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) dV + \int_{\Delta V} S dV = 0 \quad (\text{III.5})$$

$$\int_w^e \frac{\partial}{\partial x} \left(\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) dx dy + \int_s^n \frac{\partial}{\partial y} \left(\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) dx dy + \bar{S}_\phi \Delta x \Delta y = 0 \quad (\text{III.6})$$

$$\int_w^e \frac{\partial}{\partial x} \left(\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) dx dy + \int_s^n \frac{\partial}{\partial y} \left(\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) dx dy + \bar{S}_\phi \Delta x \Delta y = 0 \quad (\text{III.7})$$

$$\int_w^e \frac{\partial}{\partial x} \left(\Gamma A_y \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) dx + \int_s^n \frac{\partial}{\partial y} \left(\Gamma A_x \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) dy + \bar{S}_\phi \Delta x \Delta y = 0 \quad (\text{III.8})$$

$$\left[\Gamma_e A_e \left(\frac{\partial \phi}{\partial x} \right)_e - \Gamma_w A_w \left(\frac{\partial \phi}{\partial x} \right)_w \right] + \left[\Gamma_n A_n \left(\frac{\partial \phi}{\partial y} \right)_n - \Gamma_s A_s \left(\frac{\partial \phi}{\partial y} \right)_s \right] + \bar{S}_\phi \Delta x \Delta y = 0 \quad (\text{III.9})$$

Les quantités à e, w, n et s des faces de contrôle sont évaluées en fonction des valeurs des nœuds au milieu des volumes de contrôle. Donc il faut considérer une variation linéaire des variables d'un nœud à un autre pour assurer la continuité du phénomène physique ce qui est plus réaliste. C'est une approximation linéaire. [45]

Pour une grille uniforme on aura :

$$\begin{aligned}\Gamma_w &= \frac{\Gamma_w + \Gamma_p}{2}, & \Gamma_n &= \frac{\Gamma_n + \Gamma_p}{2} \\ \Gamma_e &= \frac{\Gamma_p + \Gamma_E}{2}, & \Gamma_s &= \frac{\Gamma_p + \Gamma_S}{2}\end{aligned}\quad (\text{III.10})$$

Ce qui donnera par le flux de diffusion :

$$\begin{aligned}\Gamma_e A_e \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)_e &= \Gamma_e A_e \left(\frac{\varphi_E - \varphi_P}{\delta x_{PE}} \right), & \Gamma_n A_n \left(\frac{\partial \varphi}{\partial y} \right)_n &= \Gamma_n A_n \left(\frac{\varphi_N - \varphi_P}{\delta y_{PN}} \right) \\ \Gamma_w A_w \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)_w &= \Gamma_w A_w \left(\frac{\varphi_P - \varphi_W}{\delta x_{WP}} \right), & \Gamma_s A_s \left(\frac{\partial \varphi}{\partial y} \right)_s &= \Gamma_s A_s \left(\frac{\varphi_P - \varphi_S}{\delta x_{SP}} \right)\end{aligned}\quad (\text{III.11})$$

En remplaçant les termes, on obtient :

$$\begin{aligned}\Gamma_e A_e \left(\frac{\varphi_E - \varphi_P}{\delta x_{PE}} \right) - \Gamma_w A_w \left(\frac{\varphi_P - \varphi_W}{\delta x_{WP}} \right) + \Gamma_n A_n \left(\frac{\varphi_N - \varphi_P}{\delta y_{PN}} \right) \\ - \Gamma_s A_s \left(\frac{\varphi_P - \varphi_S}{\delta x_{SP}} \right) + \bar{S}_\varphi \Delta x \Delta y = 0\end{aligned}\quad (\text{III.12})$$

\bar{S}_φ est la valeur moyenne du terme source sur le volume de contrôle, Quand le terme source dépend de la variable dépendante. Cette dépendance doit être exprimée par une relation linéaire, ceci permettra d'utiliser les méthodes de résolution des systèmes linéaires.

La linéarisation est l'évolution de la valeur moyenne \bar{S}_φ qui peut être fonction de la variable dépendante, leur valeur est donc calculée à chaque itération à partir des nouvelles des variables dépendantes. [44]

Le terme source sera linéarisé de façon à forcer la convergence, de sorte que :

$$\bar{S} \Delta V = S_u + S_p \varphi_P \quad (\text{III.13})$$

Où S_u est la partie constante qui ne dépend pas explicitement de S_p , S_p est la pente de ϕ_p .

Il est nécessaire que le coefficient S_p soit inférieur à zéro pour que la solution soit numériquement stable et que la convergence soit plus rapide. [44]

En arrangeant les termes on obtient :

$$\begin{aligned} \left(\frac{\Gamma_w A_w}{\delta x_{WP}} + \frac{\Gamma_e A_e}{\delta x_{PE}} + \frac{\Gamma_s A_s}{\delta y_{SP}} + \frac{\Gamma_n A_n}{\delta y_{PN}} \right) \phi_P = \left(\frac{\Gamma_w A_w}{\delta x_{WP}} \right) \phi_W + \\ \left(\frac{\Gamma_e A_e}{\delta x_{PE}} \right) \phi_E + \left(\frac{\Gamma_s A_s}{\delta y_{SP}} \right) \phi_S + \left(\frac{\Gamma_n A_n}{\delta y_{PN}} \right) \phi_N + S_u \end{aligned} \quad (\text{III.14})$$

Cette équation est sous la forme :

$$\begin{aligned} a_P \phi_P = a_W \phi_W + a_E \phi_E + a_S \phi_S + a_N \phi_N + S_u \\ a_P = a_W + a_E + a_S + a_N - S_P \end{aligned} \quad (\text{III.15})$$

Avec :

$$\begin{aligned} A_W = \frac{\Gamma_w A_w}{\delta x_{WP}}, \quad A_E = \frac{\Gamma_e A_e}{\delta x_{PE}}, \\ A_S = \frac{\Gamma_s A_s}{\delta y_{SP}}, \quad A_N = \frac{\Gamma_n A_n}{\delta y_{PN}} \end{aligned}$$

L'équation est appliquée pour chaque nœud du domaine de calcul. Pour le domaine adjacent au domaine limite, l'équation est modifiée pour incorporer les conditions aux limites.

Le système d'équations algébriques linéaire résultant est résolu pour obtenir la distribution de la propriété ϕ à tous les points. [45].

III.2.2. Les différentes étapes de la mise en œuvre

- Le domaine de calcul est discrétisé en un nombre fini de points (les nœuds du maillage), autour desquels on définit des volumes élémentaires (appelés volumes de contrôle) contigus, non juxtaposés et sans discontinuités aux interfaces ;
- Les équations modèles, sous forme conservative, sont intégrées sur chaque volume de contrôle (VC) ;
- Les intégrales sur un volume de contrôle en un nœud donné sont évaluées en approchant la variation par des profils ou des lois d'interpolation entre les nœuds voisins du point considéré ;
- Écriture des équations algébriques en fonction des valeurs aux nœuds du maillage ;
- Résolution du système algébrique linéaire obtenu. [45].

III.2.3. Principes des codes CFD

Les logiciels de simulation numérique des écoulements basés sur la méthode des volumes finis peuvent maintenant être considérés comme de véritables « expériences numériques », lorsqu'elles sont faites avec soin. L'avantage des « méthodes numériques » est que toutes les quantités physiques liées à l'écoulement (champ de vitesse, champ de pression, contraintes etc.), sont immédiatement disponibles en tout point de l'écoulement.

Dans une expérimentation, l'obtention de ces quantités physiques en tout point du champ est souvent impossible ou très difficile en pratique. Les méthodes CFD (Computational Fluid Dynamics) ont l'avantage de mettre en œuvre les équations générales de la mécanique des fluides avec un minimum des hypothèses. Elles résolvent notamment les équations non-linéaires instationnaire et compressibles. La discrétisation des équations de Navier-Stokes et de conservation de la masse est faite sur des éléments quadrilatéraux ou triangulaires, réguliers ou non selon la complexité de la géométrie.

Le premier travail à accomplir dans la réalisation d'une simulation numérique est la définition d'un maillage adapté à la nature de l'écoulement. En particulier, le maillage doit être fin dans les zones où l'on atteint des gradients physiques très importants.

Les équations régissant l'écoulement sont résumées dans le tableau qui suit:

Conservation de la masse	$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \cdot \vec{V})$
Quantité de mouvement (Navier-stokes)	$\frac{D}{Dt}(\rho \cdot \vec{V}) = \rho \vec{F} - \overrightarrow{\text{grad}}(p) + \eta \Delta \vec{V} + \frac{1}{3} \eta \overrightarrow{\text{grad}} \left[\text{div}(\vec{V}) \right]$
Energies	$\frac{D}{Dt}(\rho c_p T) = \Delta(KT) + q + \beta T \frac{Dp}{Dt} + \eta \Phi$

Tableau III.1 : Récapitulatif des équations régissant l'écoulement

Avant d'entamer la résolution de ces équations, nous devons identifier le régime de l'écoulement laminaire ou turbulent dépendant à la valeur du nombre de Reynolds. [45]

Remarque : Dans ce travail nous avons trouvé que le Nombre de Reynolds est **Re=3361.344** (écoulement turbulent).

III.2.4. Modèles de fermeture

Sont des équations qui viennent compléter les équations bilans. Dans notre cas, il s'agit de fermer le modèle global en modélisant le terme de viscosité turbulente et le terme de tensions de Reynolds.

"FLUENT" fournit les choix suivants des modèles de la turbulence :

- Spalart-Allmaras model.
- $k - \varepsilon$ models.
- Standard $k - \varepsilon$ model.
- Renormalization-groupe (RNG) $k - \varepsilon$ model.
- Realizable $k - \varepsilon$ model.
- $k - \omega$ models.
- Standard $k - \varepsilon$ model.
- Shear-stress transport (SST) $k - \varepsilon$ model.
- $\nu^2 - f$ model.
- Reynolds stress model (RSM).
- Detachededdy simulation (DES) model.

Large eddy simulation (*LES*) model [46].

Parmi ces modèle on trouve ($k - \varepsilon$) stand que nous allons l'utiliser dans notre simulation.

III.2.4.1. Modèle ($k - \varepsilon$)

C'est un modèle à deux équations de transport pour deux paramètres de turbulence.

En utilisant l'analogie entre l'échange de quantité de mouvement par interaction moléculaire à l'échelle microscopique (contraintes visqueuses) et l'échange de quantité de mouvement par la turbulence à l'échelle macroscopique (contraintes de Reynolds).

L'idée du modèle $k - \varepsilon$ c'est qu'on peut la construire à partir de ces quantités une « viscosité turbulente propre à l'écoulement », où la viscosité turbulente est donnée par la relation suivante :

$$V_t = C_\mu \left(\frac{k^2}{\varepsilon} \right) \quad (\text{III.16})$$

Avec :

$$\mu_t = \nu_t \rho$$

viscosité dynamique turbulente L'expérience montre que cette relation est bien vérifiée pour des écoulements à grand nombre de Reynolds à condition d'avoir une turbulence homogène.

C_μ : Coefficient sans dimension qui doit être évalué expérimentalement.

k : L'énergie cinétique de turbulence défini par :

$$k = \frac{1}{2} \overline{u_t^2} = \frac{1}{2} \left(\overline{u_1^2} + \overline{u_2^2} + \overline{u_3^2} \right) \quad (\text{III.17})$$

ε : Le taux de dissipation de l'énergie cinétique turbulence donné par :

$$\varepsilon = \nu \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right]^2 \quad (\text{III.18})$$

Ce terme de dissipation qui apparaît dans l'équation de l'énergie cinétique turbulente reste à déterminer. L'échelle typique de longueur des grosses structures de la turbulence l'est déduite de :

$$\varepsilon = k^{3/2} / l \quad (\text{III.19})$$

III.2.4.1.1. Modélisation de l'équation de k

L'équation modélisée de l'énergie cinétique turbulente s'écrit sous la forme semi-empirique suivante :

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \overline{U_j} \frac{\partial k}{\partial x_j} = V_t \left(\frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{u_j}}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{V}{\sigma_{k,l}} + \frac{V_t}{\sigma_{k,t}} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] - \varepsilon \quad (\text{III.20})$$

←
←
←
←
←

(1)
(2)
(3)
(4)

Les termes de l'équation (III.20) sont dénommés comme suit :

- (1) représente le taux de variation de l'énergie cinétique turbulente.
- (2) représente le transport par diffusion de l'énergie cinétique
- (3) représente la production par cisaillement de l'énergie cinétique turbulente
- (4) représente la dissipation de l'énergie cinétique turbulente.

III.2.4.1.2. Modélisation de l'équation de ε

La forme modélisée de l'équation de transport du taux de dissipation de l'énergie cinétique s'exprime

$$\frac{\partial}{\partial x_j} + \overline{u_j} \frac{\partial}{\partial x_j} \varepsilon = C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{K} V_t \left(\frac{\partial \overline{u_l}}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{u_l}}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{u_l}}{\partial x_j} \right) \frac{\partial \overline{u_l}}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{V}{\sigma_{\varepsilon l}} + \frac{V_t}{\sigma_{\varepsilon t}} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] - C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{K} \quad (\text{III.21})$$

←
←
←
←

(1)
(2)
(3)
(4)

Les termes (1, 2, 3 et 4) de l'équation (III. 21) sont :

- (1) représente le taux de variation des.
- (2) représente le taux de production (source) des.
- (3) représente le transport par diffusion de la dissipation de l'énergie turbulente.
- (4) représente la dissipation (puits) de S.

III.2.4.1.3. Constantes standards de modèle ($k-\varepsilon$)

Pour rendre le système d'équations opérationnel on adopte les constantes standards du modèle donné par **Lauder** et **Spalding** (1974). Elles sont réunies dans le tableau suivant :

C_μ	$C_{\varepsilon 1}$	$C_{\varepsilon 2}$	δ_K	δ_ε
0.09	1.44	1.92	1.0	1.0

Tableau III 2: Coefficients du modèle K- S standard

III.3. PRESENTATION DES LOGICIELS DE CALCUL

Gambit et Fluent sont des logiciels, sous licence commerciale, permettant de réaliser des Simulations 2D ou 3D en mécanique des fluides allant de la construction du maillage avec Gambit à la résolution des équations de Navier Stokes et au post-traitement avec Fluent. Largement répandus dans l'industrie, en raison de leur interface graphique puissante et de l'abondance de leurs options, ils permettent de réaliser des simulations sur tous types de géométries complexes (fixes ou mobiles) associées à des maillages fixes ou adaptatifs et avec des modèles physiques variés (diphasique, turbulent, etc....).

III.3.1. Mailleur Gambit

C'est un pré processeur intégré pour l'analyse en CFD, il est utilisé pour construire une géométrie et générer son maillage, il peut réaliser des maillages complexe en deux ou trois dimensions avec des maillages rectangle ou triangle.

Les options de génération de maillage de Gambit proposent une flexibilité de choix. On peut décomposer la géométrie en plusieurs parties pour générer un maillage structuré, sinon Gambit génère automatiquement un maillage non structuré adapté au type de géométrie construite. Les défauts sont détectés à l'aide de son interface comportant plusieurs fenêtres d'outils de création, génération, vérification du maillage du modèle étudié et l'incorporation des conditions aux limites.

III.3.2. Le procédé de création de la géométrie par le GAMBIT et la simulation par le fluent

La façon de l'organigramme de création de la géométrie d'une pale d'aile dans notre travail, par le pré processeur Gambit, est présentée sur la (Figure III.2) :

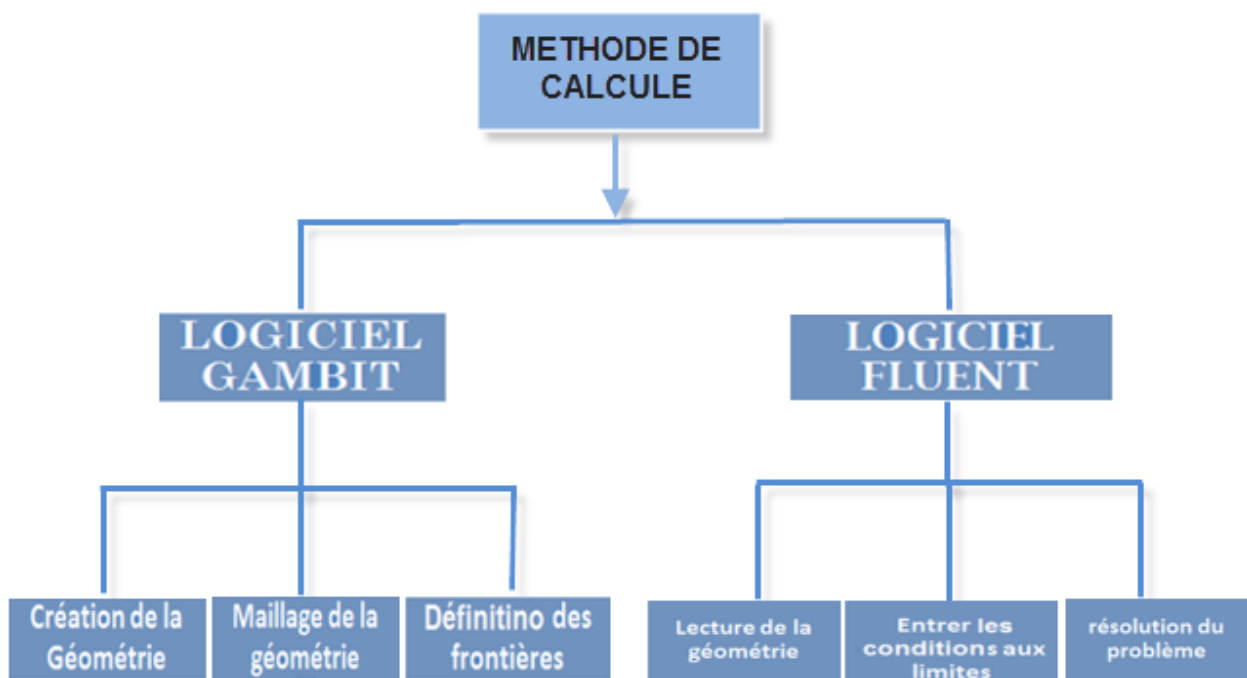


Figure III. 2 : Schémas des étapes à utiliser pour la simulation sur ces logiciels Gambit et Fluent. [44]

III.3.3. Domaine d'étude (geometric)

La géométrie que nous avons choisie est présentée dans la figure (III.3). Il s'agit d'un capteur solaire plan à air à double passe avec muni des chicanes rectangulaires simples. L'air circule d'abord dans la conduite supérieure avec un débit d'entrée et passe ensuite dans la conduite inférieure qui contient muni des chicanes rectangulaires dans le sens inverse de l'écoulement.

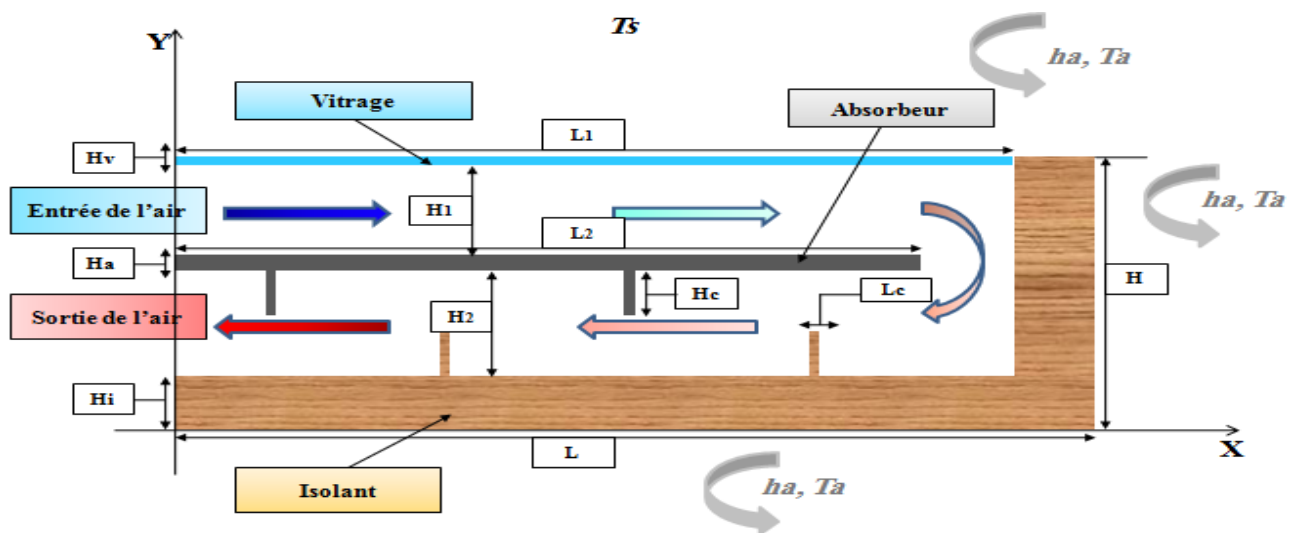


Figure III. 3 : Schéma du capteur solaire à double passe

Les dimensions géométriques du problème étudié sont basées sur les données expérimentales publiées par SOPIAN et AL.

Dimension	Symboles	Valeurs	Unités
Longueur du capteur	L	2.4	m
Hauteur de la première conduite	H1	0.06	m
Hauteur de la deuxième conduite	H2	0.06	m
Épaisseur de l'absorbeur	Ha	0.001	m
Longueur de l'absorbeur	L2	2.2	m
Épaisseur du vitrage	Hv	0.003	m
Longueur du vitrage	L1	2.35	m
Épaisseur de l'isolation	Hi	0.05	m
Hauteur des chicaneuses	Hc	0.03	m
Largeur des chicaneuses	Lc	0.005	m

Tableau III. 3: Dimensions géométriques du capteur solaire

Matériau	Chaleur massique $CP = (j / kg * k)$	Masse Volumique $\rho = (kg / m^3)$	Emistivité	Conductivité Thermique (w / mk)
Aluminium	500	2719	0.94	237
Verre	750	2500	0.90	0.0454
Cuivre	381	8978	0.30	387.6
Acier	502.48	8030	0.63	16.27
Air(27°)	1012	1.22		0.0242

Tableau III. 4: les différentes propriétés du matériau

III.3.4. Etapes de calcul

III.3.4.1. Lancement de gambit

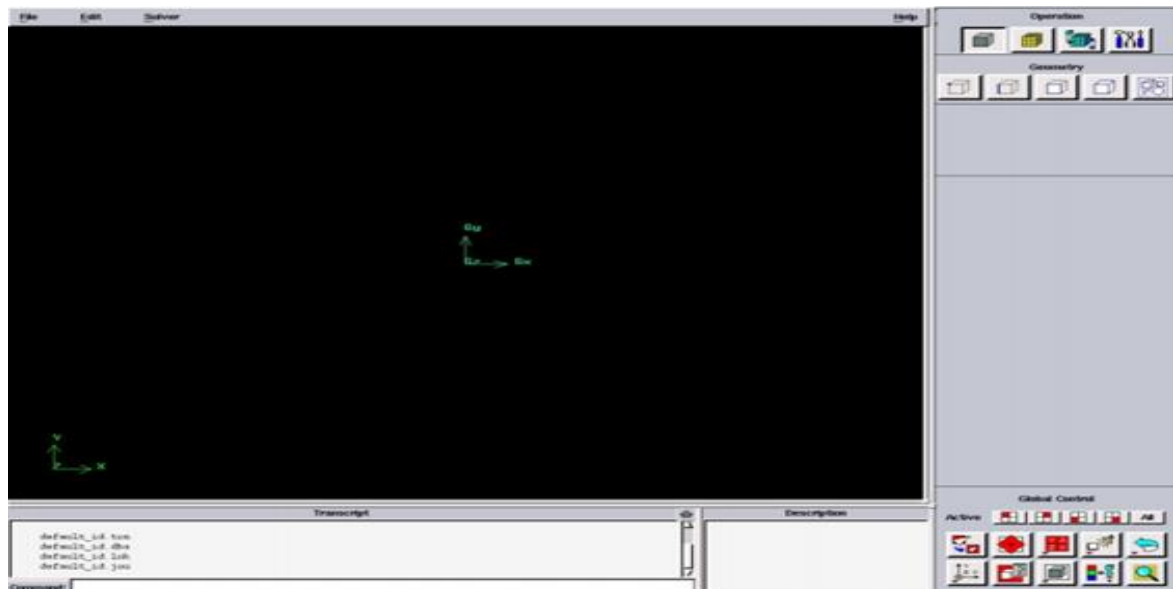


Figure III. 4 : Face de domaine du calcul On dessine la configuration Schéma du capteur solaire à double passe.

Au début, nous sélectionnons des points en plaçant ses coordonnées puis connecté pour former des lignes qui définissent le capteur solaire

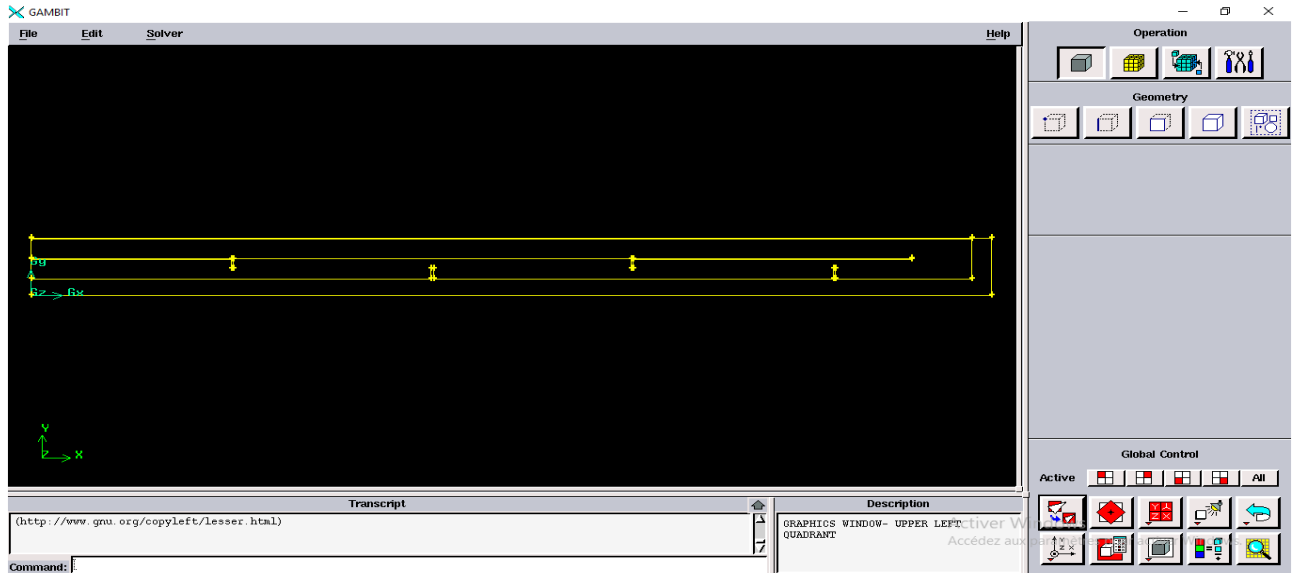


Figure III. 5 : Création du Capteur Solaire plan à double passe

III.3.4.2. Maillage de la géométrie

La génération du maillage (2D) est une phase très importante dans une analyse CFD.

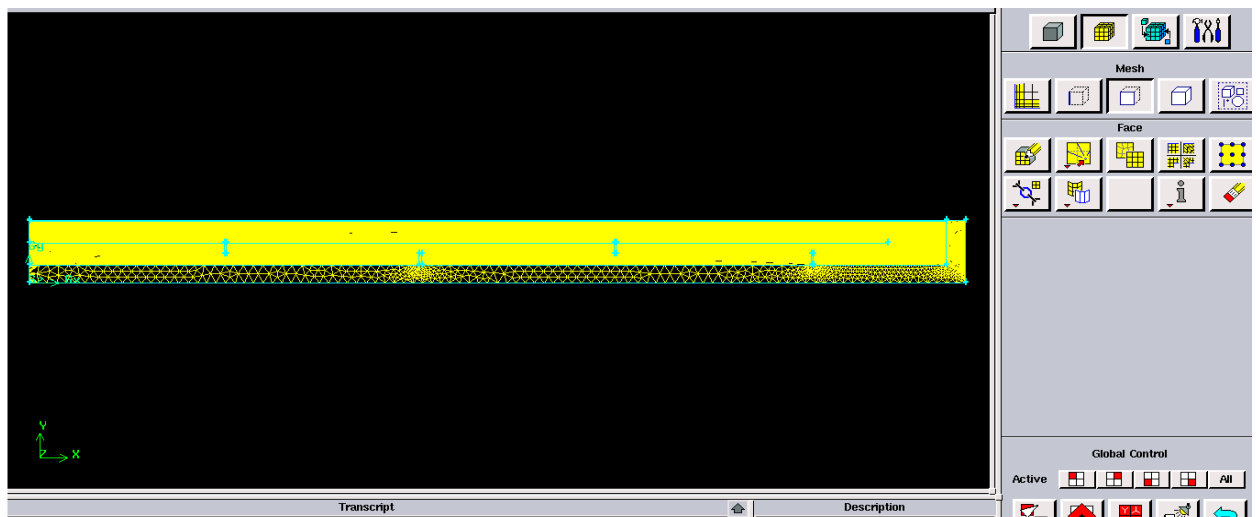


Figure III. 6: Maillage de géométrie

III.3.4.3. Conditions aux limites

Lorsqu'on termine le maillage du domaine on pose les conditions aux limites :

Ede, Face	Boudry types	Type
longueurs HJ	Enter	Velocityinlet
longueurs MF	Sortie	pressure outlet
longueurs FA	Isolation	Wall
longueurs ID	Glass	Wall
longueurs MJ	Absorbeur	Wall

Tableau III. 5 : Conditions aux limites

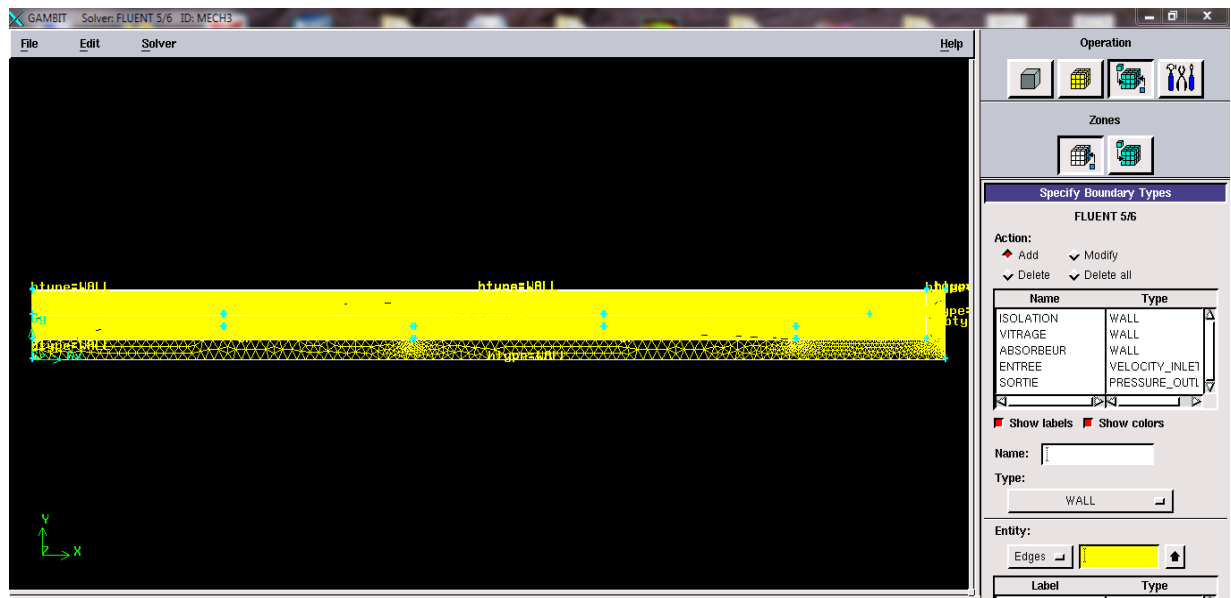


Figure III. 7: Conditions aux limites

Lorsque le maillage est terminé et les conditions aux limites sont correctement imposées, il ne reste qu'exporter ce maillage dans un format lisible par le solveur Fluent en l'occurrence. Ceci se fait par la commande (File/Export/Mesh) qui permet d'écrire un fichier de maillage avec l'extension (msh). On coche l'option « Export 2-D Mesh ».

III.3.4.4. Lancement de fluent

➤ 1^{ère} étape

On lance le solveur FLUENT, on sélectionne (2ddp), aussi bien pour une simple précision de calcul.

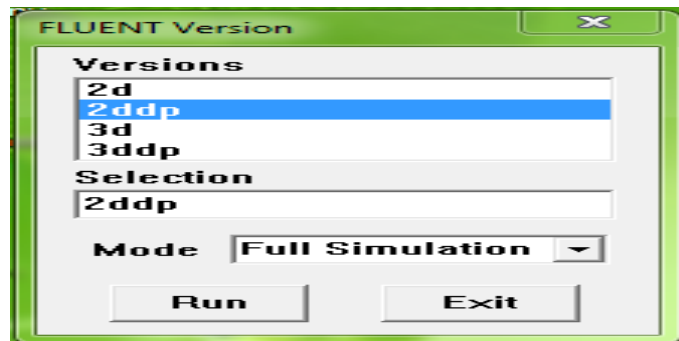


Figure III. 8: Type de résolution

➤ 2^{ème} étape (Lecture de maillage)

On sélectionne le menu File → Read → Case...

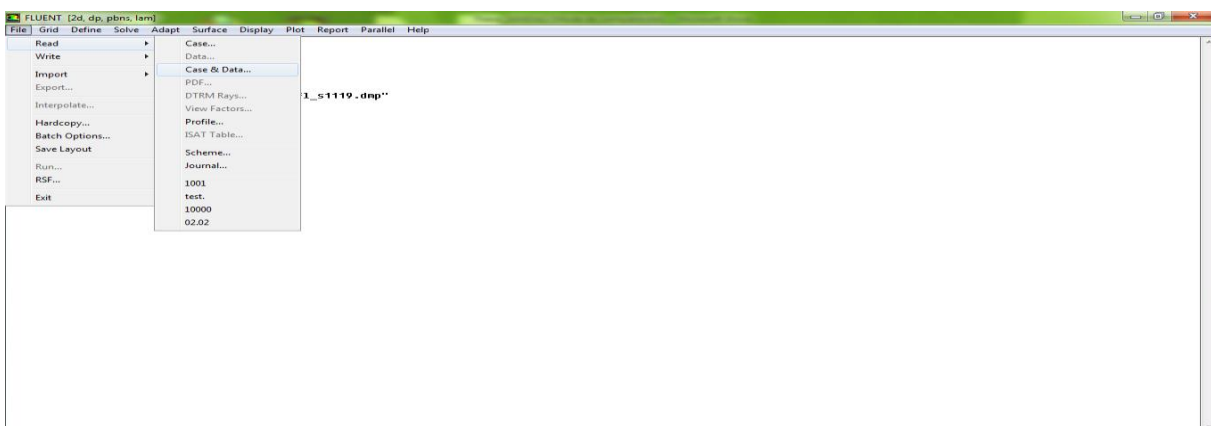


Figure III. 9: La lecture de la grille

➤ 3^{ème} étape

Pour voir le maillage, on sélectionne sur : Display → Grid.

➤ 4^{ème} étape

Pour choisir une des formules de solution, nous employons le panneau de solveur :

Define → Models → Solver.

Dans notre problème l'écoulement est stationnaire et pour cela on choisie le cas (steady) en sélection sur le bouton OK.

➤ 5^{ème} étape

Si l'écoulement est turbulence et le représenter au fluent. On sélectionne sur :

Define → Models → k-epsilon. (Figure III.11), puis en valide ok.

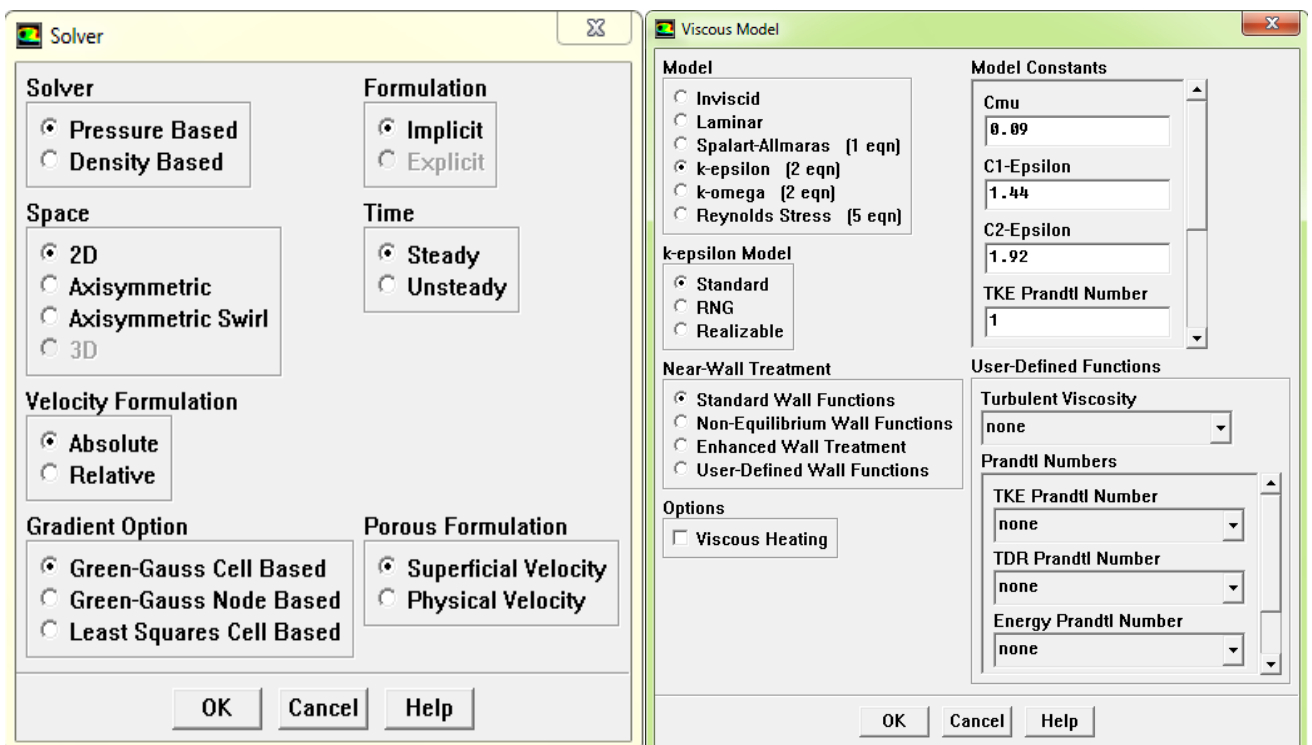


Figure III.10 : Fenêtre solveur

Figure III. 11: Fenêtre de modèle visqueux

➤ 6^{ème} étape

Pour placer les propriétés de fluide pour notre problème, (figure III.12) on sélection sur : Define → Materials.

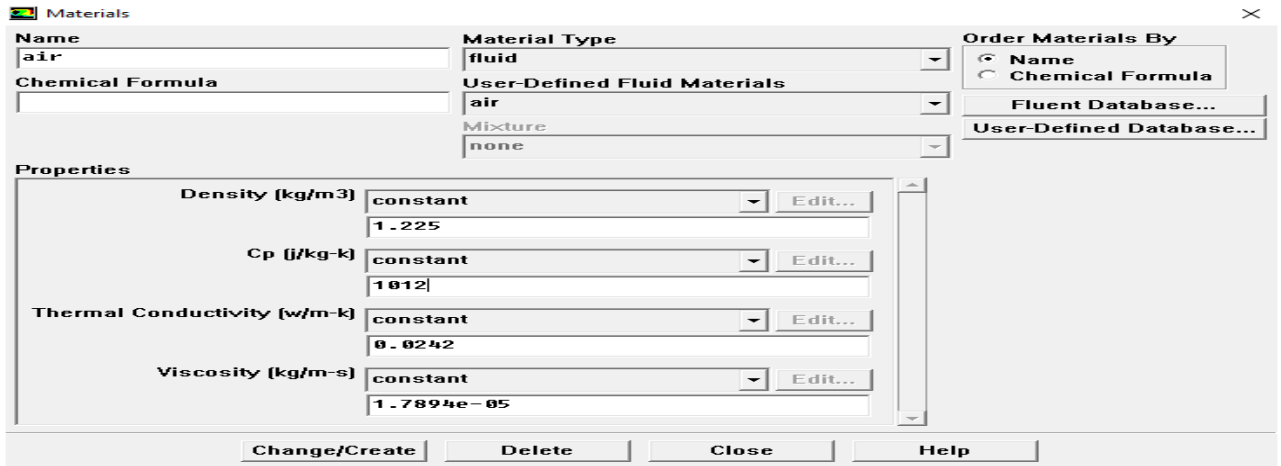


Figure III.12 : Fenêtre de Matériaux

➤ 7^{ème} étape

Pour entrer les conditions aux limites, on ouvre le panneau des conditions aux limites (Figure III.13) :

Define → Boundary conditions.

Boundary conditions	
Velocity magnitude	1 m/s
Pressure inlet	1 atm
Température inlet	300 k

Tableau III. 6: les paramètres entrant dans le solveur fluent (Permettre La Traçage Résiduelle)

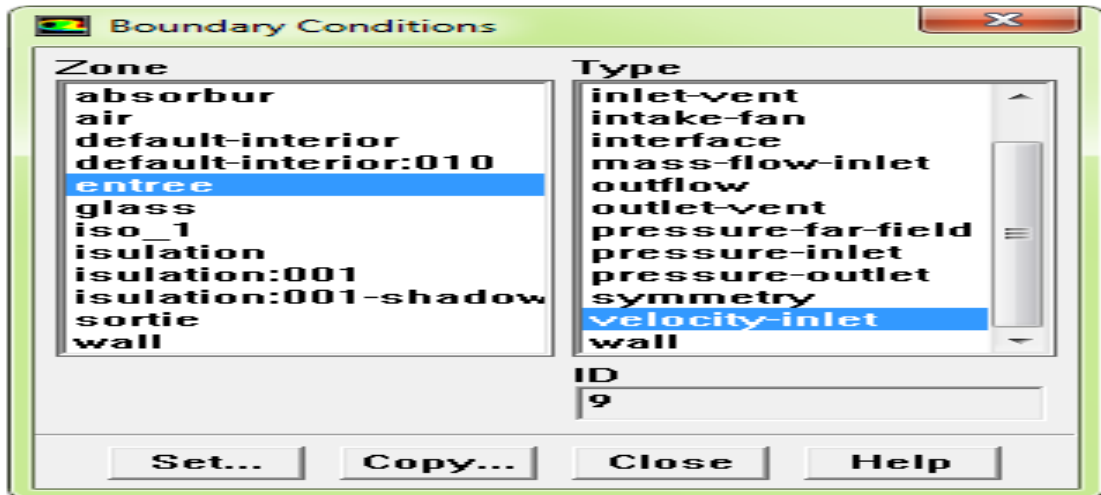


Figure III. 13: Fenêtre de conduction aux limites

➤ 8^{ème} étape

L'installation du problème est presque complète. Maintenant on tourne vers la surveillance résiduelle graphique de sorte qu'on puisse facilement observer le progrès de la solution. Pour faire ceci, on choisit : Solve → Monitors → Residual,

Pour ouvrir les moniteurs résiduels lambrisse montré sur (figure III.14). Sous les options allumez l'option **plot** pour activer l'affichage graphique des résiduels pendant le calcul, et on sélection alors sur OK.

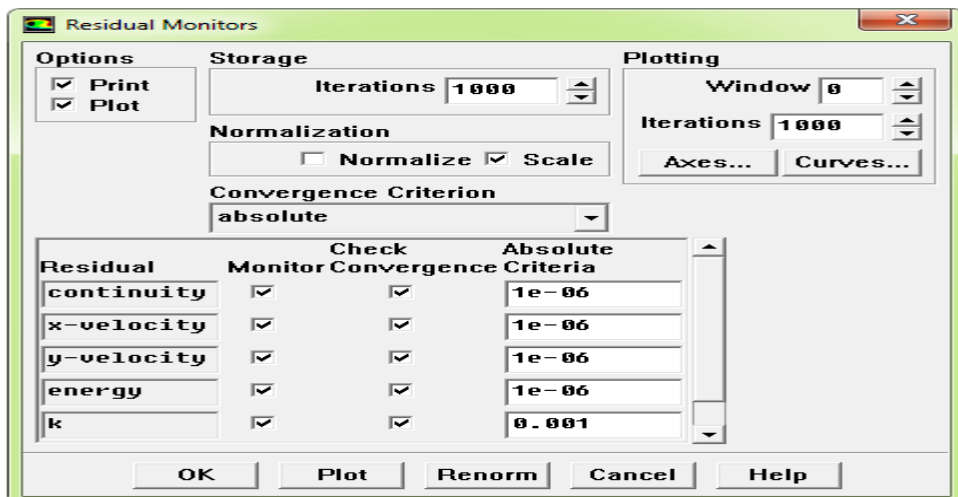


Figure III. 14: Fenêtre de Residual Monitors

➤ 9^{ème} étape

Avant de réitérer, il faut initialiser le champ d'écoulement pour fournir un point de départ de la solution. On peut donc choisir le calcul de la solution initiale des arrangements d'une condition aux limites où le champ entrant l'écoulement évalue individuellement. En cliquant :

Solve ———> Initialize, pour ouvrir le panneau d'initialisation de la solution représentée sur la (figure III. 15).

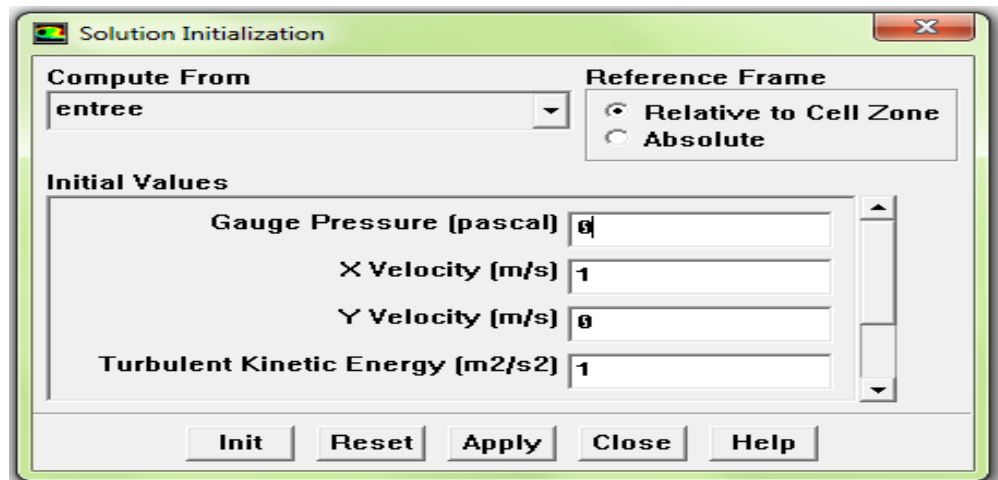


Figure III. 15: Fenêtre de solution initialisation

➤ 10^{ème} étape

Maintenant on peut commencer les itérations. On clique sur :

Solve ———> Itérate, ceci ouvre le panneau de l'itération représenté sur la (figure II.16).

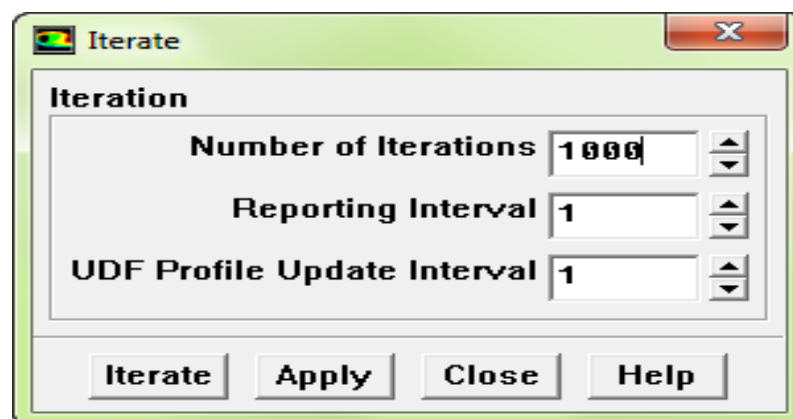


Figure III. 16 : Fenêtre Itérâtes

III.4. Conclusion

A travers ce chapitre, on perçoit mieux les problèmes qu'on peut les rencontrer lors de la simulation numérique d'un problème en mécanique des fluides et de transfert thermique. Les étapes de la modélisation numérique :

La création de la géométrie, la génération du maillage et l'implémentation du "Fluent." - Le contrôle de la convergence.

Chapitre IV



Présentation et Interprétation des Résultats

Chapitre IV

Présentation et Interprétation des Résultats

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats de l'étude thermique d'un capteur solaire à air à double passe avec muni des chicanes. Dans ce chapitre nous allons voir l'influence du débit massique sur l'efficacité thermique du capteur solaire.

La simulation numérique a été faite par le code de calcul Fluent permettant d'obtenir l'évolution des températures des différents composants du capteur solaire (le vitrage, l'air dans le premier et le deuxième canal, l'absorbeur et l'isolation) et les profils de vitesse dans les différentes sections dans les deux passes.

IV.2. Courbe du résiduel

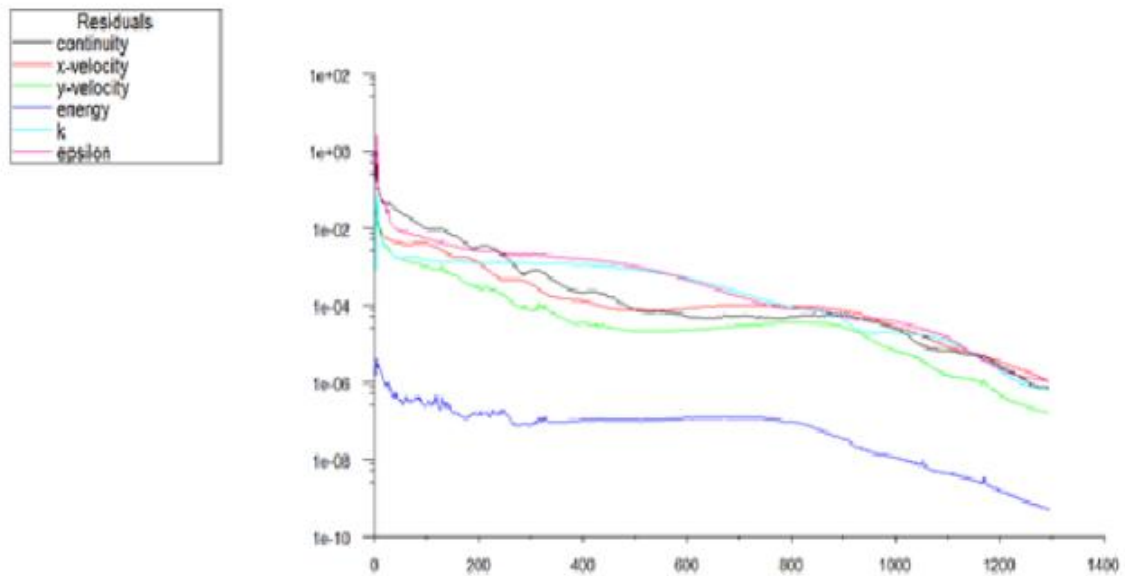


Figure IV.1 : Courbe résiduel

La convergence est atteinte pour 1288 itérations.

IV.3. Validation des résultats

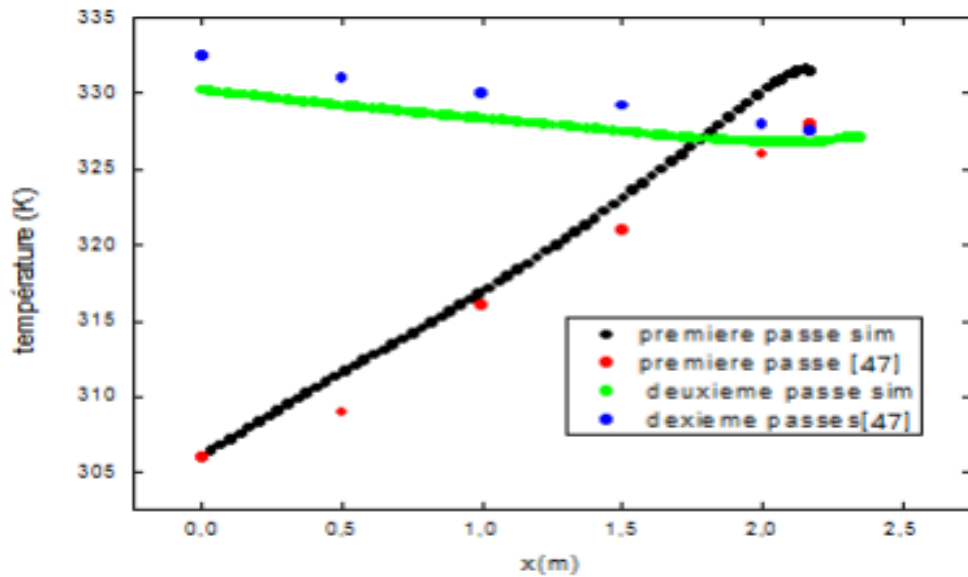


Figure IV.2 : Comparaison de la titre variation de la température de deux passe entre notre résultat et celui [SANDALI] (avec $I_t = 500 \text{ W/m}^2$)

Sur la figure IV.2 nous avons présenté la validation de notre résultat avec celui obtenu par (SANDALI).

D'après cette figure on remarque que la température de la première passe va augmenter tandis que la température de la deuxième passe va diminuer ainsi qu'on peut voir que notre résultat est en accord avec celui (SANDALI) avec une petite différence.

IV.4. Analyse des résultats

Pour analyse nos résultats. On propose de choisir des sections suivant x et y section Comme la montre la figure suivante:

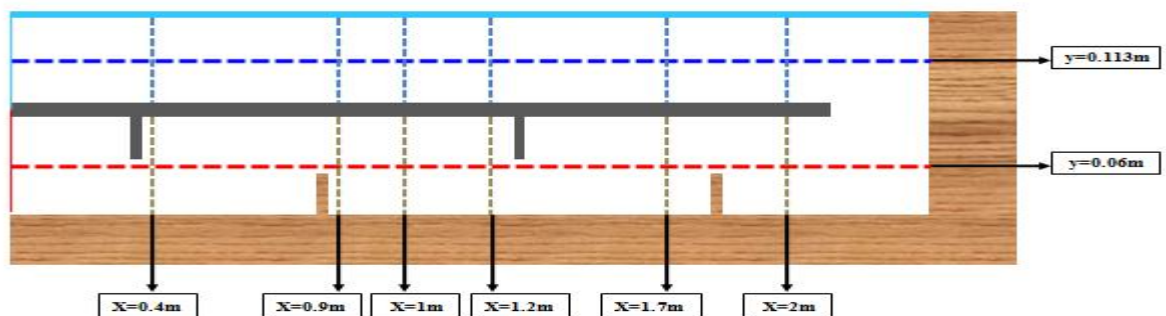


Figure IV. 3 : Les différentes sections choisies

IV.4.1. Pression

IV.4.1.1. Contour de pression dynamique

Cette partie est destinée à l'étude des contours de la pression dynamique pour :

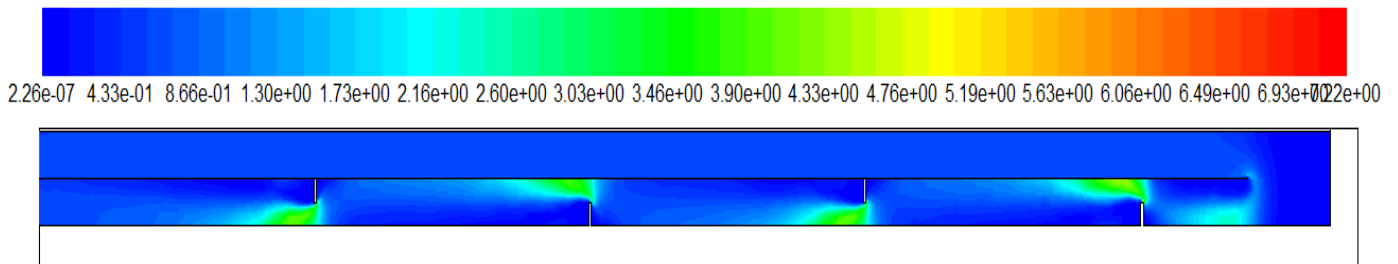
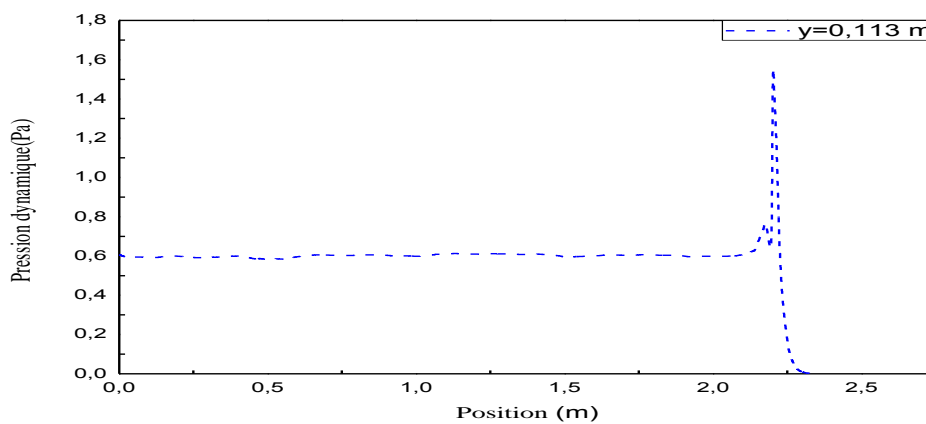


Figure IV. 4 : Contour de pression dynamique [Pa]

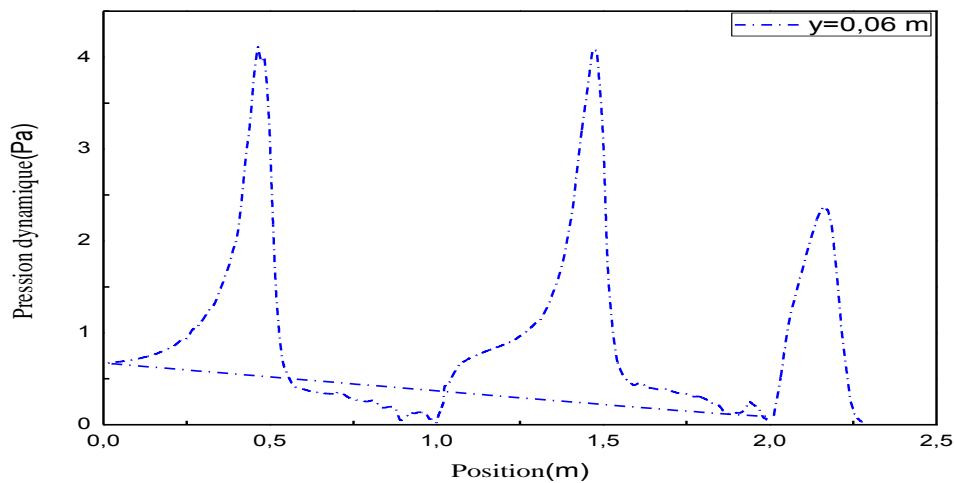
La figure IV.4 nous donne le contour de la pression dynamique, d'après cette figure on remarque que la pression dynamique augmente lorsqu'on s'approche de la fin de la première passe pour atteindre une valeur de 2.6 Pa au voisinage de l'extrémité de l'absorbeur et on peut trouver une valeur maximale près de le chicanes de 3.90 Pa de la deuxième passe qui va diminuer lorsque on s'approche de la sortie du capteur.

IV.4.1.2. Courbe de la pression dynamique

La figure IV.5 représente les courbes de la pression dynamique suivant d'un écoulement de fluide (air) dans un capteur:



a : Première passe y=0.113m



b : deuxième passe y=0.06

Figure IV. 5 : Profil de la pression dynamique suivant Y

La figure IV.5 montre le profil de la pression dynamique suivant y, on peut remarquer que la pression dynamique est minimale (0.6 Pa) à l'entrée et à la sortie de capteur. Et que cette pression prend la valeur maximale (2 Pa, 3.9 Pa, 4 Pa) à la sortie des chicane. Ainsi qu'on peut noter que ces courbes prennent la valeur (0 Pa) près de l'isolation.

IV.4.2. La vitesse

IV.4.1.2. Contour de la vitesse résultante

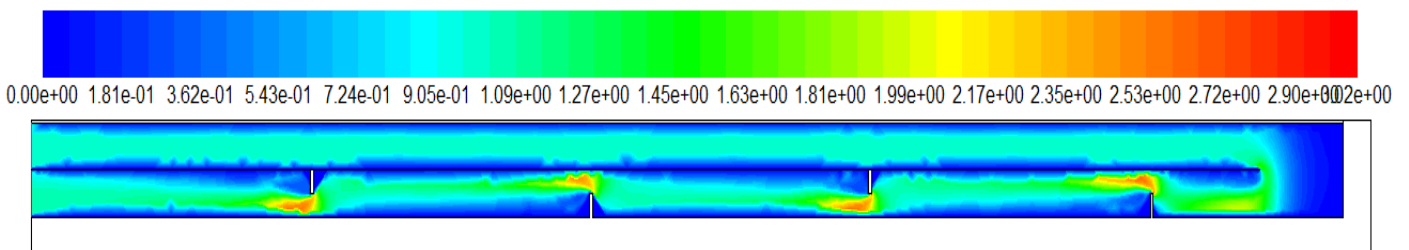
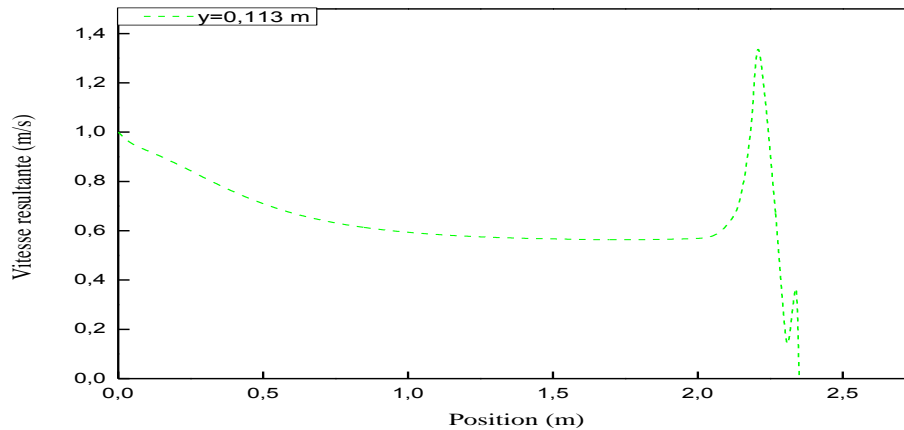


Figure IV. 6 : Contour de la vitesse résultante [m/s]

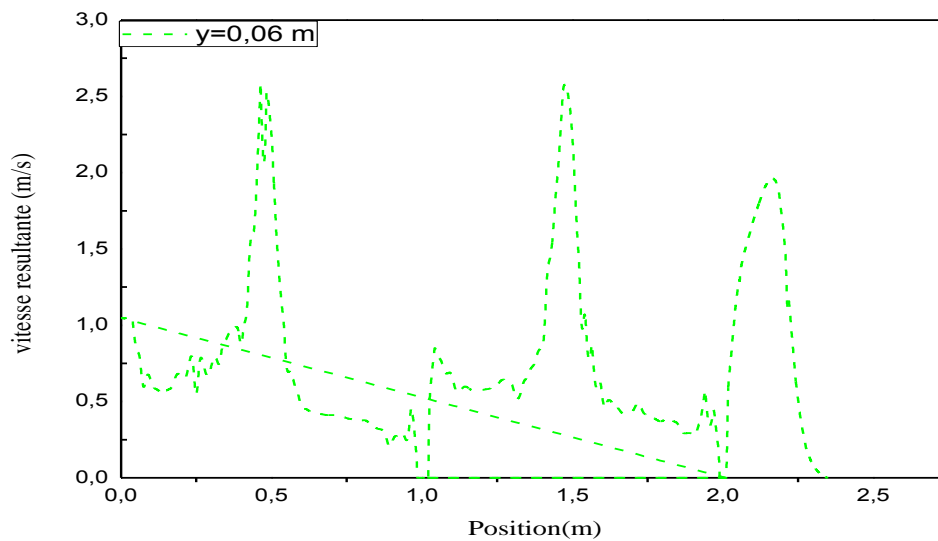
La figure IV.6 illustre le contour de la vitesse résultante. A travers cette figure on remarque que la vitesse est minimale près de l'absorbeur et ceci revient à la condition d'adhérence, ainsi que on peut noter qu'il ya une vitesse maximale à la sortie des chicane dans de deuxième passe presque 2.90 m/s.

IV.4.2.2. Courbe de la vitesse résultante

L'objectif attendu de cette partie été de montrer l'évolution du de la vitesse résultante en fonction de la position à long de capteur :



a : Première passe $y=0.113$



b : deuxième passe $y=0.06$

Figure IV. 7 : Profil de la vitesse résultante suivant X

La figure IV.7 illustre le profil de la vitesse résultante suivant l'axe x pour différentes valeurs de x, on observe que ces courbes ont même profil de la pression dynamique et ceci s'explique par la proportionnalité existante entre la pression dynamique et la vitesse résultante.

IV.4.2.3. Contour de la vitesse suivant x

Cette partie est destinée à l'étude des contours de la vitesse x pour les différentes matières

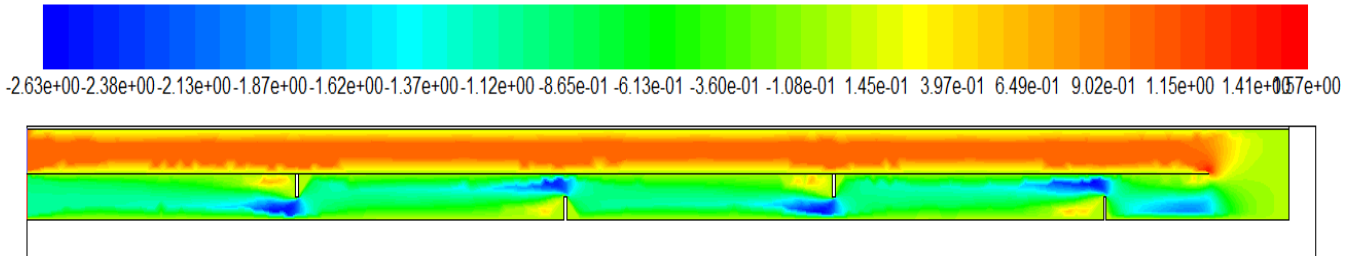
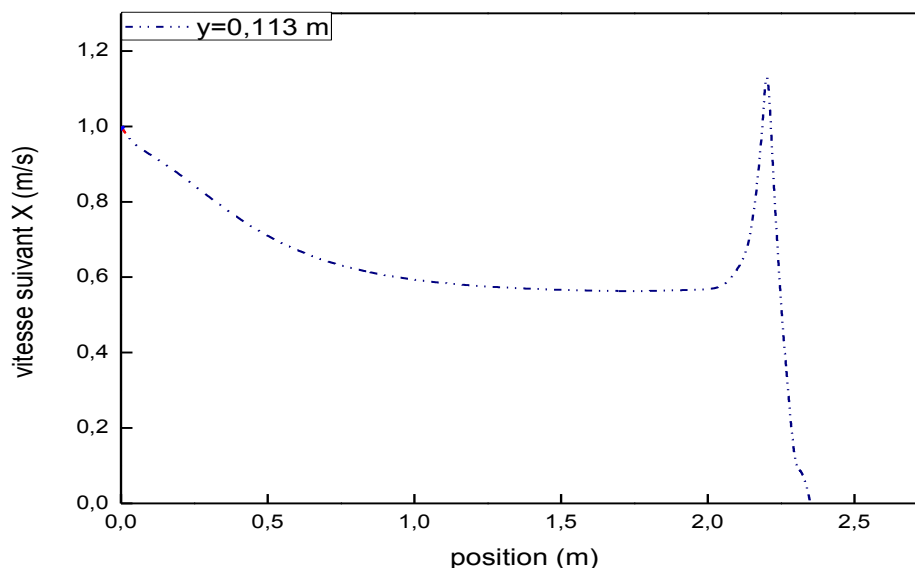


Figure IV. 8 : Contour de la vitesse suivant X [m/s]

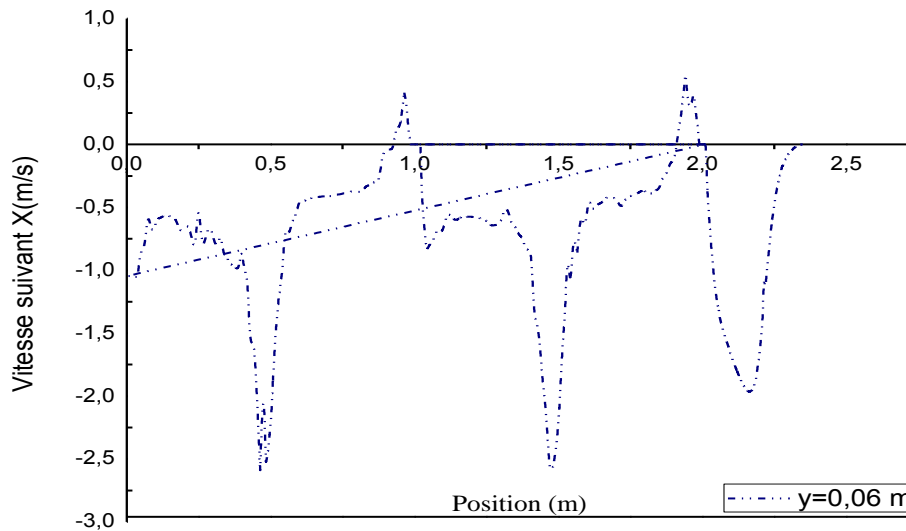
La figure IV.8 illustre les contours de la vitesse axiale. Les vitesses axiales de l'air dans le premier passage sont plus élevées par rapport aux vitesses dans le deuxième passage et la vitesse prend la valeur maximale près des chicanes et devient nulle aux cotés des parois à cause de la condition d'adhérence.

IV.4.2.4. Courbe de la vitesse suivant x

L'objectif attendu de cette partie été de montrer l'évolution de la vitesse suivant x en fonction de la position à long de capteur :



a : Première passe y=0.113



b: deuxième passe $y=0.06$

Figure IV. 9 : Profil de la vitesse suivant X

Sur la figure IV.9 nous avons présenté le profil de la vitesse suivant x pour la première passe et deuxième passe avec $y=0.113\text{m}$ et $y=0.06\text{ m}$, On remarque que la vitesse dans le premier passage et le deuxième presque le même. On trouve des valeurs positives et négatives près de l'isolant droit qu'on explique par l'échange de sens d'écoulement.

IV.4.2.5. Contour de la vitesse suivant y

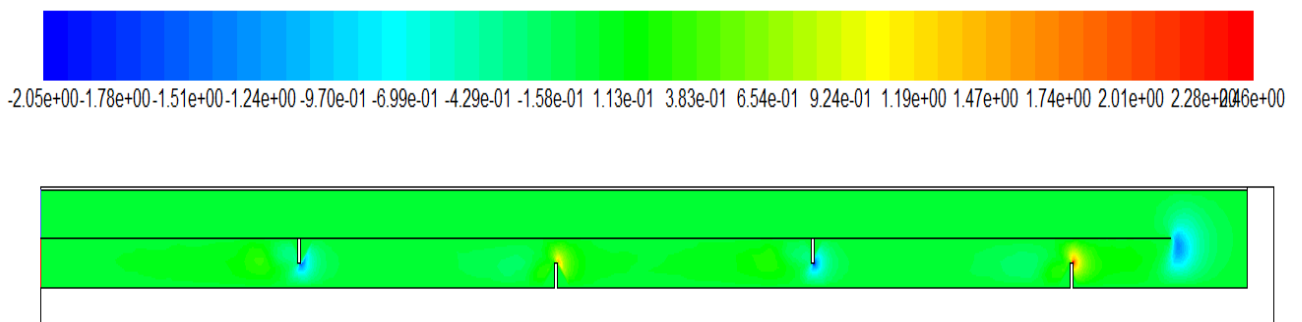


Figure IV. 10: Contour de la vitesse suivant y [m/s]

La figure IV.10 nous donne le contour de la vitesse suivant y . On remarque que, la vitesse dans le premier passage est presque uniforme, mais elle a diminuée dans la zone où le fluide change son sens d'écoulement (à $x=2.1\text{m}$) vers le canal inférieur.

IV.4.3. La température

IV.4.3.1. Contour de température totale

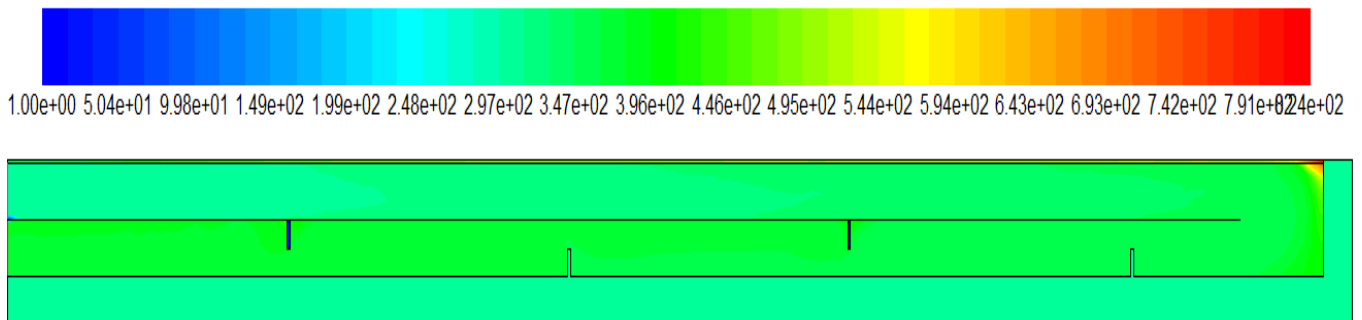
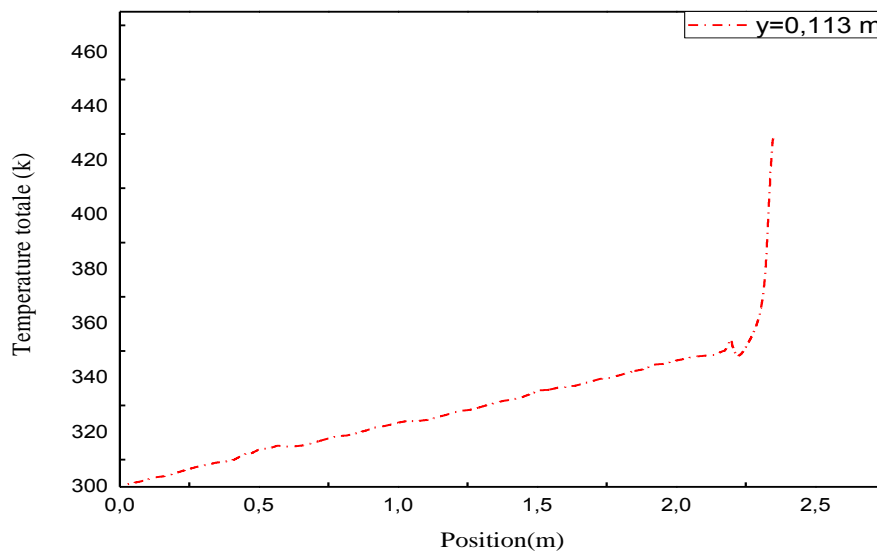


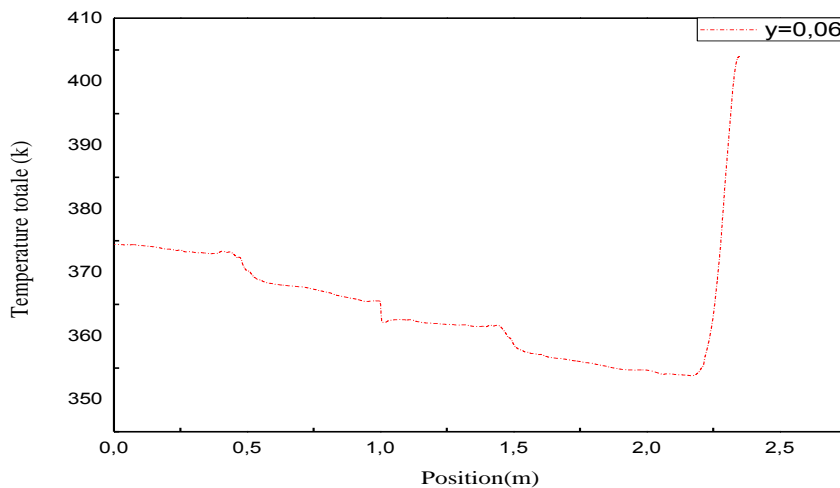
Figure IV. 11 : Contour de température totale [K]

La figure IV.11 présente le champ des températures dans le capteur solaire à double passe pour un éclairement solaire de $1000\text{W}/\text{m}^2$. On observe que la température de l'air augmente dans la première passe supérieure dans le même sens des x par l'effet de la température du vitrage et de l'absorbeur et augmente dans le sens inverse des x dans la conduite inférieure par l'effet de l'absorbeur. Les zones les plus chaudes sont localisées au voisinage du vitrage et du côté de l'absorbeur.

IV.4.3.2. Courbe de température totale



a: première passe $y=0.113\text{ m}$



b : Deuxième passe

Figure IV.12: Profil de température totale

A travers la figure IV.12 : qui nous représente le profil de la température totale pour différentes valeurs de x, on voit que la température est minimale de 300k à l'entrée et à la sortie 430 k du le capteur.

IV.4.4. Energie cinétique turbulente

IV.4.4.1. Contour d'énergie cinétique turbulente

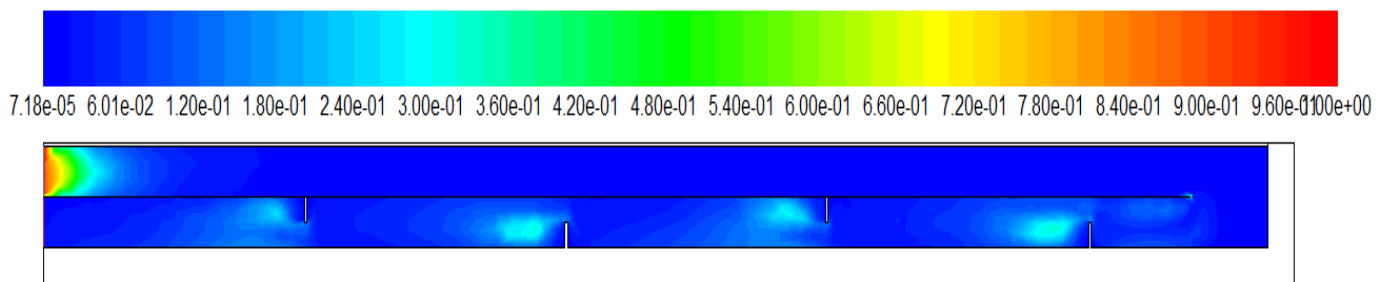
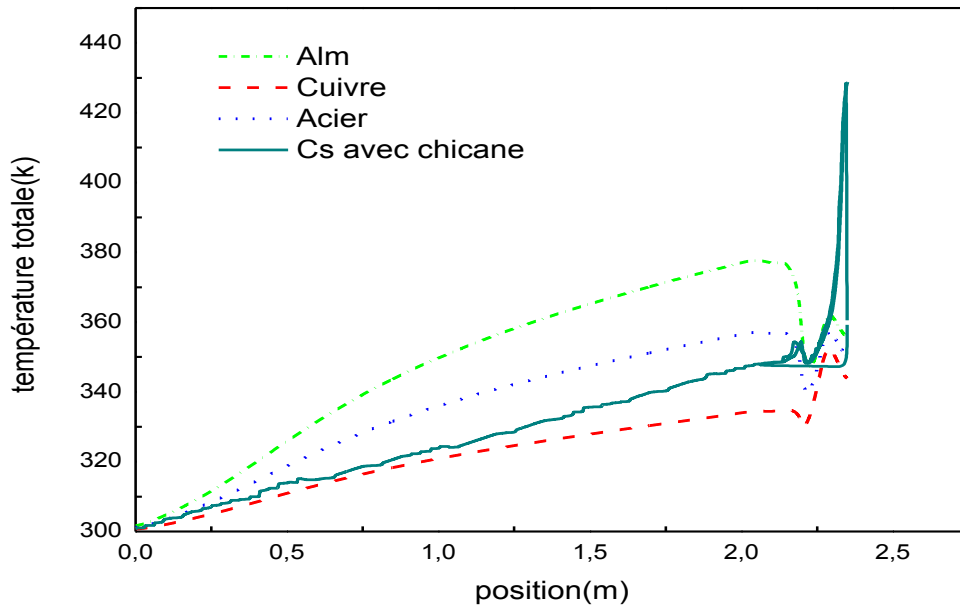


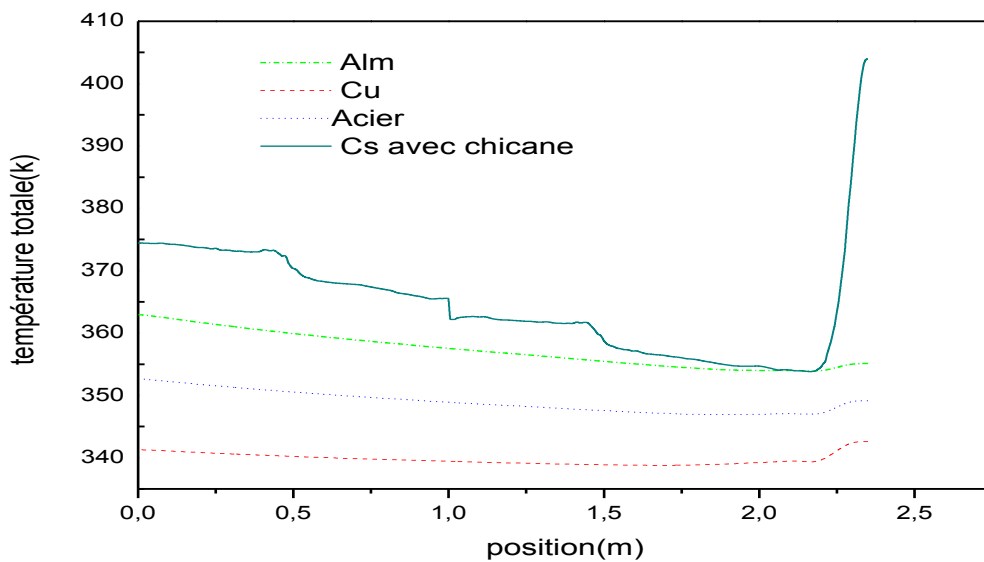
Figure IV. 13 : Contour d'énergie cinétique turbulente [m^2/s^2]

La figure IV.13 présente le contour d'énergie cinétique turbulente dans le capteur solaire à double passe. On observe que l'énergie C.T augmente au début de la première passe supérieure.

IV.4.4.3. Etude comparative



a : Température totale pour la première passe



b : la température totale pour la deuxième passe

Figure VI.15: Profil de la température totale pour différents capteurs

Sur la figure IV.15 nous avons présenté le profil de la température totale pour le capteur ,la première passe et deuxième passe avec $y=0.113\text{ m}$ et $y=0.06\text{ m}$, dans la première passe.

On remarque que la température totale des trois matières est commencé par 300(k), la température le cuivre augment mais son augmentation moins que acier et, l'augmentation de l'aluminium plus que l'acier et moins que la température de le capteur solaire avec chicane.

Dans la deuxième passe l'aluminium commence par 364(k), l'acier 353(k) et le cuivre 341(k) ; tel que le cuivre augment mais son augmentation moins que acier et, l'augmentation de l'aluminium plus que l'acier et moins que la température de le capteur solaire avec chicane.

IV.5. Conclusion

Les résultats présentés dans ce chapitre montrent que le capteur solaire avec mini de chicanes à double passe a une grande influence sur l'augmentation des performances du capteur solaire.

On peut conclure que la température dans un capteur solaire à deux passes fait à l'augmentation de la température de fluide à la sortie et que la température de l'entrée à une influence significative sur la variation de la température de sortie, comme perspective, on propose de faire une étude comparative entre le modèle de $k-\varepsilon$ et $k-\omega$ avec l'adjonction des ailettes.



Conclusion générale

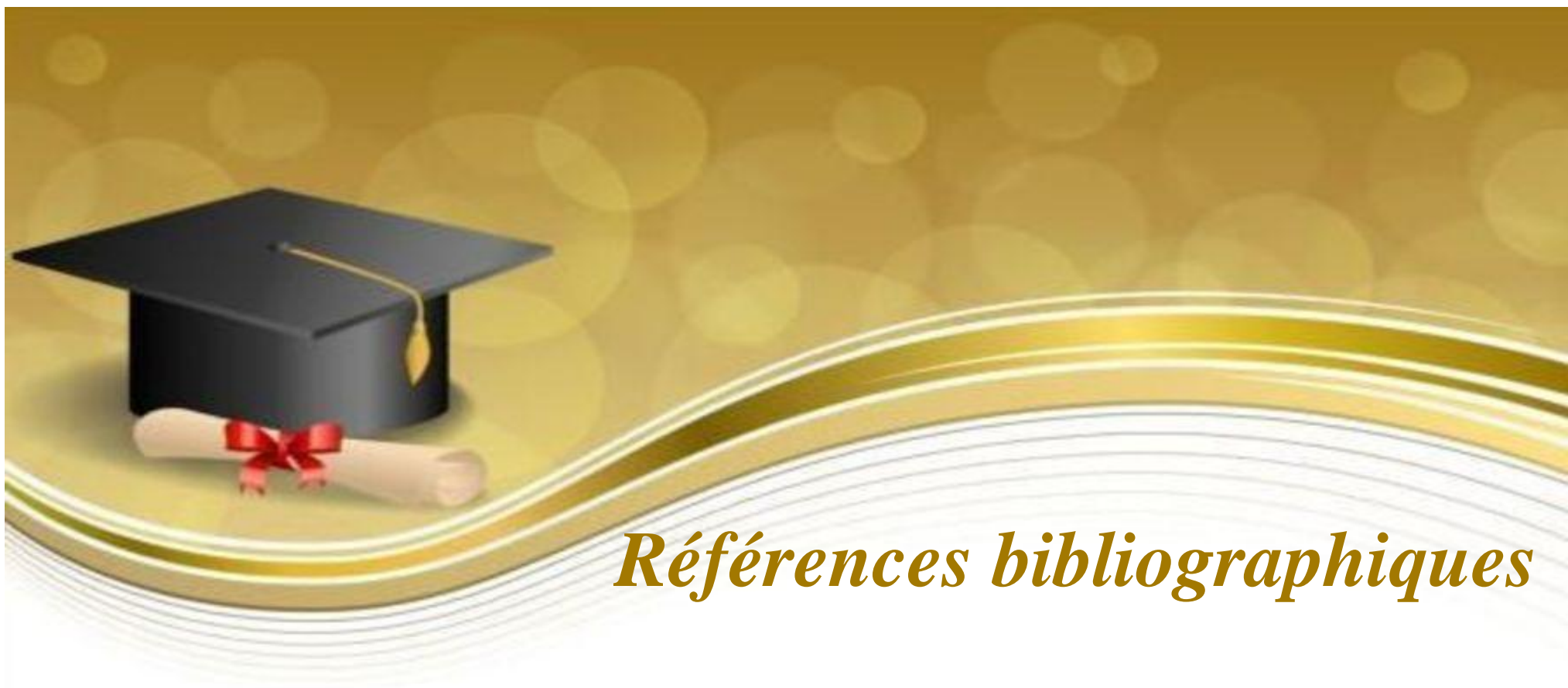
Conclusion Générale

Nous espérons, à travers ce parcours, avoir contribué à l'étude de l'optimisation des performances thermiques des capteurs solaires plans à air muni des chicane, pour des diverses applications qui est le chauffage, le séchage, etc.

L'objectif est d'étudier le comportement thermique d'un capteur solaire plan à air à double passe muni de chicane. La simulation numérique du système aboutie à la détermination de l'évolution des températures des différents composants du capteur solaire et le profil de la vitesse axiale dans des différentes section du canal. Cette étude à été réalisée à l'aide du code de calcul Fluent qui est basée sur la méthode des volumes finis.

Les équations qui régissent l'écoulement d'un fluide sont les équations de la conservation de la quantité de mouvement, de la conservation de masse (continuité), et l'équation d'énergie.

Les profils des sections suivant x et y et la distribution de la température totale dans le capteur ont été obtenus pour tous les composants du capteur. L'évolution de la vitesse axiale, la distribution de la température sont traités le long du capteur.



Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] **D.SEMMAR ET AL** « Etude et réalisation d'un séchoir solaire plan à air » revue énergies renouvelables, physique énergétique ; pp 33-38 ; (1998).
- [2] Etude expérimentale d'un bassin d'eau utilisé comme capteur solaire plan présent par **Abdelaoui Med Khimmustiet Guricha Foud** thème d'ingénieur d'état université de Ouargla
- [3] **N, Bellel**. Etude des transferts thermiques le long d'un tube cylindrique appliquée à deux géométries ; thèse de doctorat, Université de Constantine. (2004).
- [4] **Bazdidi-Tehrani, F., and Naderi-Abadi, M.**, "Numerical Analysis of Laminar Heat Transfer in Entrance Region of a Horizontal Channel with Transverse fins", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 31, No. 2, pp. 211-220 .(2004).
- [5] **A. Hachemi**, Thermal heat performance enhancement by interaction between the radiation and convection in solar air heaters, *Renewable Energy*, vol. 12 4, pp. 419-433, 1997. [http://dx.doi.org/10.1016/S0960-1481\(97\)00040-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0960-1481(97)00040-2)
- [6] **E. K. Akpınar and F. Koçyiğit**, Energy and energy analysis of a new flat-plate solar air heater having different obstacles on absorber plates, *Applied Energy*, vol. 87 11, pp. 3438-3450, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.05.017>
- [7] **H.-m. Yeh and T.-T. Lin**, The effect of collector aspect ratio on the collector efficiency of flat-plate solar air heaters, *Energy*, vol. 2010, pp. 1041-1047, (1995). [http://dx.doi.org/10.1016/0360-5442\(95\)00053-J](http://dx.doi.org/10.1016/0360-5442(95)00053-J)
- [8] **A. Benkhelifa**. " Optimisation d'un Capteur Solaire Plan ". *Rev. Energ. Ren. : Physique Energétique*, (1998), pp. 13-18.
- [9] **F. Mokhtari et D. Semmar**. "Etude Expérimentale d'un Capteur Solaire à Air ". *Rev. Energ. Ren. : Valorisation* 243-246(1999)
- [10] **A.A. Zaïd, A. Moulla, M.S. Hantala et J.Y. Desmons**. "Amélioration des Performances

des Capteurs Solaires Plans à Air: Application au Séchage de l'Oignon Jaune et du Hareng". *Rev. Energ. Ren.* Vol.4 69-78 (2001)

[11] **N. Moumni, S. Youcef-Ali, A. Moumni and J. Y. Desmons**, Energy analysis of a solar air collector with rows of fins, *Renewable Energy*, vol. 29 13, pp. 2053-2064, (2004). <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2003.11.006>

[12] **S. Youcef-Ali**, Study and optimization of the thermal performances of the offset rectangular plate fin absorber plates, with various glazing, *Renewable Energy*, vol. 30 2, pp. 271-280, (2005). <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2004.04.009>

[13] **S. Youcef-Ali and J. Y. Desmons**, Numerical and experimental study of a solar equipped with offset rectangular plate fin absorber plate, *Renewable Energy*, vol. 31 13, pp. 2063-2075, (2006). <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2005.10.008>

[14] **B. S. Romdhane**, The air solar collectors: Comparative study, introduction of baffles to favor the heat transfer, *Solar Energy*, vol. 81 1, pp. 139-149, (2007). <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2006.05.002>

[15] **L. Adnane**, Contribution à l'étude des échanges convectifs en régime transitoire dans les Capteurs Solaires Plans à air; Application au Séchage des produits agroalimentaires, Université Mohamed Khider de Biskra, (2012).

[16] **A. Labed, N. Moumni, K. Aoues, M. Zellouf and A. Moumni**, Etude théorique et expérimentale des performances d'un capteur solaire plan à air muni d'une nouvelle forme de rugosité artificielle, vol. pp. (2014).

[17] **M. Baritto and J. Bracamonte**, A dimensionless model for the outlet temperature of a nonisothermal flat plate solar collector for air heating, *Solar Energy*, vol. 86 1, pp. 647-653, 2012). <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2011.11.009>

[18] **K. S. Ong**, Thermal performance of solar air heaters: Mathematical model and solution procedure, *Solar Energy*, vol. 55 2, pp. 93-109, (1995). [http://dx.doi.org/10.1016/0038-092X\(95\)00021-I](http://dx.doi.org/10.1016/0038-092X(95)00021-I)

[19] **K. S. Ong**, Thermal performance of solar air heaters—Experimental correlation, *Solar Energy*, vol. 55 3, pp. 209-220, (1995). [http://dx.doi.org/10.1016/0038-092X\(95\)00027-O](http://dx.doi.org/10.1016/0038-092X(95)00027-O)

- [20] **K. AOUES**, Etude théorique et expérimentale de l'écoulement de l'air entre deux plans parallèles avec une surface chauffée, Université Mohamed Khider-Biskra, (2012).
- [21] **K. Aoues, N. Moumми, M. Zellouf, A. Moumми, A. Labed, E. Achouri** and **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 2, pp. 237-248, (2009).
- [22] **N. Chouchane, A. Moumми, N. Moumми** and **B. Achour**, Modèles empiriques de calcul des pertes de charge dans un conduit rectangulaire muni de rugosités artificielles—Cas des insolateurs à air, *Revue des Energies Renouvelables* vol. 2 3, pp. 385-394, (2009).
- [23] **C. Nacer**, Intitulé: Etude globale et locale de l'influence de la géométrie sur les pertes de charge occasionnées par des obstacles métalliques de formes diverses dans un conduit rectangulaire, cas d'un fluide incompressible, Université Mohamed Khider de Biskra, (2012).
- [24] **K. Aoues, N. Moumми, A. Moumми, M. Zellouf, A. Labed** and **E. Achouri**, Etude de l'influence des rugosités artificielles sur les performances thermiques des capteurs solaires plans à air, vol. pp. (2014).
- [25] **C. Mahboub**, Etude des phénomènes de transfert thermique dans les échangeurs de la chaleur destinés aux applications solaires, Université Mohamed Khider-Biskra, (2016).
- [26] **C. Mahboub, N. Moumми, A. Moumми** and **S. Youcef-Ali**, Effect of the angle of attack on the wind convection coefficient, *Solar Energy*, vol. 85 5, pp. 776-780, (2011). <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2011.01.008>
- [27] **C. Mahboub, N. Moumми, A. Brima** and **A. Moumми**, Experimental study of new solar air heater design, *International Journal of Green Energy*, vol. 13 5, pp. 521- 529,(2016). 10.1080/15435075.2014.968922
- [28] **M. J. Lewis**, Optimising the thermohydraulic performance of rough surfaces, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 18 11, pp. 1243-1248, (1975). [http://dx.doi.org/10.1016/0017-9310\(75\)90232-X](http://dx.doi.org/10.1016/0017-9310(75)90232-X)
- [29] **S. Satcunanathan** and **S. Deonarine**, A two-pass solar air heater, *Solar Energy*, vol. 15 1, pp. 41-49, (1973). [http://dx.doi.org/10.1016/0038-092X\(73\)90004-2](http://dx.doi.org/10.1016/0038-092X(73)90004-2)

- [30] **Y. Caouris, R. Rigopoulos, J. Tripanagnostopoulos and P. Yianoulis**, A novel solar collector, *Solar Energy*, vol. 21 2, pp. 157-160, (1978). [http://dx.doi.org/10.1016/0038-092X\(78\)90044-0](http://dx.doi.org/10.1016/0038-092X(78)90044-0)
- [31] **N. E. Wijesundera, L. L. Ah and L. E. Tjioe**, Thermal performance study of two pass solar air heaters, *Solar Energy*, vol. 28 5, pp. 363-370, (1982). [http://dx.doi.org/10.1016/0038-092X\(82\)90253-5](http://dx.doi.org/10.1016/0038-092X(82)90253-5)
- [32] **A. Zerrouki, B. Tedjiza et N. Said**. "Modélisation des Pertes Thermiques dans un Capteur Solaire à Air à deux Passes". *Rev. Energ. Ren.* Vol. 5(2002)49-58.
- [33] **P. Naphon and B. Kongtragool**, Theoretical study on heat transfer characteristics and performance of the flat-plate solar air heaters, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 30 8, pp. 1125-1136, (2003). [http://dx.doi.org/10.1016/S0735-1933\(03\)00178-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0735-1933(03)00178-7)
- [34] **M. R. I. Ramadan, A. A. El-Sebaï, S. Aboul-Enein and E. El-Bialy**, Thermal performance of a packed bed double-pass solar air heater, *Energy*, vol. 32 8, pp. 1524-1535, (2007). <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2006.09.019>
- [35] **C. D. Ho, H. M. Yeh, T. W. Cheng, T. C. Chen and R. C. Wang**, The influences of recycle on performance of baffled double-pass flat-plate solar air heaters with internal fins attached, *Applied Energy*, vol. 86 9, pp. 1470-1478, (2009) <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.12.013>
- [36] **F. Ozgen, M. Esen and H. Esen**, Experimental investigation of thermal performance of a double-flow solar air heater having aluminium cans, *Renewable Energy*, vol. 34 11, pp. 2391-2398, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2009.03.029>
- [37] **K. Sopian, M. A. Alghoul, E. M. Alfegi, M. Y. Sulaiman and E. A. Musa**, Evaluation of thermal efficiency of double-pass solar collector with porous– nonporous media, *Renewable Energy*, vol. 34 3, pp. 640-645, (2009). <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2008.05.027>
- [38] **A. A. El-Sebaï, S. Aboul-Enein, M. R. I. Ramadan, S. M. Shalaby and B. M. Moharram**, Investigation of thermal performance of double pass-flat and corrugated plate solar air heaters, *Energy*, vol. 36 2, pp. 1076-1086, (2011). <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2010.11.042>

[39] **A. Fudholi, M.H. Ruslan, M.Y. Othman, M. Yahya, Supranto, A. Zaharim, and K. Sopian.** "Collector Efficiency of the Double-Pass Solar Air Collectors with Fins". Selected

Topics in System Science and Simulation in Engineering.

[40] **R. Kumar, M. A. Rosen.** "Performance evaluation of a double pass PV/T solar air heater with and without fins". Applied Thermal Engineering 31 (2011) 1402e1410.

[41] **P. Kumar.** "Effect of Differential Mass Flow Rate on the Thermal Performance of Double Duct Packed Bed Solar Air Heaters". International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'12) Santiago de Compostela (Spain), 28th to 30th March, 2012.

[42] **C.D. Ho, H. Chang, R.C. Wang, C.Sh. Lin.** "Performance improvement of a double pass solar air heater with fins and baffles under recycling operation". Applied Energy 100(2012)155-163.

[43] **S.S. Krishnananth, K.K. Murugavel.** "Experimental study on double pass solar air heater with thermal energy storage". Journal of King Saud University-Engineering Sciences(2012).

[44] **Guestal M.** "Modélisation de la convection naturelle laminaire dans une enceinte avec une paroi chauffée partiellement " Mémoire de magister, Université de MONTOURI, CONSTANTINE, 2010

[45] **Laribi B.** "polycopié-cours de CFD ", Université de Khemis-Miliana (2009)

[46] **Mekroussi S.** "Simulation du transfert convectif dans une couche limite turbulente en présence d'obstacle décolle de la paroi " Mémoire de magister, Université Ibn-Khaldoun Tiaret, (2007).



Résumé

Résumé

Dans la nature, on trouve plusieurs sources d'énergie renouvelable, compris pétrir de l'énergie solaire. Ayant multiple usages : chauffe-eau solaires, maisons solaires et Systèmes de refroidissement solaire.

Tous ces systèmes sont basés sur un dispositif qu'on appelle un capteur solaire.

A cet effet, nous allons simuler numériquement l'échange d'un capteur solaire plan à air à double passe muni de chicanes rectangulaires simples, en utilisant le code Fluent pour étudier le comportement dynamique et le flux d'air du programme thermique récente.

Mots clés : Rayonnement solaire, absorbeur, capteur solaire à double passe, transfert thermique, Fluent, muni des chicanes.

Abstract

In nature, there are several sources of renewable energy, including knead of solar energy. Having multiple uses: solar water heaters, solar homes and Cooling Systems Solar.

All these systems are based on a device that is called a solar sensor.

To this effect, we will numerically simulate the exchange of a solar sensor plan to air to double-pass fitted with baffles simple rectangular, using the code Fluent to study the dynamic behavior and the air flow of the thermal program recent.

Key words : Solar radiation, absorber, solar sensor in double pass, thermal transfer, fluent, fitted with baffles.

المخلص

في الطبيعة نجد عدة مصادر للطاقة المتجددة بما في ذلك الطاقة الشمسية. و التي لديها عدة استعمالات : سخانات المياه بالطاقة الشمسية و البيوت الشمسية و الألواح الشمسية أنظمة التبريد...

باستخدام اللاقط الشمسي الحراري نحاول الحد الأقصى لضياع الطاقة الحرارية زيادة المر دودية.

في هذا العمل قمنا بالمحاكاة العددية للتبادل الحراري للاقط شمسي مزدوج التمرير يحتوي علي صفائح مربعة بسيطة باستخدام برنامج الفلوينت لدراسة السلوك الديناميكي و الحراري لتدفق الهواء لهذا الأخير.

الكلمات المفتاحية : الإشعاع الشمسي, لاقط شمسي مزدوج التمرير, الانتقال الحراري, صفائح مربعة بسيطة, الجامييت والفلوينت.