



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

UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN - TIARET-

FACULTÉ DES SCIENCES DE LA MATIÈRE

ANNEXE SOUGUEUR

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : PYSIQUE

Spécialité : Physique Energétique & Energies Renouvelables

Par : *REGGADI MESSAOUDA*

THÈME

*ETUDE DE L'INFLUENCE DU MATERIAU DE L'ABSORBEUR SUR LE COMPORTEMENT
THERMIQUE DUN CAPTEUR SOLAIRE PLAN A AIR A DOUBLE PASSE*

Soutenu publiquement le :

24 / 06 /2018 devant le Jury composé de:

| | | | |
|----------------------|---------|----------------------|-----------|
| Mr. A.KARAS | M. C .A | Université de Tiaret | Président |
| Mr. S.MIHOUB | M. A .B | Université de Tiaret | Examineur |
| Mr.A.SAFA | M. A. A | Université de Tiaret | Examineur |
| Mr.A.BENAHMED | D. A | Université de Tiaret | Encadreur |

PROMOTION 2017 /2018

Dédicace

A L'AIDE DE DIEU, j'ai pu réaliser ce modeste travail,

Que je dédie d'abord à :

*Mes parentes « Laid et Khaira » qui ont partagé avec moi
les moments les plus difficiles et qui ont été une source
d'encouragement durant mes études.*

Aussi

A mes très chères sœurs « Abir, madiha et Hiba »

A mes chers frères « Aïman et kossai »

A mes tantes, mes oncles « Reggadi Abd El Kader »

Sans oublier mon encadreur: M. BenAhmed Abd El Illah

*A toutes mes amies de zème master physique énergétique et
énergie renouvelable :*

Benelmouaz mouhamed

Anine braïka ; Akdri Rahma

A toute personne qui j'ai aidés de loin à terminer ce travail.

REGGADI MESSAOUDA

Remerciements

Je remercie en premier lieu notre Dieu le tout puissant

De nous avoir donné le courage, la volonté et

La patience de mener à terme

Le présent mémoire.

A Monsieur Mr. BENAHMED Abdelillah , Enseignant à l'université de Tiaret, Qui a accepté d'encadrer et de diriger ce travail Pour ses

Conseils précieux, son aide et sa grande Patience Mes vifs remerciements.

A Monsieur KARAS.A.E.K, Maître de conférences (A) à l'université de Tiaret Qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de jury

En témoignage de notre respect, Sincères remerciements.

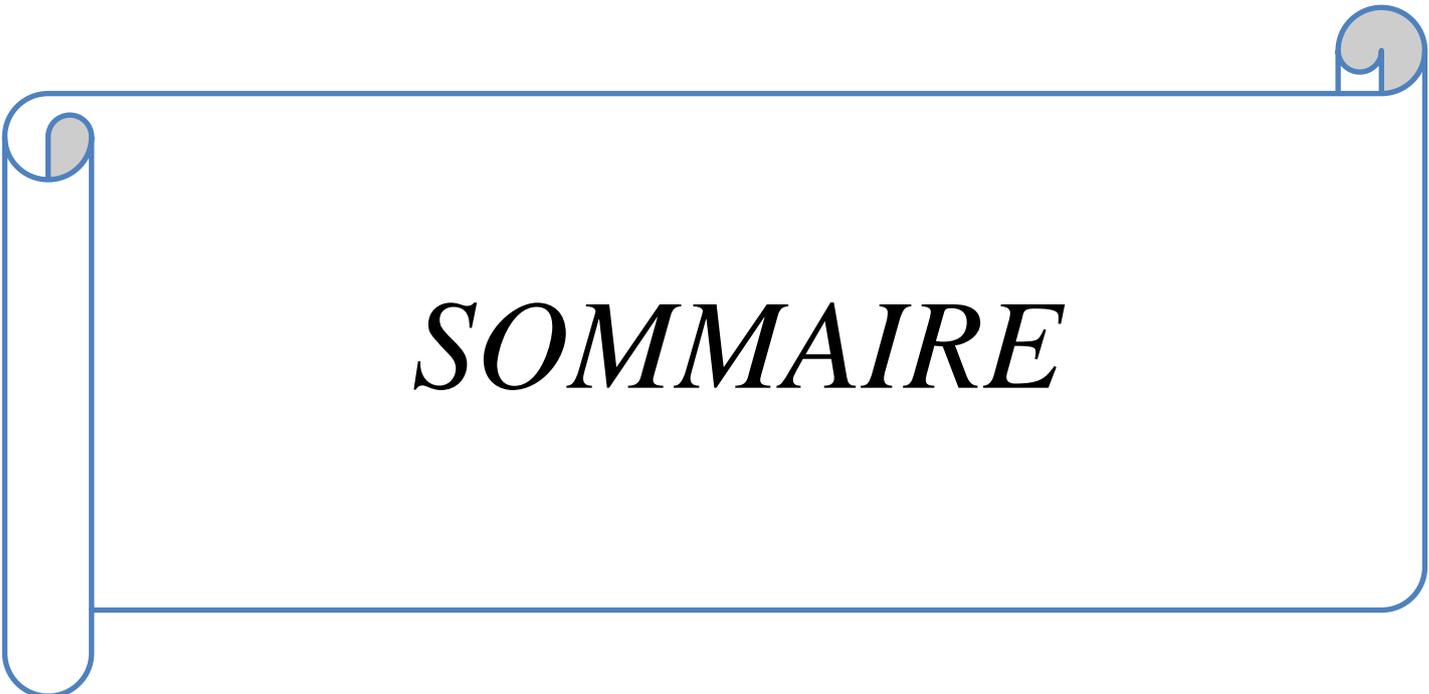
A Monsieur MIHOUB Sofiane, Maître de conférences (B) à l'université de Tiaret, Qui a accepté de participer au jury de ce mémoire.

En témoignage de notre respect, Sincères remerciements.

A Monsieur SAFA A.E.K, Maître assistant à l'université de Tiaret, Qui a accepté de participer au jury de ce mémoire.

En témoignage de notre respect,

Sincères remerciements



SOMMAIRE

SOMMAIRE

| | |
|--|-------------|
| 1. Dédicace | I |
| 2. Remerciements | II |
| 3. Sommaire | III |
| 4. LISTES DES FIGURES ET DES TABLEAUX | VII |
| 5. NOMENCLATURE | XIII |
| 6. INTRODUCTION GENERALE | 01 |

CHAPITRE I: NOTIONS GENERALES SUR LES CAPTEURS SOLAIRES

| | |
|--|----|
| I.1 Introduction..... | 03 |
| I.2 Définition d'un capteur solaire plan..... | 03 |
| I.3 Constituants d'un capteur solaire plan | 04 |
| I.3.1 Couverture transparente (vitre) | 04 |
| I.3.2 Absorbeur | 06 |
| I.3.3 Fluide caloporteur..... | 06 |
| I.3.4 Isolation thermique | 07 |
| I.4 Principe de fonctionnement d'un capteur solaire plan | 09 |
| I.5 Types d'un capteur solaire thermique..... | 09 |
| I.6 domaine d'applications des capteurs solaires plan | 13 |
| I.7. Conclusion | 13 |

CHAPITRE II: REVUES BIBLIOGRAPHIQUES SUR LES CAPTEURS

SOLAIRES

| | |
|---|----|
| II.1 Introduction..... | 15 |
| II.2 Travaux réalisées sur les capteurs solaires à seule passe | 15 |
| II.3 Travaux réalisées sur les capteurs solaires à double passe | 27 |
| II.4 Conclusion | 35 |

**CHAPITRE III: METHODES NUMERIQUES ET PRESENTATION DU
CODE FLUENT**

| | |
|--|----|
| III.1 Introduction..... | 37 |
| III.2 Méthodes numériques..... | 37 |
| III.2.1 Méthodes principales de discrétisation..... | 37 |
| III.2.1.1 Différences finis..... | 37 |
| III.2.1.2 Eléments finis..... | 38 |
| III.2.1.3 Volumes finis..... | 38 |
| III.2.2 Les différentes étapes de la mise en œuvre..... | 43 |
| III.2.3 Principes des codes CFD..... | 43 |
| III.2.4 Modèles de fermeture..... | 44 |
| III.2.4.1 Modèle (k- ϵ)..... | 45 |
| III.2.4.1.1 Modélisation de L'équation de k..... | 46 |
| III.2.4.1.2 Modélisée d' équation de ϵ | 47 |
| III.2.4.1.3 Constantes standards de modèle (k- ϵ)..... | 47 |
| III.3. présentation des logiciels de calcul..... | 47 |

SOMMAIRE

| | |
|---|----|
| III.3.1 Mailleur Gambit..... | 48 |
| III.3.2 Le procédé de création de la géométrie par le GAMBIT et la simulation par le Fluent..... | 48 |
| III.3.3 Domaine d'étude (geometrie)..... | 49 |
| III.3.4 Etapes de calcul..... | 51 |
| III.3.4.1 Lancement de gambit..... | 51 |
| III.3.4.2 Lancement de fluent..... | 54 |
| III.4 Conclusion..... | 60 |

CHAPITRE IV: PRESENTATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS

| | |
|--|----|
| IV.1 Introduction..... | 62 |
| IV.2 Courbe Residuel..... | 62 |
| IV.3 Validation Des Résultats | 63 |
| IV.4 Analyse des résultats..... | 64 |
| IV.4.1 La pression..... | 64 |
| IV.4.1.1 Contour de pression dynamique..... | 64 |
| IV.4.1.2 Courbe de la pression dynamique..... | 65 |
| IV.4.2 La vitesse..... | 66 |
| IV.4.2.1 Contour de la vitesse résultants..... | 66 |
| IV.4.2.2 Courbe de la vitesse Résultats..... | 67 |
| IV.4.2.3 Contour de la vitesse suivant x..... | 69 |
| IV.4.2.4 Courbe de la vitesse suivant x | 69 |
| IV.4.3 Température..... | 71 |
| IV.4.3.1 Contour de La température totale..... | 71 |

SOMMAIRE

| | |
|---|----|
| IV.4.3.2 Courbe de La température totale du fluide..... | 72 |
| IV.4.3.3 Influence de température d'absorbeur sur la position..... | 75 |
| IV.4.3.4 influence de température d'absorbeur sur la température du fluide..... | 75 |
| IV.4.3.5 l'influence du débit massique sur l'efficacité thermique..... | 77 |
| IV.4.3.6 Etude Comparative | 79 |
| IV.5 Conclusion..... | 80 |
| CONCLUSION GENERALE..... | 82 |

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

RUSEME

A decorative border resembling a scroll, with a blue outline and grey shading on the top and bottom edges, framing the text.

*LISTE DES FIGURES
ET DES TABLEAUX*

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I: Notions générales sur les capteurs solaires

| | |
|--|----|
| <i>Figure I.1</i> : Capteur solaire plan..... | 03 |
| <i>Figure I.2</i> : Composants d'un capteur solaire..... | 04 |
| <i>Figure I.3</i> : Schéma de principe d'un capteur solaire plan..... | 09 |
| <i>Figure I.4</i> : Capteurs solaires sans vitrage | 10 |
| <i>Figure I.5</i> : Capteur solaire vitré..... | 11 |
| <i>Figure I.6</i> : Principe de fonctionnement des capteurs plans vitrés..... | 11 |
| <i>Figure I.7</i> : Capteur à tube sous vide..... | 12 |
| <i>Figure I.8</i> : Principe de fonctionnement des capteurs à tubes sous vide..... | 12 |

CHAPITRE II: Revues bibliographique sur les capteurs solaire

| | |
|---|----|
| <i>Figure II.1</i> : Capteur solaire à air simple passe | 15 |
| <i>Figure II.2</i> : capteur solaire modélisé..... | 16 |
| <i>Figure II.3</i> : Coupe transversale du capteur à air..... | 17 |
| <i>Figure II.4</i> : Profil de températures (Tfs / Tfe)..... | 17 |
| <i>Figure II.5</i> : Représentation du rendement instantané..... | 18 |
| <i>Figure II.6</i> : Profil de températures (Tfs / Tfe..... | 18 |
| <i>Figure II.7</i> : Représentation du rendement instantané..... | 19 |
| <i>Figure II.8</i> : Le capteur solaire plan à air avec des chicanes (obstacles) | 20 |
| <i>Figure II.9</i> : Installation expérimentale..... | 20 |
| <i>Figure II.10</i> : Variation du rendement et des pertes de charge en fonction du Débit pour des capteurs SC, Capteurs muni de DCL,OCL puis | 21 |

Figure II.11: Différentes formes des ailettes ajoutées à l'absorbeur pour améliorer L'efficacité de l'absorbeur21

Figure II.12: schéma représentatif des obstacles rectangulaires perpendiculaires à l'écoulement.....22

Figure II.13: Evolution du rendement du capteur en fonction du débit volume de l'air pour les deux configurations de capteurs(avec chicane et absorbeur sélectif).....23

Figure II.14: Configuration des chicanes utilisées par Labeled et al24

Figure II.15: Evolution de la température de l'absorbeur en fonction du débit24

Figure II.16: Evolution de la température de l'air à la sortie du capteur en25

Figure II.17: Evolution du rendement du capteur en fonction du débit26

Figure II.18: Deux types de capteurs solaires à air à double passe selon la direction de l'écoulement.27

Figure II.19: Schéma d'un élément du capteur28

Figure II.20: schéma représentatif de capteur étudié (écoulement contre-courant).....29

Figure II.21:Le schéma d'un capteur solaire thermique à double passe avec des milieux poreux dans le deuxième canal.....29

Figure II.22: Capteur solaire à air à double passe avec des ailettes placées dans le deuxième canal.....30

Figure II.23: Effet du rayonnement solaire sur le débit massique et l'efficacité31

FigureII.24:Variation du rendement thermique en fonction du rapport31

Figure II.25: Schéma de capteur solaire à air à double passe avec milieux poreux.....32

FigureII.26: Schéma de capteur solaire à air à double passe avec milieux poreux32

FigureII.27:Capteur solaire à double passe: (a) avec ailettes,(b) sans ailettes.....33

FigureII.28: Diagramme schématique du capteur solaire à double passe représenter le débit massique différentiel..... 34

FigureII.29: schéma d'un capteur solaire a air à double passe avec des ailettes plus confus..35

CHAPITRE III: Méthodes numériques et présentation du code Fluent

Figure III.1 : Volume de contrôle bidimensionnel.....39

Figure III.2 : Schémas des étapes à utiliser pour la simulation sur ces logiciels Gambit et Fluent.....49

Figure III.3 : Schéma du capteur solaire à double passe.....50

Figure III.4 : Face de domaine du calcul51

Figure III.5 : Création du Capteur Solaire plan à double passe.....52

Figure III.6 : Maillage de géométrie.....53

Figure III.7 : les conditions aux limites.....54

Figure III.8 : Type de résolution.....55

Figure III.9 : La lecture de la grille.....55

Figure III.10 : Fenêtre solver.....56

Figure III.11 : Fenêtre viscosité model.....56

Figure III.12 : Fenêtre Matériaux.....57

Figure III.13 : Fenêtre de condition aux limites.....58

Figure III.14 : Fenêtre Résiduel Monitors.....59

Figure III.15 : Fenêtre solution initialisation.....59

Figure III.16 : Fenêtre Itérates.....60

CHAPITRE IV: Présentation et interprétation des résultats

Figure IV.1 : Courbe résiduel62

Figure IV.2: Comparaison de la variation de la température de deux passe entre notre résultat et celui [SANDALI] (avec $I_t = 1000 \text{ W/m}^2$).....63

Figure IV.3 : Les différentes sections choisies.....64

Figure IV.4 : contour de pression dynamique pour différentes matière [Pa].....64

Figure IV.5: profil de la pression dynamique suivant x pour différentes matière.....66

Figure IV.6 : contour de la vitesse résultante différentes matières [m/s].....67

Figure IV.7: profil de la vitesse résultante suivant x pour différentes matière68

Figure IV.8 : contour de la vitesse suivant x pour différentes matière69

Figure IV.9 : profil de la vitesse suivant x pour différentes matière.....70

Figure IV.10 : Profil De La Vitesse Suivant Y71

Figure IV.11 : Contour de température totale pour différentes matières [K].....72

Figure IV.12: profil de la température totale pour différentes matières [K].....73

Figure IV.13: Profil de la température du l'absorbeur pour différentes matières.....75

Figure IV.14: profil d'influence de température d'absorbeur (aluminium) sur la température du fluide.....75

Figure IV.15: profil d'influence de température d'absorbeur (cuivre) sur la température du fluide.....76

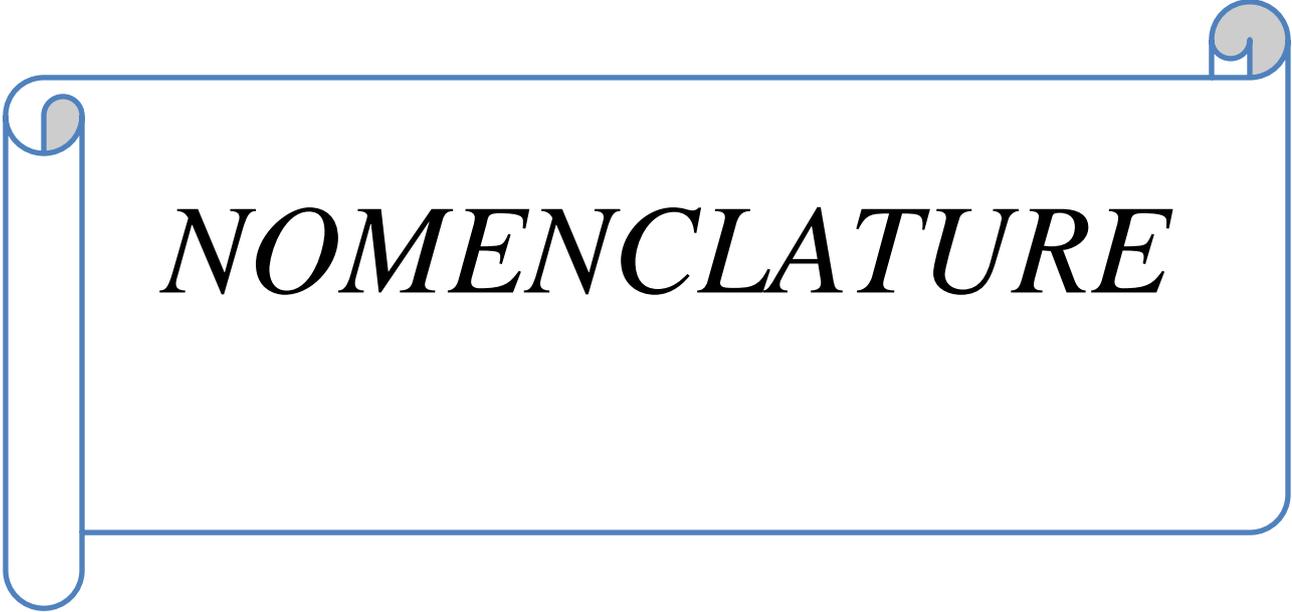
Figure IV.16:profil d'influence de température d'absorbeur (acier) sur la température du fluide.....76

Figure IV.17:l'influence du débit massique sur l'efficacité thermique du capteur solaire.....78

Figure IV.18: Profil de la température totale pour différentes capteurs..... 79

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|--|-----------|
| <i>Tableau I.1 : propriétés de différentes surfaces transparentes.....</i> | <i>05</i> |
| <i>Tableau I.2 : Caractéristique thermo-physiques de quelques matériaux métalliques.....</i> | <i>06</i> |
| <i>Tableau I.3 : Propriétés thermiques des quelques matériaux isolants</i> | <i>08</i> |
| | |
| <i>Tableau III.1: Récapitulatif des équations régissant l'écoulement</i> | <i>44</i> |
| <i>Tableau III.2: Coefficients du modèle K- S standard.....</i> | <i>47</i> |
| <i>Tableau III.3: Dimensions géométriques du capteur solaire.....</i> | <i>50</i> |
| <i>Tableau III.4: les différentes propriétés du matériau</i> | <i>51</i> |
| <i>Tableau III.5: Conditions aux limites.....</i> | <i>53</i> |
| <i>Tableau III.6: les paramètres entrant dans le solveur fluent (Permettre La Traçage Résiduelle).....</i> | <i>58</i> |



NOMENCLATURE

NOMENCLATURE

➤ **Notations latines**

| <i>symbole</i> | <i>Désignation</i> | <i>Unité</i> |
|----------------|--------------------------------------|-------------------------|
| Cm | Coefficient de moment | / |
| C_{μ} | Coefficient sans dimension | / |
| D | Diamètre | m |
| E | Epaisseur | m |
| E | La diffusivité thermique | $jk^{-1}m^{-2}s^{-1/2}$ |
| H_1 | Hauteur de la première conduite | m |
| H_2 | Hauteur de la deuxième conduite | m |
| H_v | Epaisseur du vitrage | m |
| H_a | Hauteur d'absorbeur | m |
| H_i | Hauteur de l'isolation | m |
| I | Eclairement solaire globale incident | w/m^2 |
| K | L'énergie cinétique de turbulence | / |
| L | Longueur de pale | m |
| Qm | Débit massique | kg/s |
| 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**

CFD: Computational fluid dynamics

DES: Detachededdy simulation model

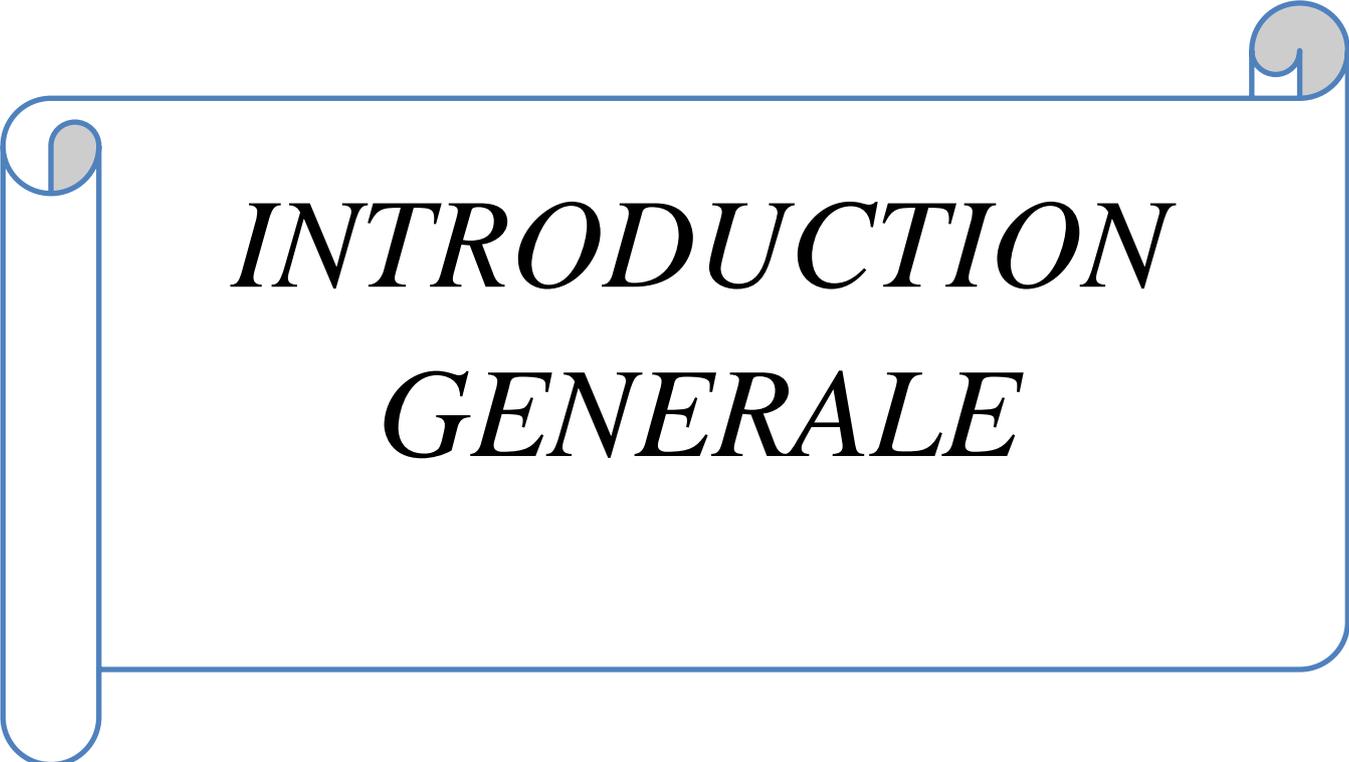
LES : Large eddy simulation model

RSM: Reynolds stress model

RNG: Reynolds normalization group

➤ **Notations grecque**

| <i>symbole</i> | <i>Désignation</i> | <i>Unité</i> |
|-----------------|----------------------------------|---------------------|
| 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] |
| λ | Transmittance | μm |
| η | Rendement instantane du capteur | / |
| Re | Nombre de Reynolds | / |
| ϕ | L'altitude du lieu | / |
| α | Diffusivité | wm ² / j |
| ε_1 | Emistivité | / |



INTRODUCTION
GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'énergie solaire peut être transformée en chaleur à basse température, par des capteurs plans usant conjointement l'absorption par une surface sélective et l'effet de serre créée par un vitrage et servant habituellement à la production d'eau ou d'air chaud. Pour les applications nécessitent de hautes températures des capteurs à concentration sont utilisés [1].

Fondamentalement, toutes les formes des énergies du monde sont d'origine solaire, le pétrole, le charbon, le gaz naturel et le bois ont été à l'origine produites par des processus photosynthétiques. Le soleil peut être classé comme une source d'énergie très importante [2].

L'énergie sous ses diverses formes a joué un rôle de plus en plus important dans le progrès de l'industrie et d'économie. de par ses avantages économiques et environnementaux, l'énergie solaire transformée en chaleur dans l'industrie a trouvé de nombreuses applications dans le domaine de chauffage, séchage, production de froid, ...etc.

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.

Plan de rédaction :

- ✚ Le Premier Chapitre :** présente quelques notions générales sur les capteurs solaires, Couramment utilisée dans tout domaine relatif au solaire.
- ✚ Le Deuxième Chapitre :** nous avons présenté quelque travail concernant les capteurs solaires.
- ✚ Le Troisième Chapitre :** représente méthodes numérique et présentation du code fluent.
- ✚ Le Quatrième Chapitre :** nous allons donner une présentation et interprétation des résultants.

Chapitre I :

Notions générales Sur les capteurs solaires



CHAPITRE I : NOTIONS GENERALES SUR LES CAPTEURS SOLAIRES

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 allons présenter des généralités sur les capteurs solaires. Ainsi que leurs différentes composantes, et ses utilisations dans le domaine de l'énergie solaire renouvelable.

I.2. DEFINITION D'UN CAPTEUR SOLAIRE PLAN :

Le capteur solaire plan est un dispositif conçu pour recueillir l'énergie transportée par les radiations solaires, la convertir en énergie calorifique et la transmettre à un fluide caloporteur, il combine deux principes physiques : l'effet de serre et le corps noir.

Les capteurs plans peuvent assurer des températures variant de 30°C à 90°C et ne nécessitent ni concentration du rayonnement incident, ni un suivi du soleil [1].

Le niveau relativement bas de la température du capteur plan est dû à la réémission par rayonnement du récepteur, et les pertes de chaleur périphérie du capteur [1].

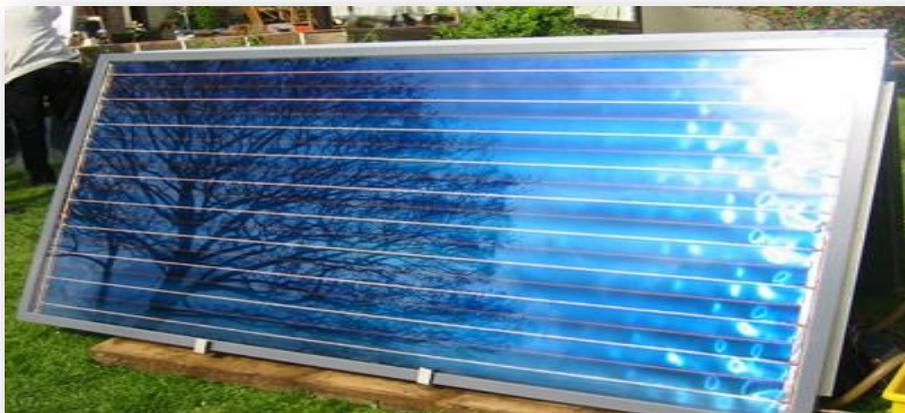


Figure I. 1: capteur solaire plan [6].

I.3. CONSTITUANTS D'UN CAPTEUR SOLAIRE PLAN :

Un capteur plan est constitué essentiellement d'une couverture transparente (vitre), d'un absorbeur, d'un fluide caloporteur, d'une isolation thermique et d'un coffre comme le montre la figure I.2.

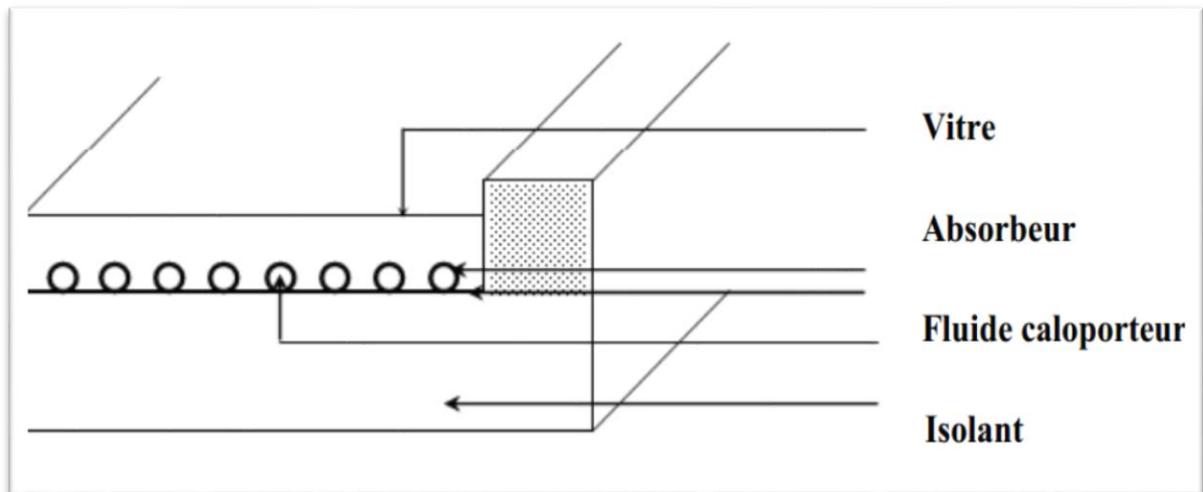


Figure I. 2 : Composants d'un capteur solaire [10].

I.3.1 La Couverture Transparente (Vitre) :

C'est la partie à travers laquelle le rayonnement atteint la surface de l'absorbeur.

L'une de ses caractéristiques est de réaliser l'effet de serre.

Les matériaux les plus utilisés sont :

- ✓ Le verre.
- ✓ Les polycarbonates (Lexan, Makrolon).
- ✓ Les polyméthacrylates de méthyle (Plexiglas, Altuglas).

En ce qui concerne les verres, on préférera ceux dont le taux d'oxyde de fer est le plus faible (verre horticole par exemple).

On rencontre également des couvertures transparentes multiples (doubles) et des couvertures constituées par un film souple transparent tel que Mylar ou Tedlar, parmi les fonctions de la couverture transparente on peut citer :

- ✓ La protection de l'absorbeur et l'isolation thermique.
- ✓ Fait partie de l'isolation thermique.
- ✓ Elle réfléchit le rayonnement au minimum et absorbe la lumière aussi peu possible de sorte que la totalité du rayonnement atteint la surface de l'absorbeur. Le tableau I.1 regroupe les propriétés de différentes surfaces transparentes.

Tableau I. 1 : propriétés de différentes surfaces transparentes [7]

| Matière | réflexion | Épaisseur (mm) | transmittance $\lambda = 0.4 / 2.5 \mu\text{m}$ | transmittance $\lambda = 2.5 / 40 \mu\text{m}$ | Cp kj / kg | ρ kg / m ³ |
|------------------------------------|--------------|----------------|--|---|---------------|-------------------------------|
| Verre | 1.518 | 3.175 | 0.840 | 0.020 | 0.754 | 2489 |
| fibres de verre polyester renforcé | 1.540 | 6.350 | 0.870 | 0.076 | 1.465 | 1399 |
| Fibre acrylique (plexiglass) | 1.490 | 3.175 | 0.900 | 0.020 | 1.465 | 1189 |
| Polycarbonate (lexan) | 1.586 | 3.175 | 0.840 | 0.020 | 1.193 | 1199 |
| Polytétrafluoroéthylène (teflon) | 1.343 | 5.080 | 0.960 | 0.0256 | 1.172 | 2480 |
| Fluorure de polyvinyle (Tedlar) | 1.460 | 1.016 | 0.920 | 0.07 | 1.256 | 1379 |
| Polyster (mylar) | 1.460 | 1.270 | 0.870 | 0.178 | 1.046 | 1394 |
| Fluorure de polyvinylidène (Kynar) | 1.413 | 1.016 | 0.930 | 0.230 | 1.256 | 1770 |
| Polyéthylène | 1.500 | 1.016 | 0.920 | 0.810 | 2.302 | 910 |

I.3.2 Absorbeur :

L'absorbeur est l'élément central du capteur solaire, il absorbe le rayonnement solaire global de courtes longueurs d'onde et le convertit en chaleur [4].

Il est constitué d'une plaque à laquelle sont intégrés des tubes à travers lesquels circule le fluide caloporteur. Le matériau constituant la plaque de l'absorbeur peut être soit métallique soit en matière plastique. Laquelle est utilisée uniquement dans le cas où un milieu agressif circule directement dans l'absorbeur tel est le cas de l'eau d'une piscine. L'emploi des matières plastiques entraîne des différences notables comparées aux métaux [4].

Le tableau I.2 ci-dessous présente les caractéristiques thermo-physiques de quelques matériaux utilisés comme absorbeurs.

Tableau I.2: Caractéristique thermo-physiques de quelques matériaux métalliques [8]

| Métal | Conductivité Thermique (w/mk) | Chaleur massique $cp = (j/kgk)$ | Masse volumique $\rho = (kg/m^3)$ | Diffusivité thermique $E = (jk^{-1}m^{-2}s^{-1/2})$ |
|-------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|--|
| Cuivre | 384 | 398 | 9800 | 108 |
| Acier inoxydable | 14 | 460 | 7800 | 4 |
| aluminium | 204 | 879 | 2700 | 86 |

I.3.3 Fluide Caloporteur :

Le fluide de travail est chargé de transporter la chaleur entre deux ou plusieurs sources de température. Il est choisi en fonction de ses propriétés physiques et chimiques, il doit posséder une conductivité thermique élevée, une faible viscosité et une capacité calorifique élevée. Dans le cas des capteurs plans, on utilise de l'eau à

laquelle on ajoute un antigel (généralement de l'éthylène glycol) ou bien de l'air. Par rapport à l'eau, l'air a les avantages suivants [3]:

- ❖ Pas de problème de gel l'hiver ou d'ébullition l'été.
- ❖ Pas de problème de corrosion (l'air sec).
- ❖ Toute fuite est sans conséquence.
- ❖ Il n'est pas nécessaire d'utiliser un échangeur de chaleur pour le chauffage des locaux.
- ❖ Le système à mettre en œuvre est plus simple et plus fiable.
Cependant il présente certains inconvénients, à savoir :
- ❖ L'air ne peut servir qu'au chauffage des locaux ou pour le séchage solaire.
- ❖ Le produit masse volumique - capacité calorifique, est faible
($\rho \cdot C_p = 1225 \text{ J/m}^3 \cdot \text{K}$) pour l'air contre $4.2 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3 \cdot \text{K}$ pour l'eau.
- ❖ Les conduites doivent avoir une forte section pour laisser passer un débit suffisant.

I.3.4 L'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.

• Partie 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.

• **Parties arrière et latérale :**

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], [4], [5].

le tableau I.3 regroupe les principales propriétés thermiques de quelques matériaux isolants.

Tableau I. 3: Propriétés thermiques des quelques matériaux isolants [8]

| Matériaux | Conductivité Thermique $\lambda = (w / mk)$ | Chaleur massique $cp = (j / kgk)$ | Masse volumique $\rho = (kg / m^3)$ | Diffusivité $\alpha (wm^2 / j)$ |
|----------------------------|---|---|---|---|
| Laine de Verre | 0.036 | 840 | 40 | 10.7 |
| Polystyrène expansé | 0.040 | 1500 | 20 | 13.3 |
| Laine de Roche | 0.040 | 840 | 40 | 11.9 |
| Laine (vêtement) | 0.040 | 1880 | 450 | 0.47 |
| Liège expansé | 0.048 | 1380 | 120 | 2.9 |
| Bois de Spain | 0.144 | 272 | 535 | 9.9 |
| Caoutchouc pur | 0.153 | 2170 | 1200 | 0.6 |

I.4. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN CAPTEUR SOLAIRE

PLAN :

Le rôle d'un capteur solaire thermique est de transformer le rayonnement solaire qu'il reçoit en énergie calorifique utilisable, le plus souvent par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur (eau, air,...) Le schéma de Principe de fonctionnement d'un capteur solaire plan est donné sur la (figure I.3).

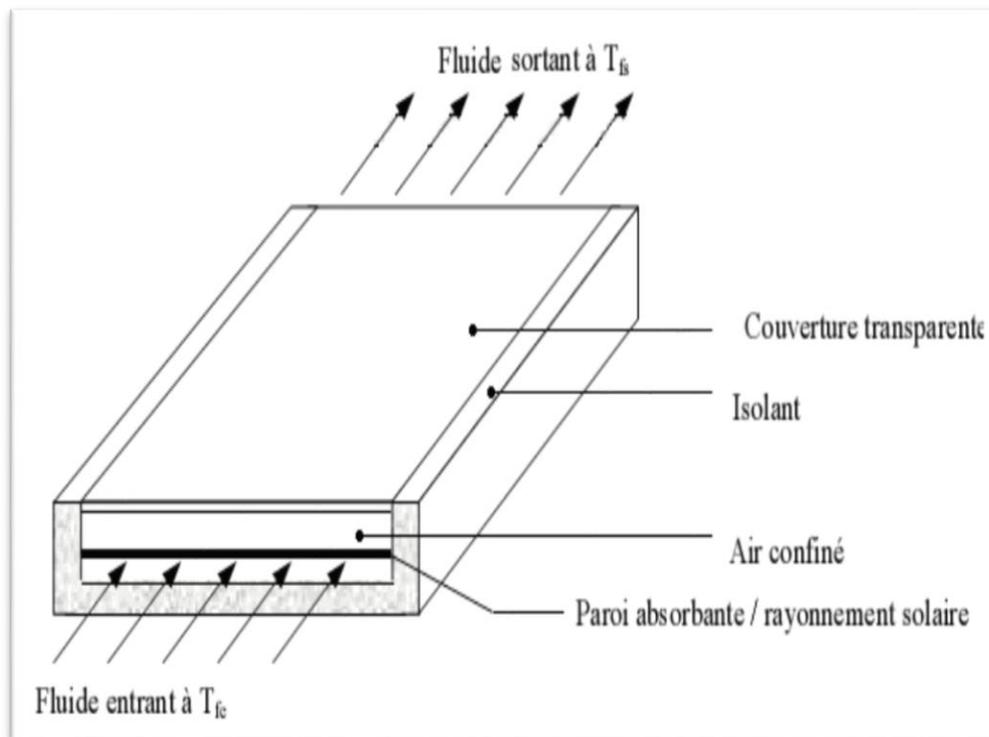


Figure I. 3: principe de fonctionnement d'un capteur solaire plan [9]

I.5. LES TYPES D'UN CAPTEUR SOLAIRE THERMIQUE :

Il existe cinq types de capteur solaire plan :

I.5.1 les capteurs plans non vitrés à revêtement sélectif :

Ils sont constitués d'un réseau de tubes peints en noir en plastique résistant aux rayons U.V, sans couverture transparente. Ils sont essentiellement utilisés pour le chauffage de l'eau des piscines extérieures en été et assurent des températures relativement basses de l'ordre de 30 à 35°C.



Figure I. 4: Capteurs solaires sans vitrage [2].

I.5.2 les capteurs plans vitres :

C'est un dispositif sans concentration dans lequel la surface de l'absorbeur est une plaque métallique sensiblement plane et noircie pour absorber le maximum de rayonnement. Elle est recouverte d'une vitre sur la face avant et isolée sur les faces latérales et arrière.

Les rayons solaires qui traversent la vitre sont absorbés par l'absorbeur qui s'échauffe émet des rayons infrarouges. Ces derniers restent piégés dans le capteur à cause de la vitre (effet de serre) et de l'isolant sur les autres parois. Un liquide dans des tubes récupère la chaleur et la véhicule jusqu'au point d'utilisation [6].

Ce type des capteurs peut être intégré dans l'architecture des bâtiments, ses températures de fonctionnement correspondent aux températures de production de chauffage et d'eau chaude sanitaire lorsque les besoins sont plus importants (hôtellerie par exemple).

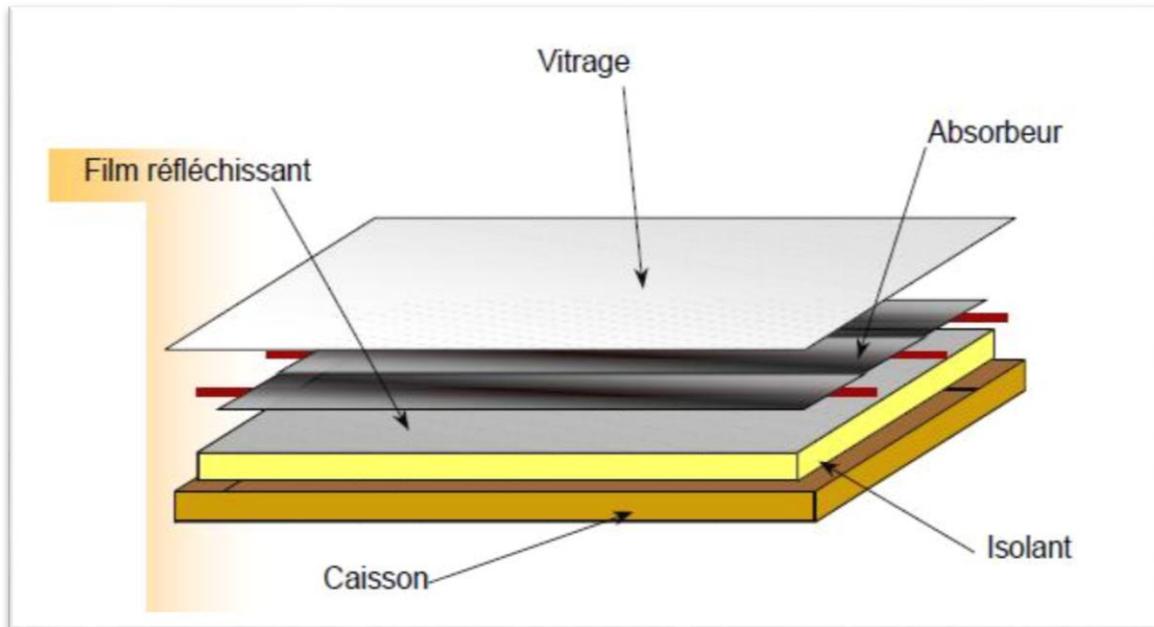


Figure I. 5: Capteur plan vitré

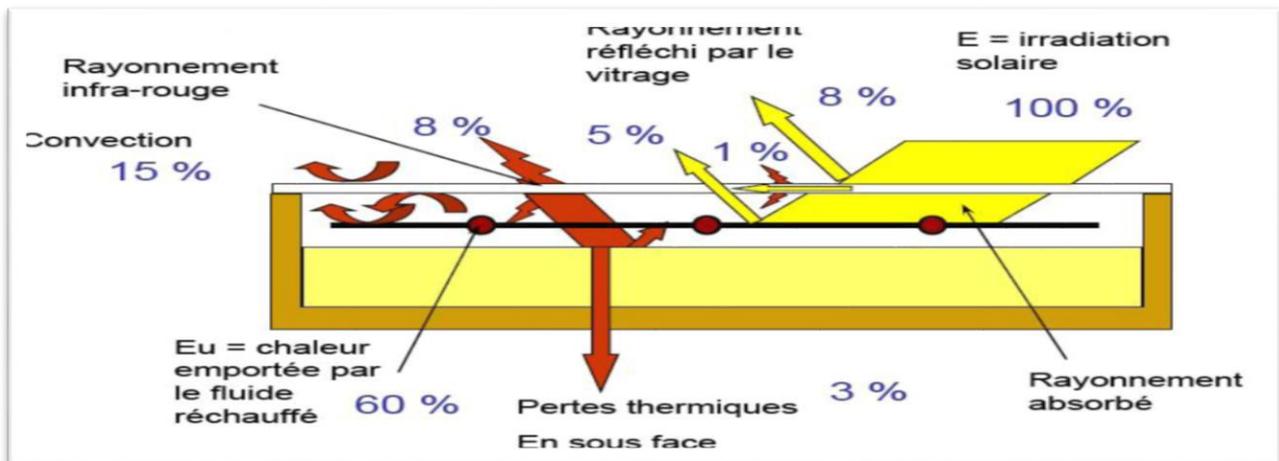


Figure I. 6: Principe de fonctionnement des capteurs plans vitrés [2].

I.5.3 capteurs a tubes sous vide :

Un capteur solaire "sous vide" (figure.I.7) est composé d'une série de tubes transparents en verre de 5 à 15 cm de diamètre. Dans chaque tube il y a un absorbeur pour capter le rayonnement solaire et un échangeur pour permettre le transfert de l'énergie thermique. Les tubes sont mis sous vide pour éviter les déperditions thermiques convectives de l'absorbeur, celui-ci reçoit un traitement sélectif pour empêcher le rayonnement.

Ainsi, on peut réaliser des capteurs solaires performants sans une isolation thermique ou un coffre de protection. La fabrication des tubes et l'assemblage des capteurs sont simplifiés, car il n'y a pas de soudures verre-métal. Par contre, les tubes thermos sont particulièrement fragiles au point de liaison avec le collecteur, où la partie extérieure et la partie intérieure de chaque tube se rejoignent. En général, la pression dans l'espace vide est inférieure à 1 Pa. Ainsi, les déperditions thermiques convectives de l'absorbeur sont quasiment éliminées.



Figure I. 7: capteurs à tube sous vide [6].

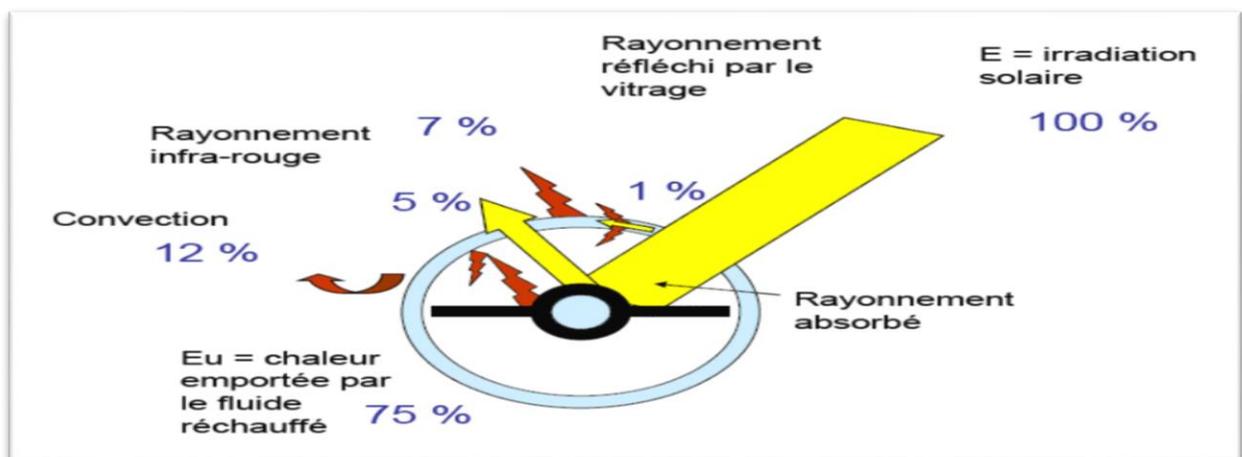


Figure I. 8 : Principe de fonctionnement des capteurs à tubes sous vide [2].

I.6. DOMAINE D'APPLICATIONS DES CAPTEURS SOLAIRES PLANS :

Plusieurs applications de l'énergie solaire captée par des capteurs solaires plans à air sont utilisées. Parmi les plus répandues [11] :

- ✓ Le chauffage.
- ✓ La climatisation.
- ✓ Le séchage.
- ✓ La production de l'énergie mécanique.

I.7. CONCLUSION :

Dans ce chapitre, les capteurs solaires ont été définis en général, et en particulier le principe de son travail a été identifié.

Nous avons fait référence à leurs types qui varient d'un à l'autre. Comme nous avons vu leurs domaines d'applications

Chapitre II :

Revue bibliographique Sur les capteurs solaires



CHAPITRE II : REVUES BIBLIOGRAPHIQUES SUR LES CAPTEURS SOLAIRES

II.1. INTRODUCTION :

La production de l'énergie thermique à partir de l'énergie solaire est aujourd'hui une des techniques les plus prometteuses pour répondre aux besoins énergétiques mondiaux.

Actuellement il y a plusieurs millions de mètre carré des capteurs et de systèmes solaires installés dans le monde utilisant les technologies les plus récentes.

La plus grande part de recherche est consacrée au développement des capteurs solaires du point de vue performance thermique en général tenant en compte de tous les paramètres qui influent sur leurs comportements, nous entendons ici les paramètres de conception (géométriques).

II.2. TRAVAUX REALISEES SUR LES CAPTEURS SOLAIRES A SEUL PASSE :

Yeh et Lin (1995)[12] ont étudié théoriquement et expérimentalement l'influence du rapport d'aspect « le rapport entre la longueur et la largeur du capteur solaire »(Figure 1). Ils ont trouvé qu'à une surface constante, le rendement thermique augmente avec l'augmentation du rapport d'aspect.

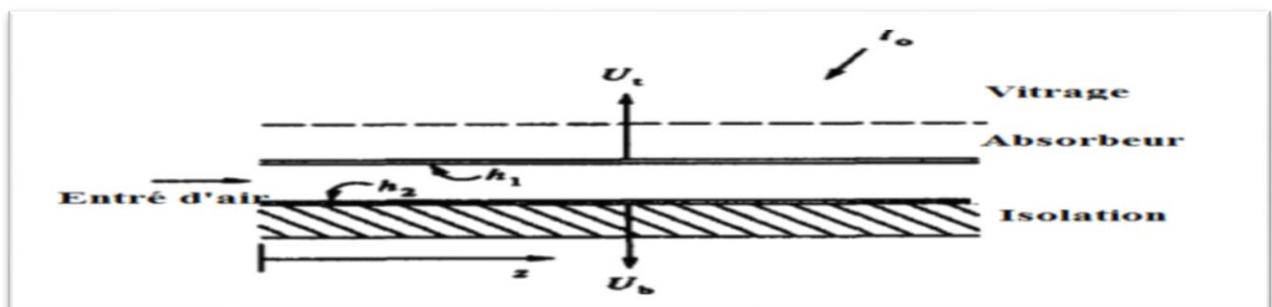


Figure II. 1 :Capteur solaire à air simple passe [12].

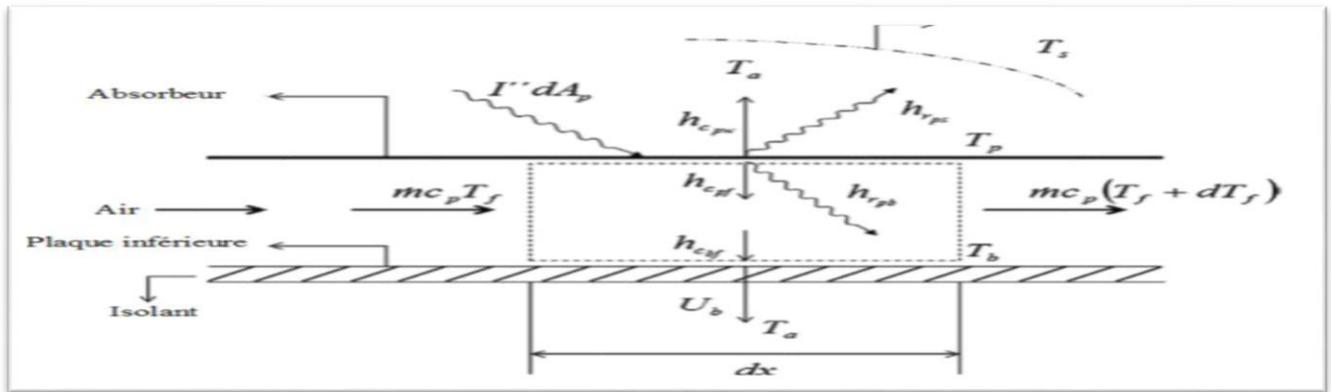


Figure II. 2 : Schéma de capteur solaire modélisé [13].

A. BENKHELIFA (1998) [14] 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.

F. MOUKHTARI et D. SEMMAR (1999), [2] 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 permettent d'appuyer l'analyse théorique, ils valorisent son capteur solaire à air, et pour une éventuelle utilisation de son capteur dans le séchage des produits agro-alimentaires.

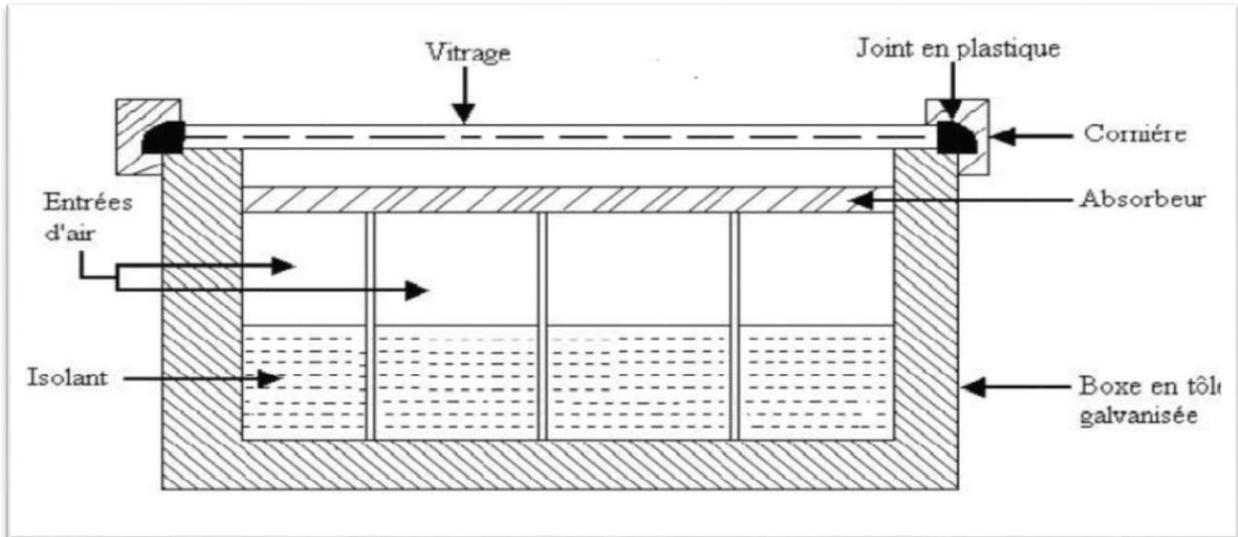


Figure II. 3: Coupe transversale du capteur à air

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

✚ Convection naturelle

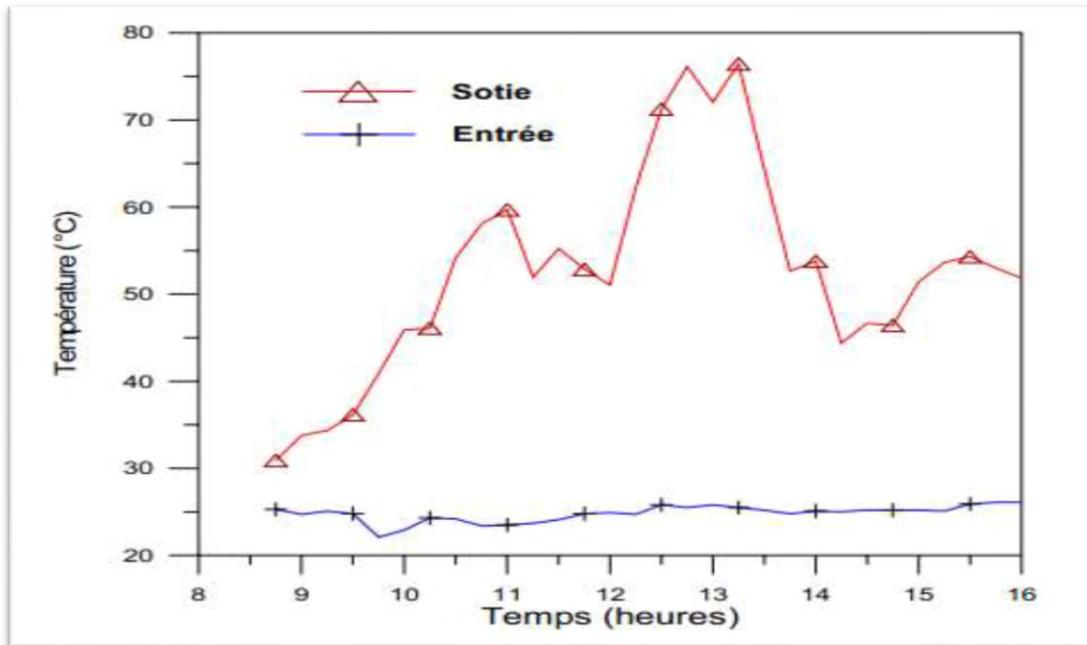


Figure II. 4: Profil de températures (T_{fs} / T_{fe}).

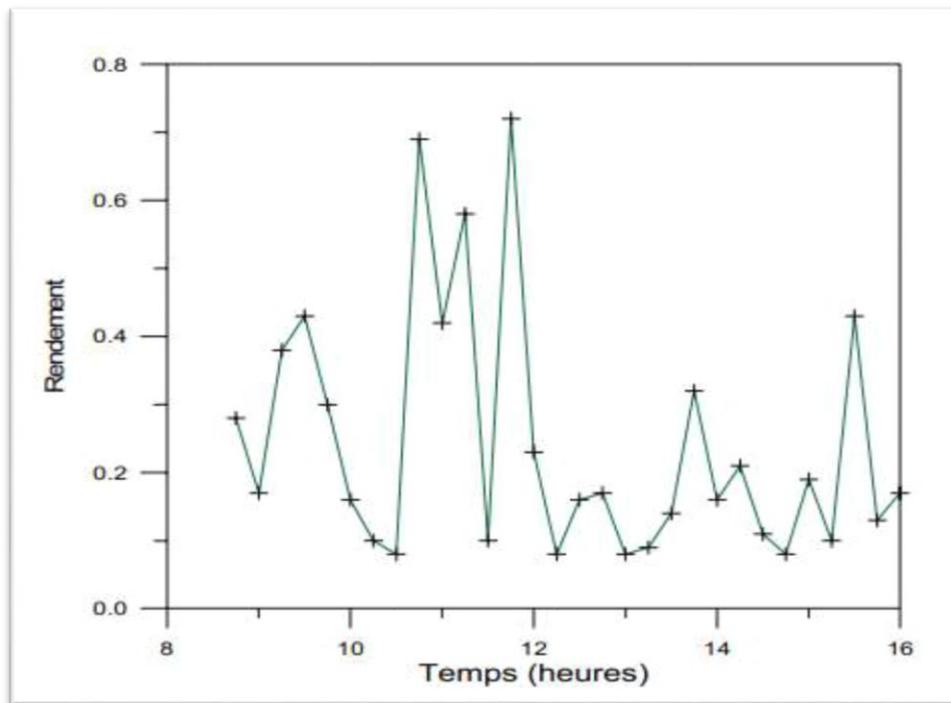


Figure II. 5: profil du rendement instantané.

✚ Convection Forcée

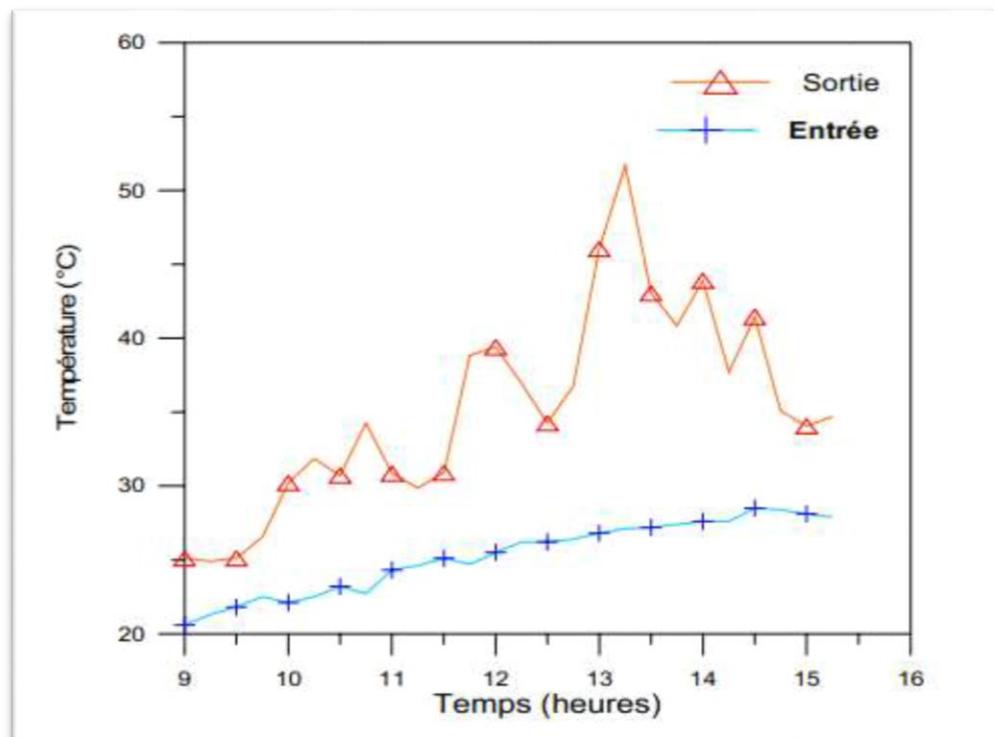


Figure II. 6: Profil de températures (T_s / T_e).

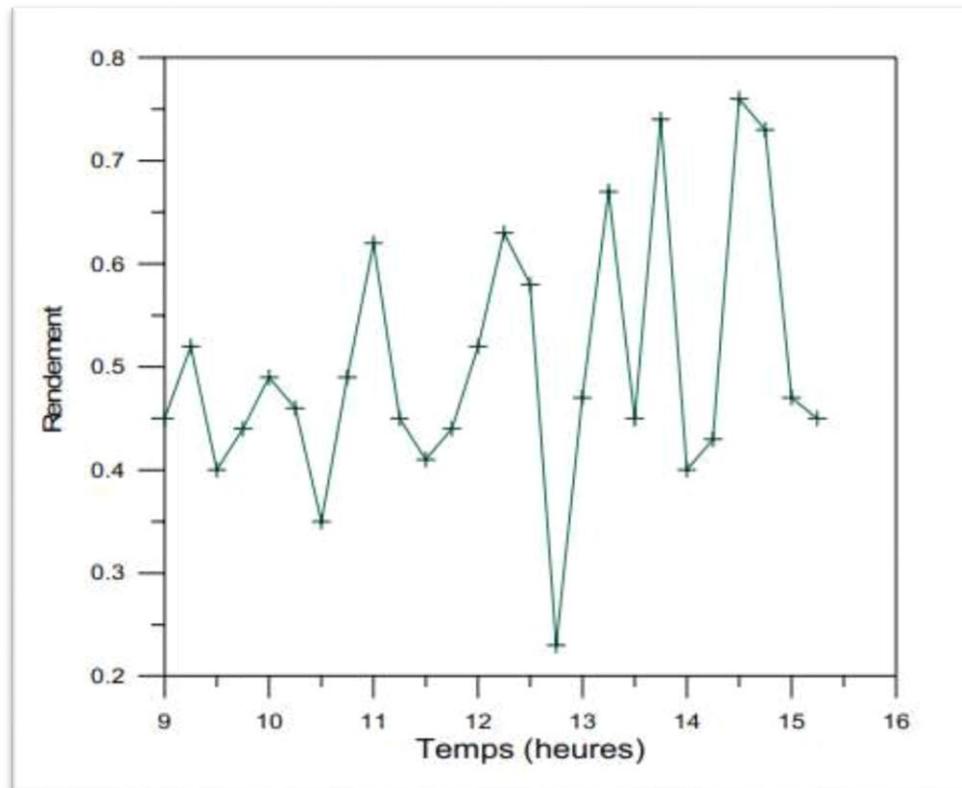


Figure II. 7: profil du rendement instantané.

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.

AHMED-ZAID et al(2001), [15] 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 amène à apporter des améliorations pour de meilleures performances ou une meilleure efficacité thermique. Ils ont introduit des chicane (obstacles) pour améliorer le couple rendement-écart de température du capteur.

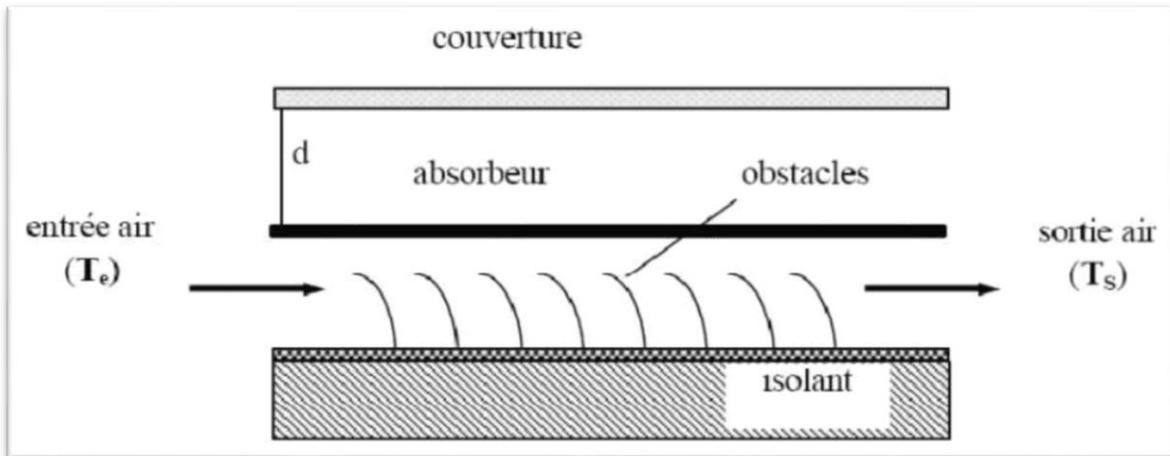


Figure II. 8: Le capteur solaire plan à air avec des chicanes (obstacles)[15].

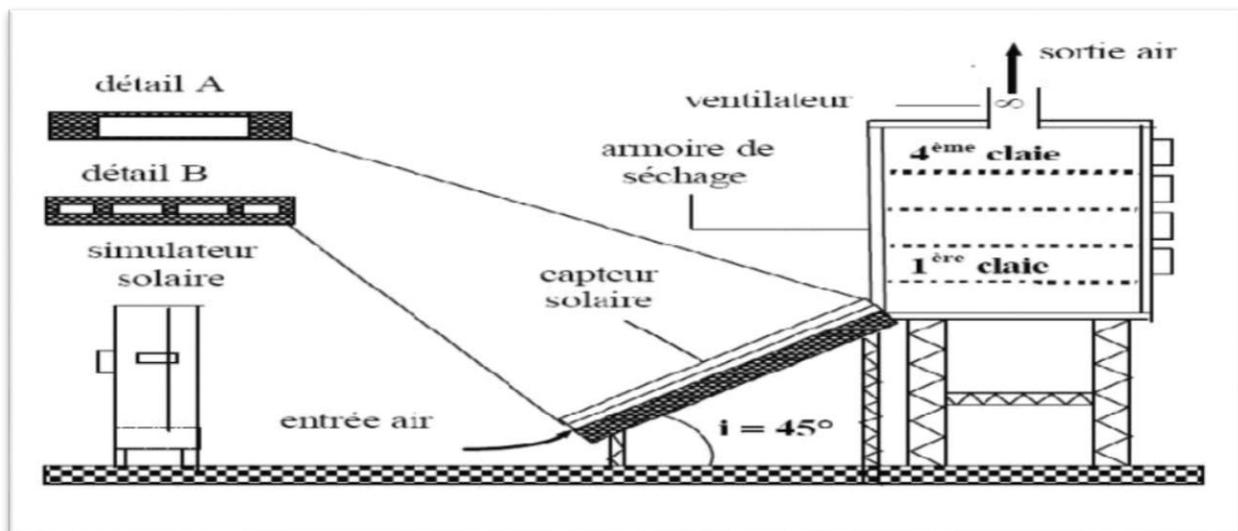


Figure II. 9: Installation expérimentale [15].

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.

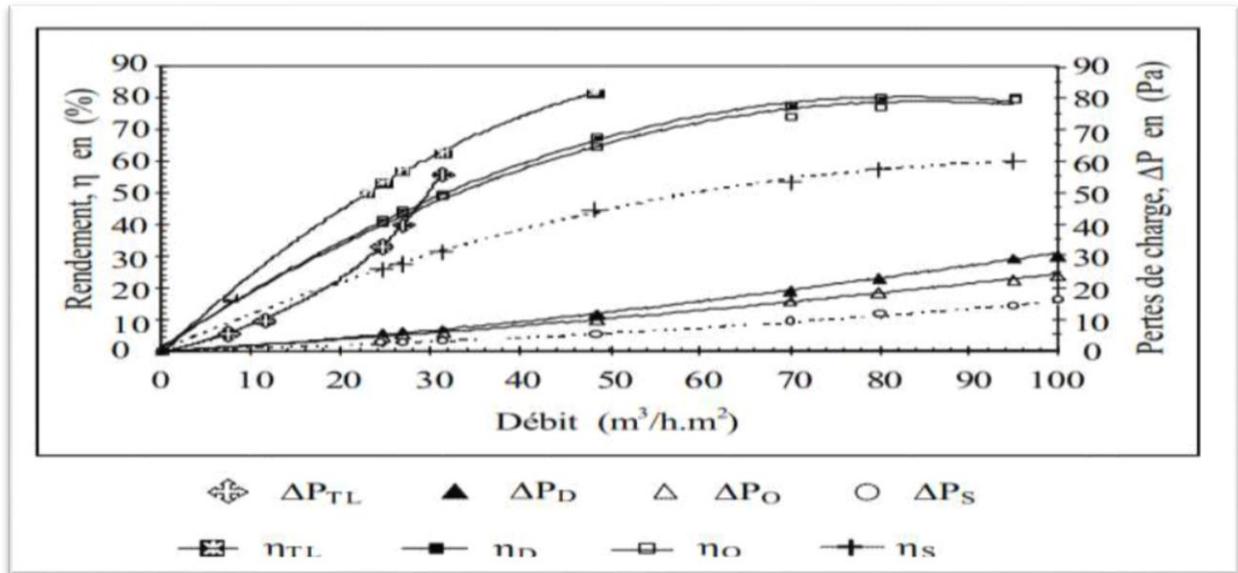


Figure II. 10: Variation du rendement et des pertes de charge en fonction du Débit pour des capteurs SC, Capteurs muni de DCL, OCL puis TL.

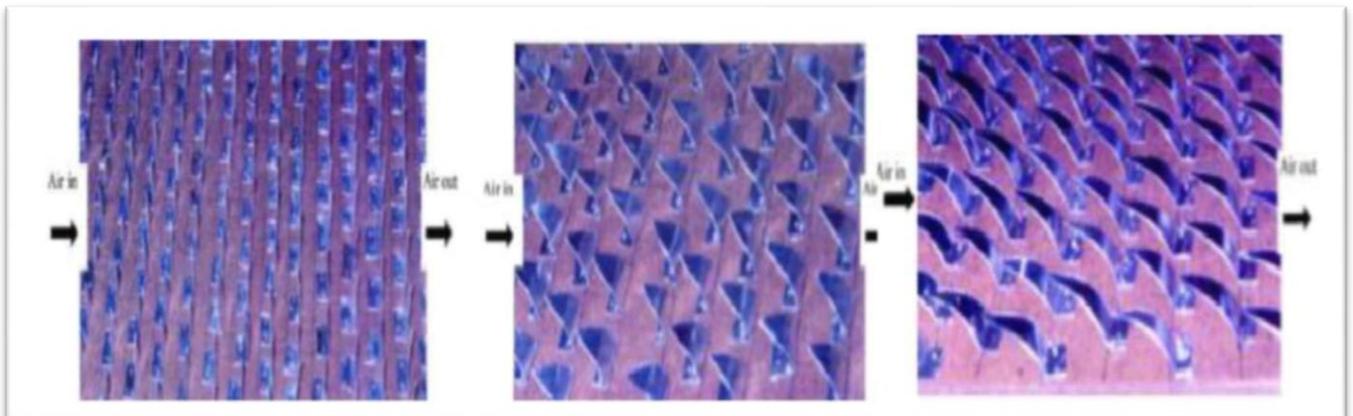


Figure II. 11 : Différentes formes des ailettes ajoutées à l'absorbeur pour améliorer l'efficacité de l'absorbeur

Moumni et al. (2004) [16] 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 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 chicanes 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.

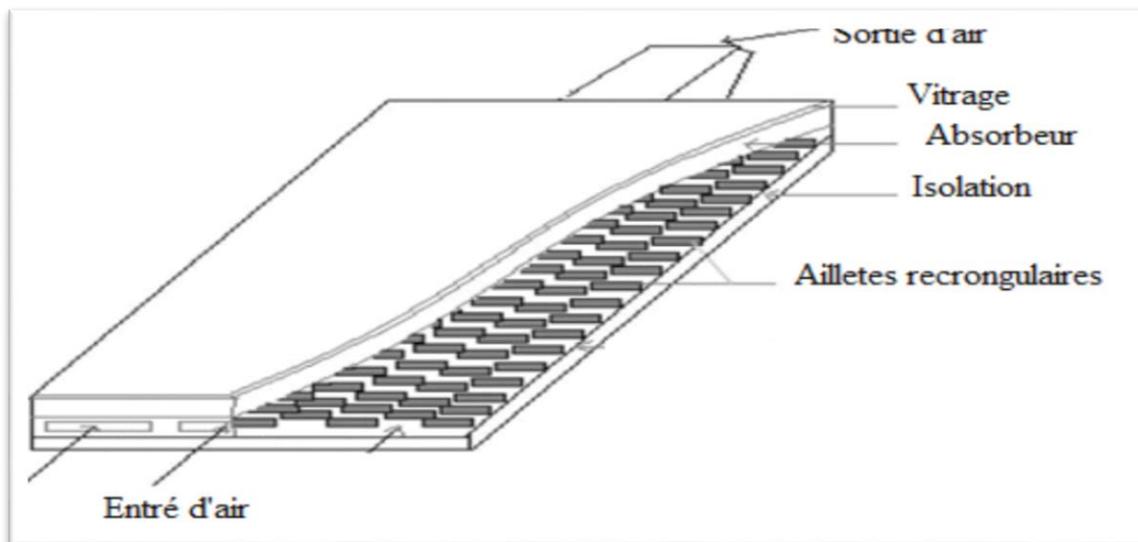


Figure II. 12: des obstacles rectangulaires perpendiculaires à l'écoulement [17].

L'évolution des profils de la température de l'air et de la plaque de l'absorbeur en présence des chicanes rectangulaires, montre que les valeurs enregistrées sont satisfaisantes par suite d'addition de plusieurs rangées de chicanes, ce qui a permis d'augmenter sensiblement la qualité du transfert de la chaleur, ces mêmes résultats obtenus sont comparées à ceux enregistrés avec un capteur muni d'un absorbeur sélectif, ou il ne représente pas d'améliorations remarquables par rapport à celui en présence de chicanes Figure. II.12. Par conséquent les pertes thermiques sont considérables, alors que si l'absorbeur est sélectif, les pertes sont relativement réduites et la différence des coefficients d'émission est dédommée par la présence des chicanes qui refroidissent l'absorbeur. Elle donne aussi une approche approximative sur le calcul du coefficient de transfert convectif dans le conduit utile de l'écoulement de l'air.

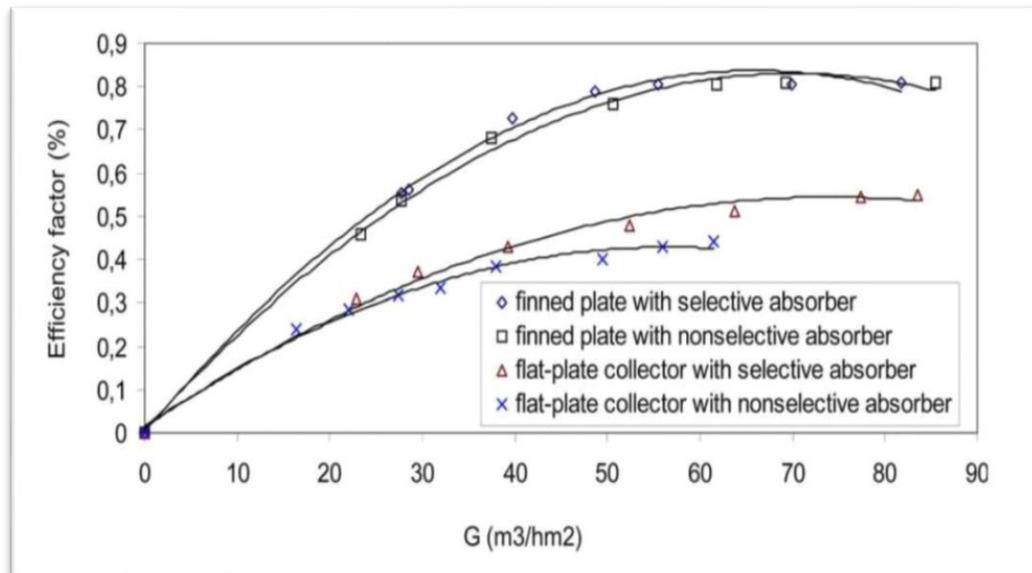


Figure II. 13: Evolution du rendement du capteur en fonction du débit volume de L'air pour les deux configurations de capteurs (avec chicane et absorbeur sélectif).

Labeled et al.(2009)[18, 19] 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 14). 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 chicanes. Les résultats sont comparés à ceux obtenus avec un capteur solaire à air sans chicanes. 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).

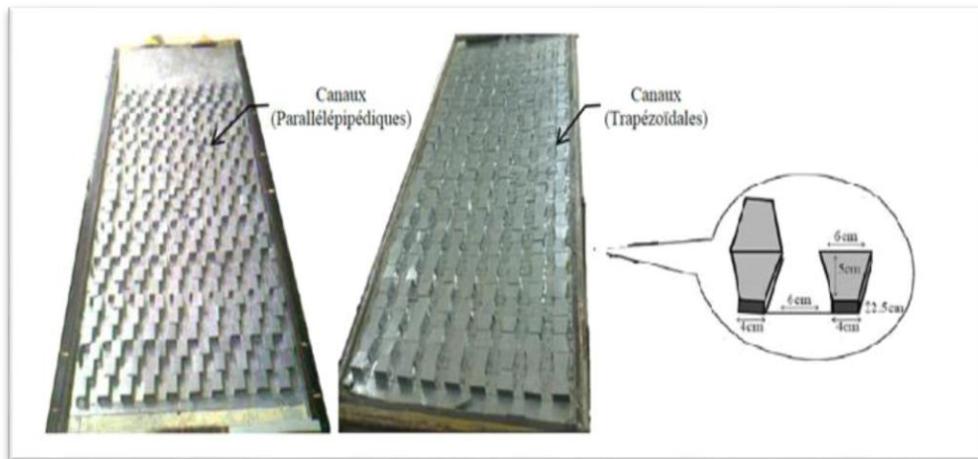


Figure II. 14 : Configuration des chicanes utilisées par Labeled et al.[18, 19].

La figure II.15 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.

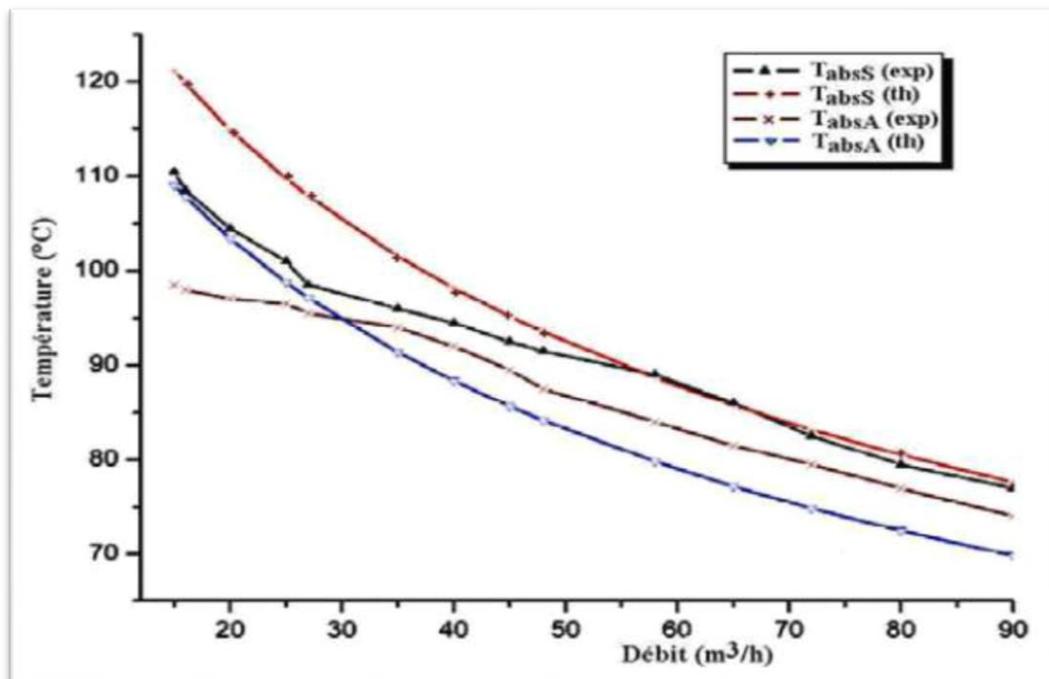


Figure II. 15: Evolution de la température de l'absorbeur en fonction du débit.

La figure II.16 traduit une comparaison entre les performances calculées pour le cas d'un capteur avec et sans chicanes 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.

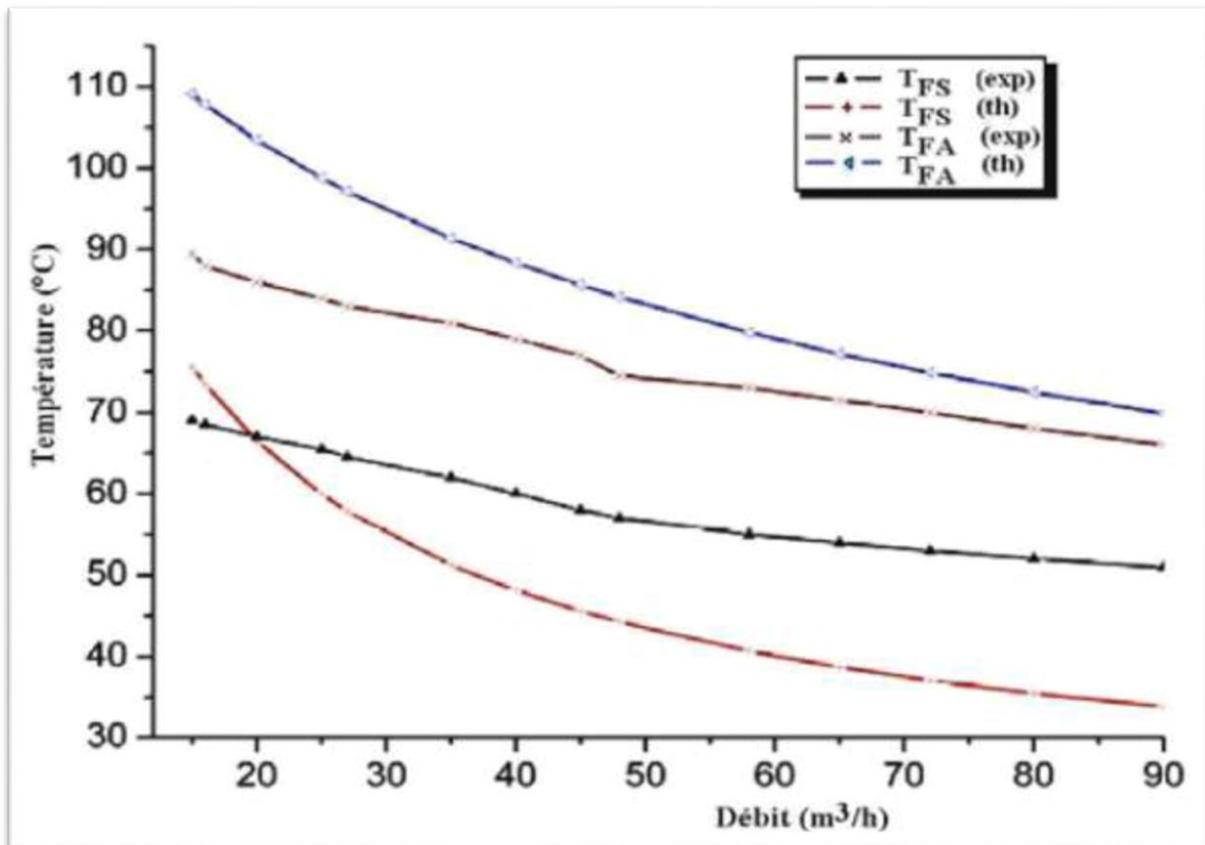


Figure II. 16: Evolution de la température de l'air à la sortie du capteur en Fonction du débit.

Le figure II.17 montrent l'évolution du rendement du capteur en fonction du débit pour les deux cas (avec et sans chicanes). On constate que le rendement augmente avec le débit et qu'une nette amélioration des performances est apportée par l'adjonction des chicanes.

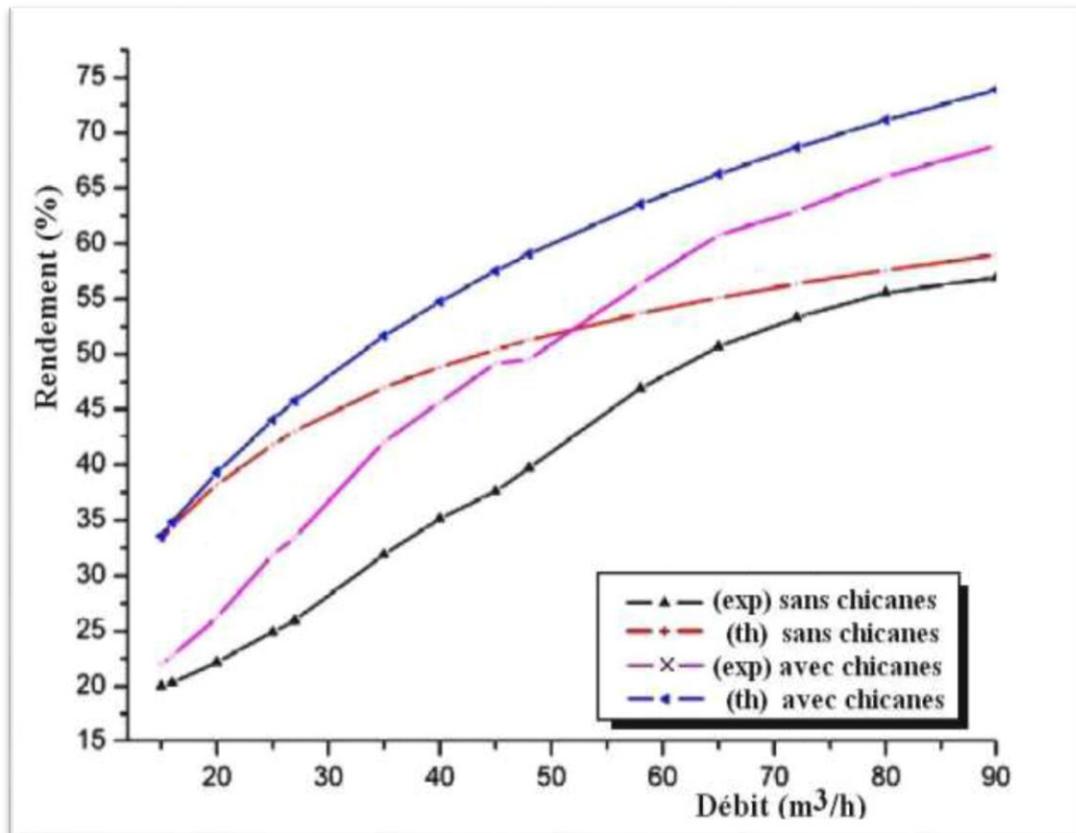


Figure II. 17: Evolution du rendement du capteur en fonction du débit.

Ce travail apporte une contribution à l'étude d'optimisation des performances des capteurs solaires plans à air qui constituent le deuxième volet des convertisseurs de l'énergie solaire.

Il ressort de l'étude menée, le rôle très favorable à l'augmentation de l'échange thermique du a la présence de ce type de chicanes placées dans la veine d'air utile.

Néanmoins il est certes que ces chicanes engendrent des pertes de charge par comparaison à un canal lisse.

II.3. TRAVAUX REALISEES SUR LES CAPTEURS SOLAIRES A DOUBLE 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.18)

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.

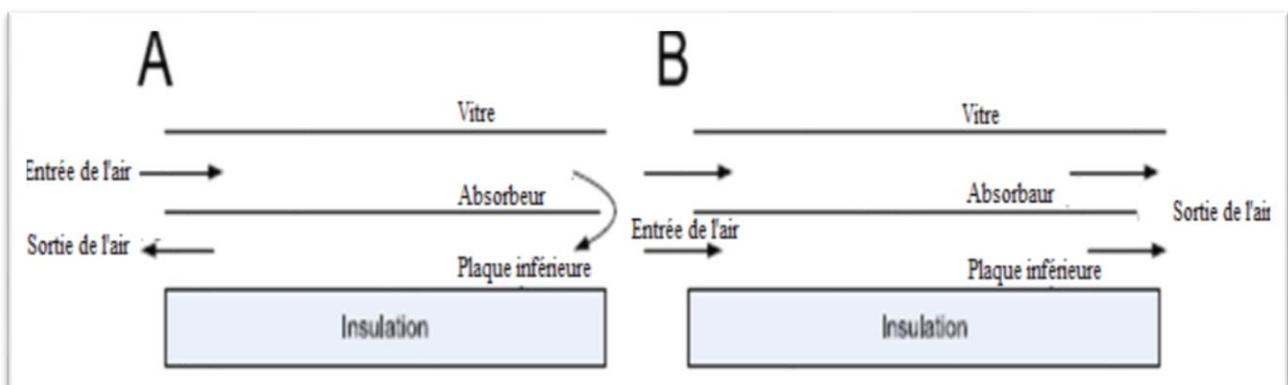


Figure II. 18 : Deux types de capteurs solaires à air à double passe selon la direction de l'écoulement.

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

A. ZERROUKI et al, [20] 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.

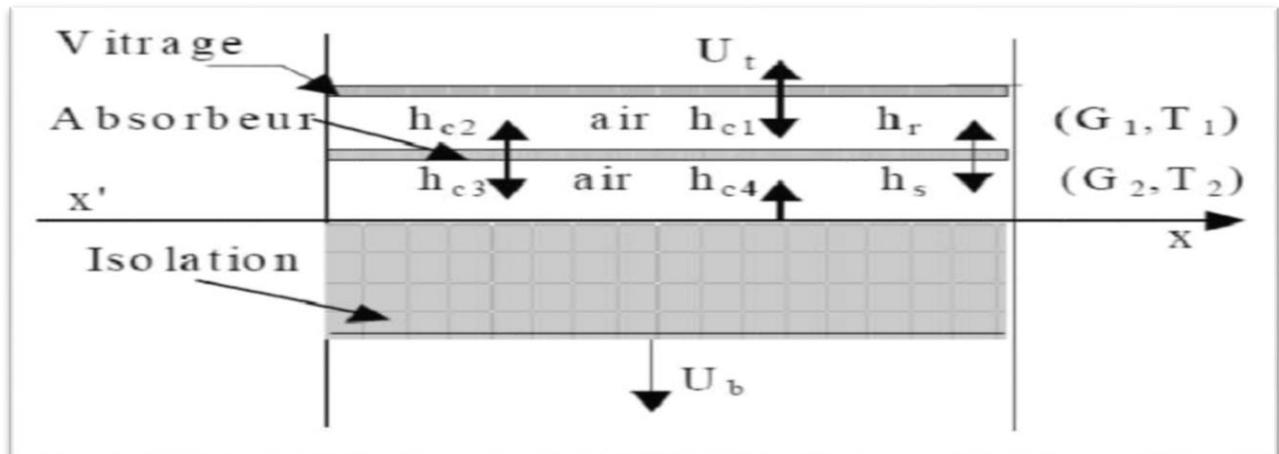


Figure II. 19: Schéma d'un élément du capteur.

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.

Le concept de capteurs solaires à air à double passage a été étudié pour la première fois par **Satcuna-Nathan et Deonarine(1973)** [21] et plus tard il a été considéré par **Caouris et al. (1978)** [22]. Ces chercheurs ont mené des expériences sur la conception des capteurs solaire à double passe double passe avec l'écoulement d'air dans deux canaux différents. Les pertes thermiques des couvercles peuvent être réduites en utilisant ses systèmes. Un modèle de transfert de chaleur a été développé et analysé par **Wijeysundera et al. (1982)** [23] et a comparé les résultats avec le panneau solaire 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 passe était meilleure que la performance des systèmes simple passe. Ils ont également constaté que la température de la vitre extérieur était proche de la température ambiante par rapport au système d'une seule vitre la géométrie étudié est représenté sur la (figure 20).

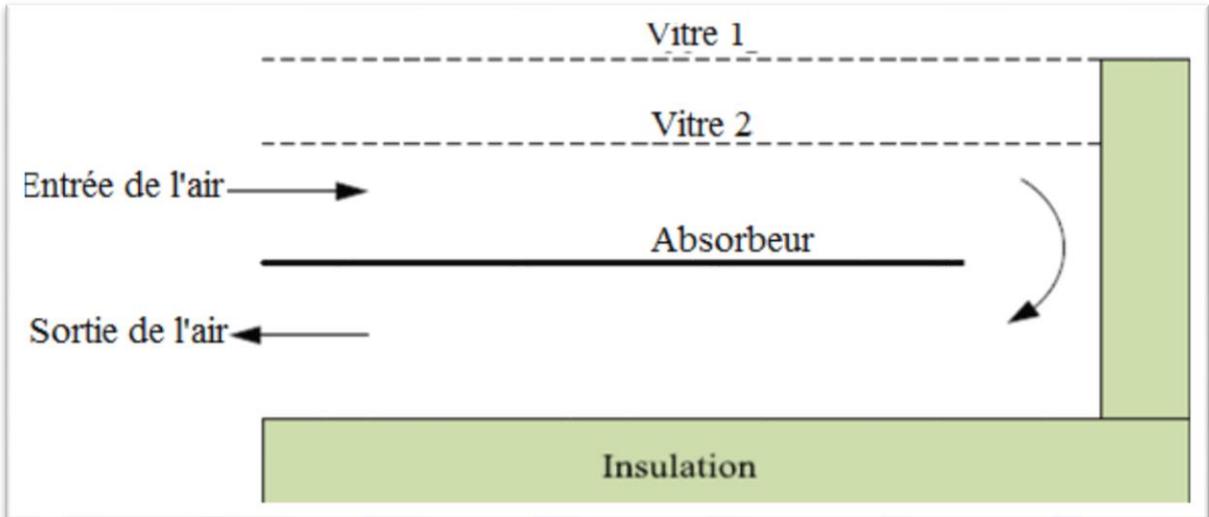


Figure II. 20 : représentatif de capteur étudié (écoulement contre-courant)[23].

K. SOPIAN et al (1999) [24] ont présente une étude expérimentale du rendement thermique d'un capteur solaire a doubles passes sans et avec milieu poreux placé dans le deuxième canal.

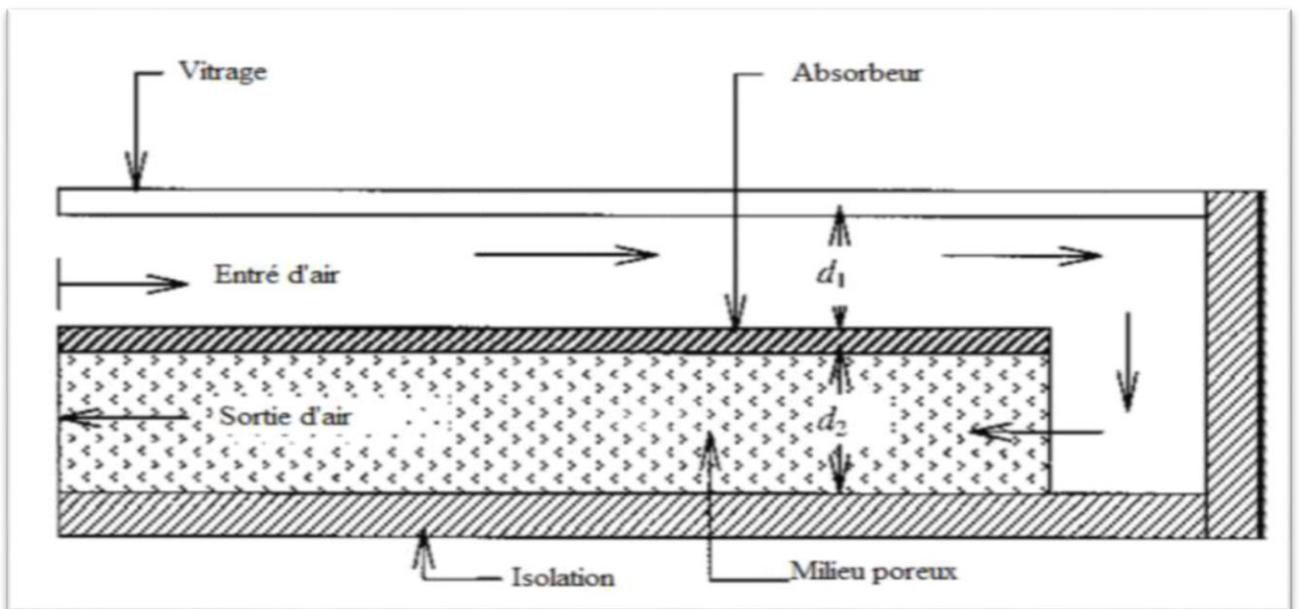


Figure II. 21: capteur solaire thermique à double passe avec des Milieux Poreux dans le deuxième canal.

Ils ont étudié l'effet du changement de la profondeur du canal supérieure et inférieure avec et sans milieu poreux sur le rendement thermique, ainsi que les effets du débit d'air, et

de rayonnement solaire. Ils ont trouvé que, la présence du milieu poreux augmente la surface de transfert thermique d'où l'augmentation de la température de sortie, et que le capteur solaire a doublé passes à des performances thermiques plus élevées que celles à une seule passe. Le rendement thermique d'un capteur solaire à double passes avec un milieu poreux est de l'environ de 60-70 %, c'est-à-dire 20-70 % plus haut que le capteur sans milieu poreux.

AHMAD FUDHOLI et al [25] 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 amenée 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.

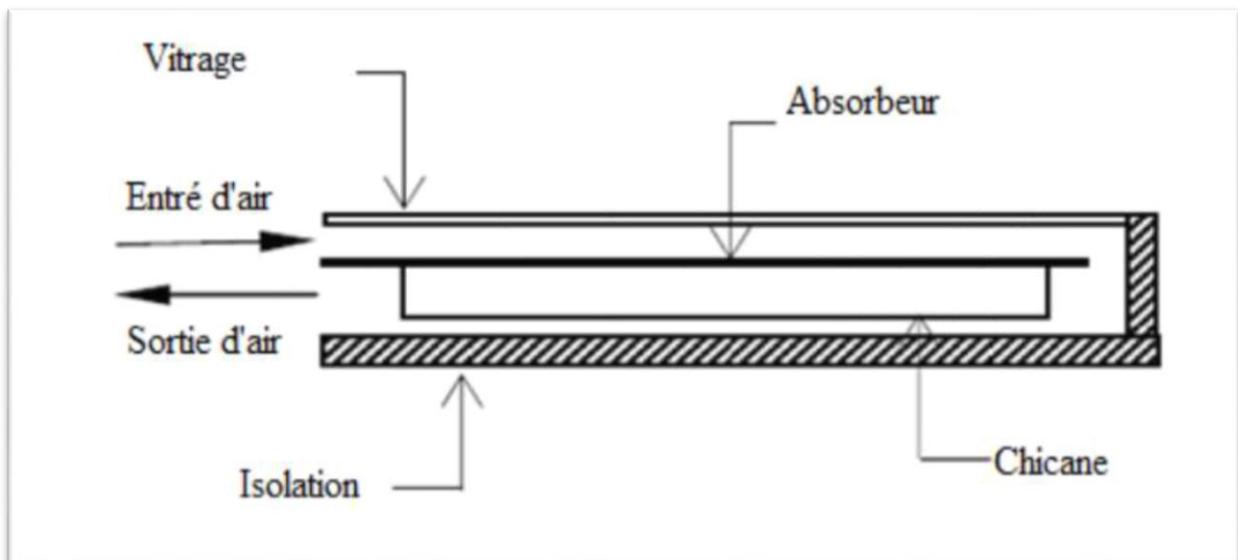


Figure II. 22: Capteur solaire à air à double passe avec des ailettes placées dans le Deuxième canal.

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-23, et cette dernière décroît linéairement lorsque le rapport

$(T_o - T_a)/I$ augmente (Figure. I-19), 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**.

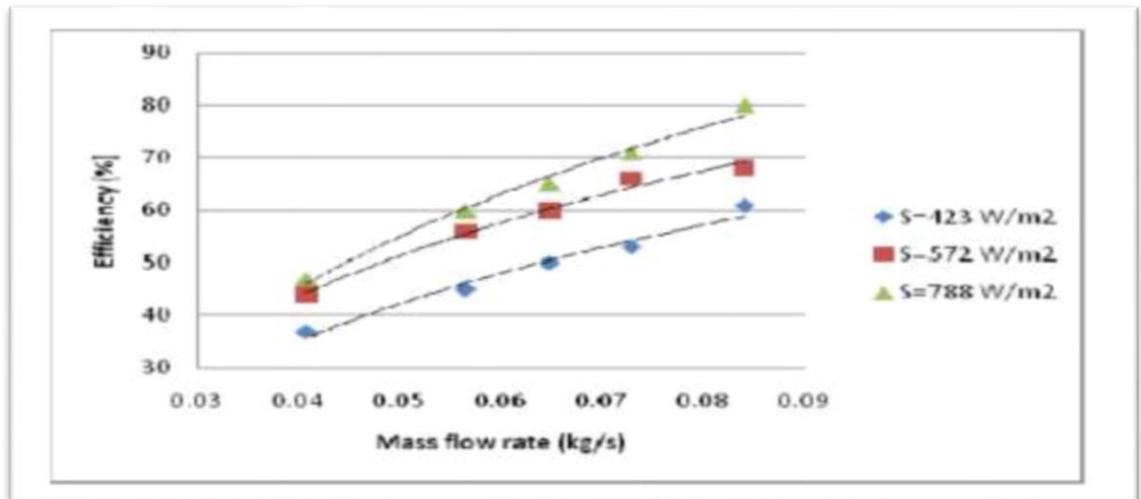


Figure II. 23: Effet du rayonnement solaire sur le débit massique et l'efficacité.

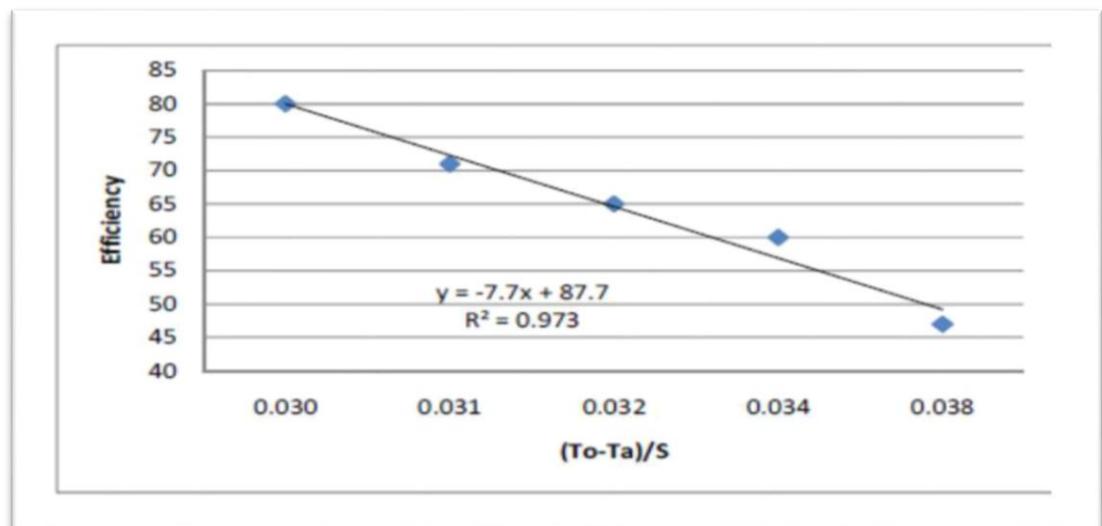


Figure II. 24 : Variation du rendement thermique en fonction du rapport $(T_o - T_a)/S$

Ramdan et al. (2007) [26] 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 25). Ils ont trouvé que le rendement thermique augmente avec l'augmentation de débit massique jusqu'à une valeur typique de 0.05Kg/s au-delà de laquelle l'augmentation de rendement thermique devient insignifiante.

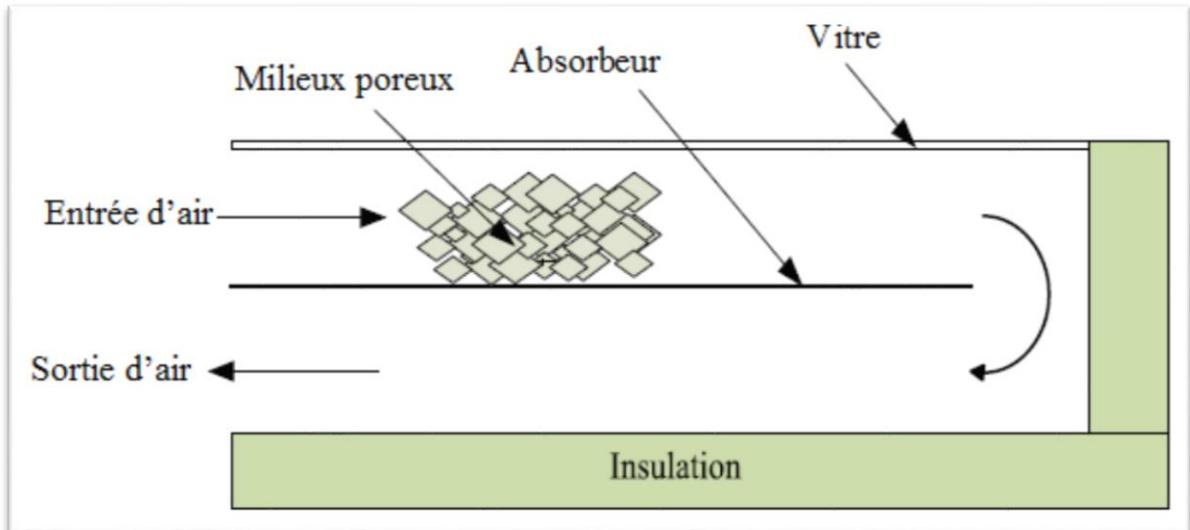


Figure II. 25 : capteur solaire à air à double passe avec milieux poreux [26].

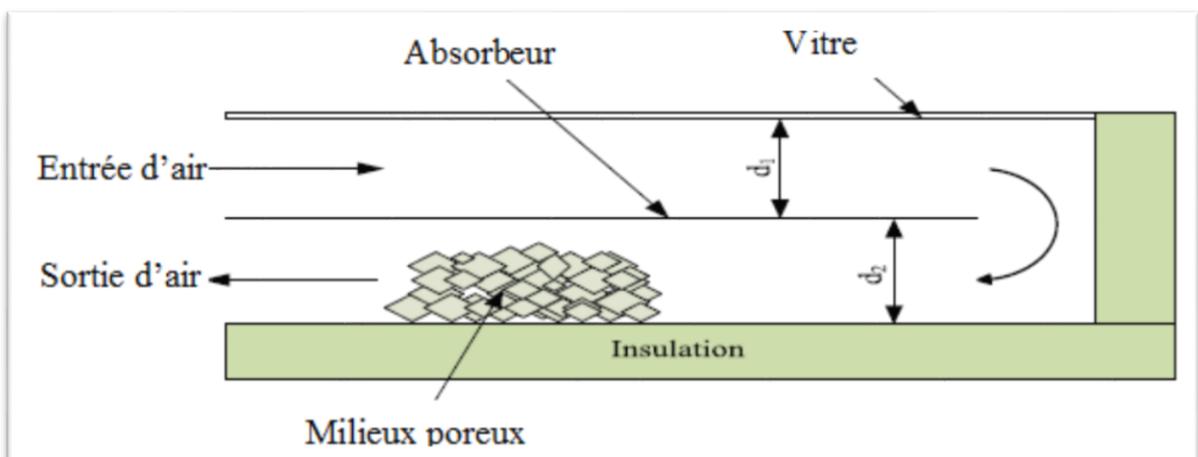


Figure II. 26 : capteur solaire à air à double passe avec milieux poreux [27].

Sopian et al. (2009) [27] ont étudié l'évaluation de rendement thermique des capteurs solaires à air à double passe avec et sans milieu poreux (figure 26). 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 solaire 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%.

RAKESH KUMAR et **MARC A. ROSEN (2011)[28]** 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 la cellule, 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.

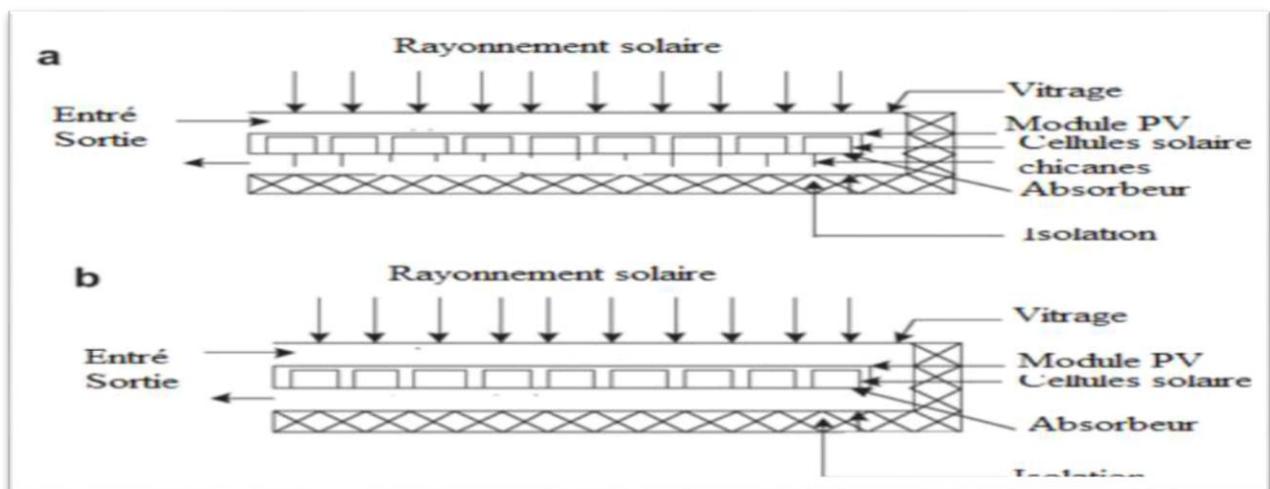


Figure II. 27 : Capteur solaire à double passe : (a) avec ailettes, (b) sans ailettes.

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 d'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)[29] 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.

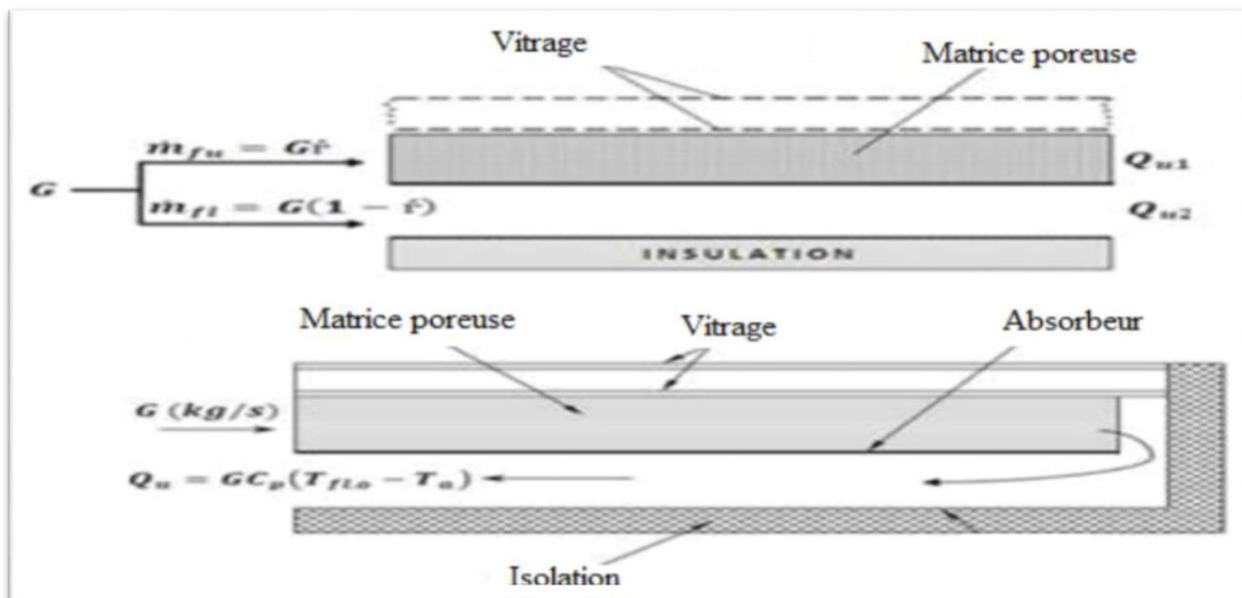


Figure II. 28 : Diagramme schématique du capteur solaire à double passe représentant le débit massique différentiel

CHII-DONG HO et al (2012),[30] 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.

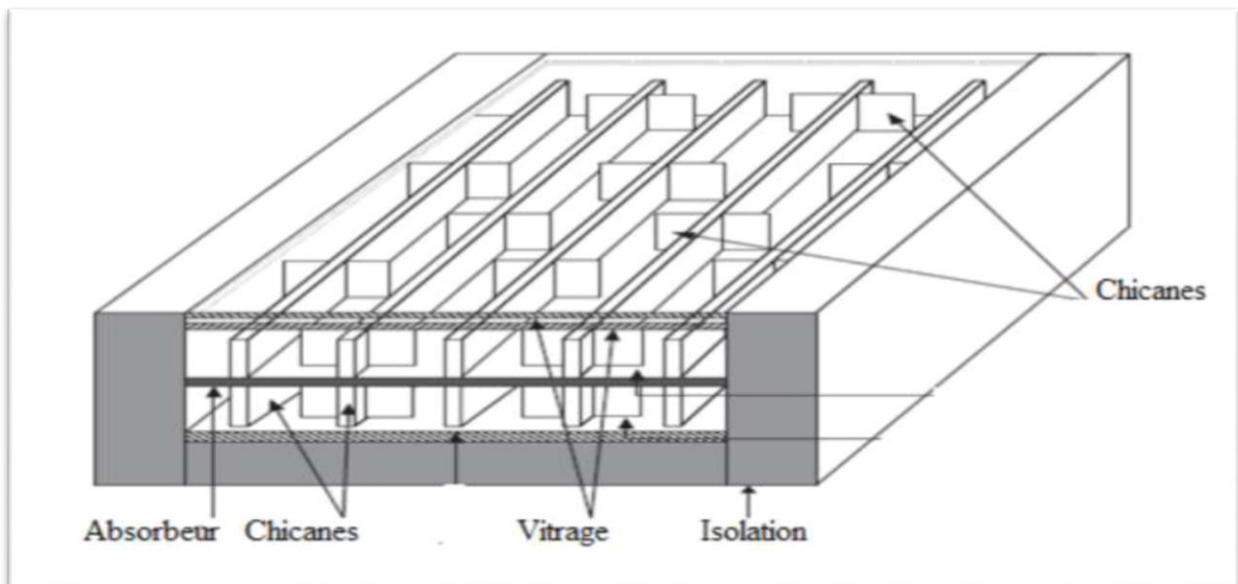


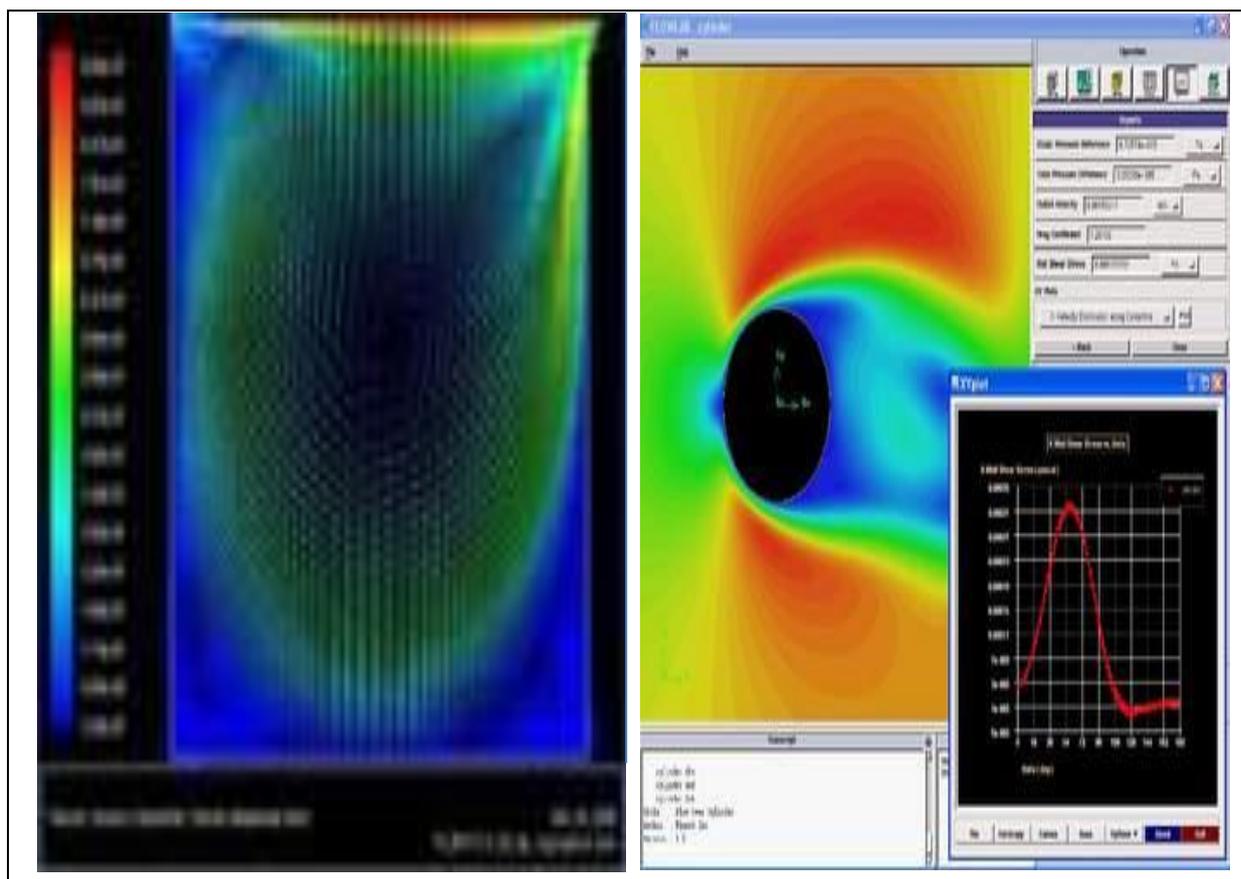
Figure II. 29: capteur solaire a air à double passe avec des Ailettes plus confus.

II.4. CONCLUSION :

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

Chapitre III :

Méthodes numériques et présentation du code
Fluent



CHAPITRE III : METHODES NUMERIQUES ET PRESENTATION DU CODE FLUENT

III.1. INTRODUCTION :

Dans ce travail nous allons faire une simulation numérique d'un écoulement d'air incompressible en 2D dans un capteur solaire plan à double passe. 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 mailleur 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. METHODES NUMERIQUES :

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 finis :

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.

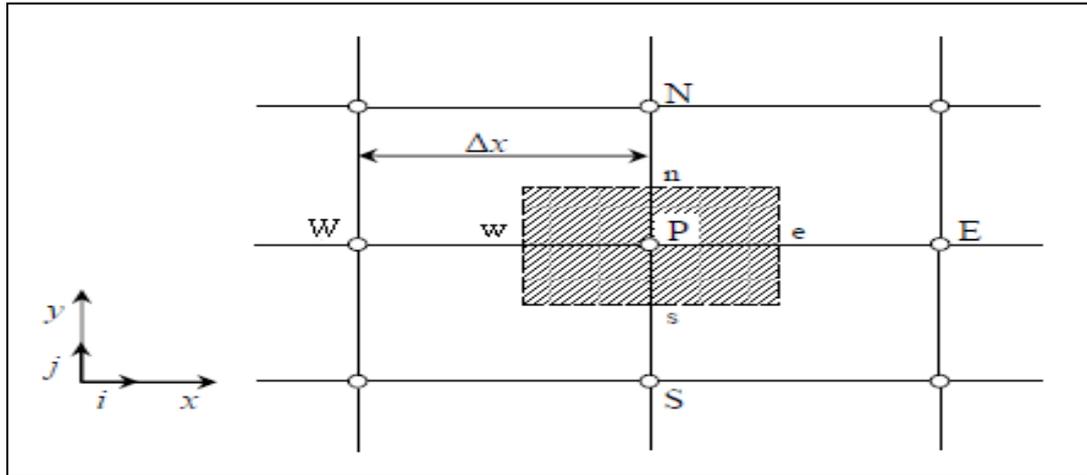


Figure III. 1 : Volume de contrôle bidimensionnel.

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 points e et w dans la direction x, n et s dans la direction y. [31]

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

$$\underbrace{\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi)}_{\mathbf{T}} + \underbrace{\sum_{j=1} \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \phi)}_{\mathbf{C}} = \underbrace{\sum_{j=1} \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma \phi \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \right)}_{\mathbf{D}} + \underbrace{S_\phi}_{\mathbf{S}} \tag{III.1}$$

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 [31]:

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

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 [30]:

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

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

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

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

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

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

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

Les quantités à e, w, n et s des Interfaces 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. [32]

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. [31]

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. [31]

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 :

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

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. [32].

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. [32].

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:

Tableau III. 1 : Récapitulatif des équations régissant l'écoulement [32]

| | |
|--|--|
| Conservation de la masse | $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \cdot \vec{V}) = 0$ |
| Quantité de mouvement (Navier-stokes) | $\frac{D}{Dt}(\rho \cdot \vec{V}) = \rho \vec{F} - \text{grad}(p) + \eta \Delta \vec{V} + \frac{1}{3} \eta \text{grad} \left[\text{div}(\vec{V}) \right]$ |
| Energies | $\frac{D}{Dt}(\rho c_p T) = \Delta(k T) + q + \beta T \frac{Dp}{Dt} + \eta \phi$ |

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. [32]

Remarque: Dans ce travail nous avons trouvé que le Nombre de Reynolds est

$$\text{Re} = \frac{\rho V D}{\nu_t}, \text{ Re} > 3361.344 \text{ (écoulement turbulent).}$$

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 [33].

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

III.2.4.1 Modèle (k- ε) :

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- 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 :

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

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

$$\varepsilon = \nu \left[\frac{\partial u'}{\partial x_j} \right]^2 \tag{III.18}$$

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 :

$$\varepsilon = k^{3/2} / l \tag{III.19}$$

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 :

$$\underbrace{\frac{\partial k}{\partial t} + \overline{U_j} \frac{\partial k}{\partial x_j}}_{(1)} = \underbrace{V_t \left(\frac{\partial u_l}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_l} \right) \frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j}}_{(2)} + \underbrace{\frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(\frac{\nu}{\sigma_{k,l}} + \frac{V_t}{\sigma_{k,t}} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right)}_{(3)} - \underbrace{\varepsilon}_{(4)} \tag{III.20}$$

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

$$\underbrace{\frac{\partial}{\partial x_j} + \overline{u_j} \frac{\partial}{\partial x_j}}_{(1)} = \underbrace{C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{K} V_t \left(\frac{\partial \overline{u_l}}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{u_l}}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{u_l}}{\partial x_j} \right) \frac{\partial \overline{u_l}}{\partial x_j}}_{(2)} + \underbrace{\frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{V}{\sigma_\varepsilon} + \frac{V_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right]}_{(3)} - \underbrace{C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{K}}_{(4)} \quad (\text{III.21})$$

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- ε) :

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 :

Tableau III. 2 : Coefficients du modèle K- S standard [33]

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

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) :

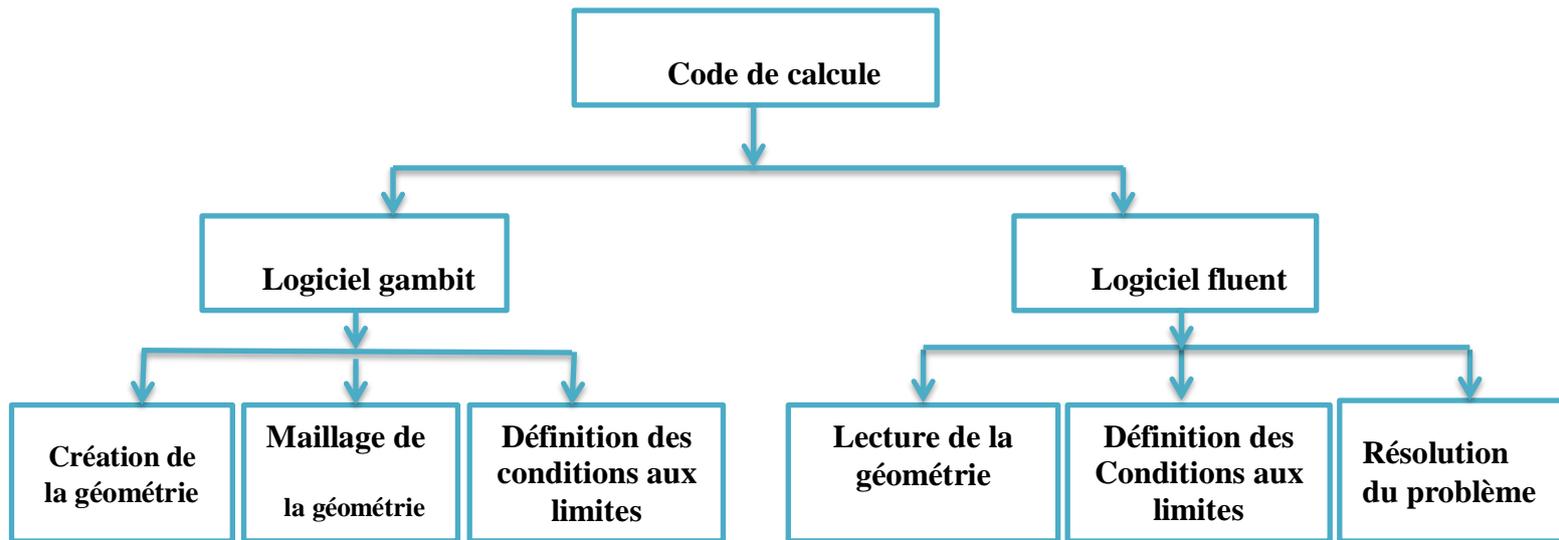


Figure III. 2 : Schémas des étapes à utiliser pour la simulation sur ces logiciels Gambit et Fluent. [31]

III.3.3 Domaine d'étude (géométrie):

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. L'air circule d'abord dans la conduite supérieure avec un débit d'entrée et passe ensuite dans la conduite inférieure dans le sens inverse de l'écoulement.

Dans cette étude nous avons échangé le type de l'absorbeur en prenant trois matériaux différentes.

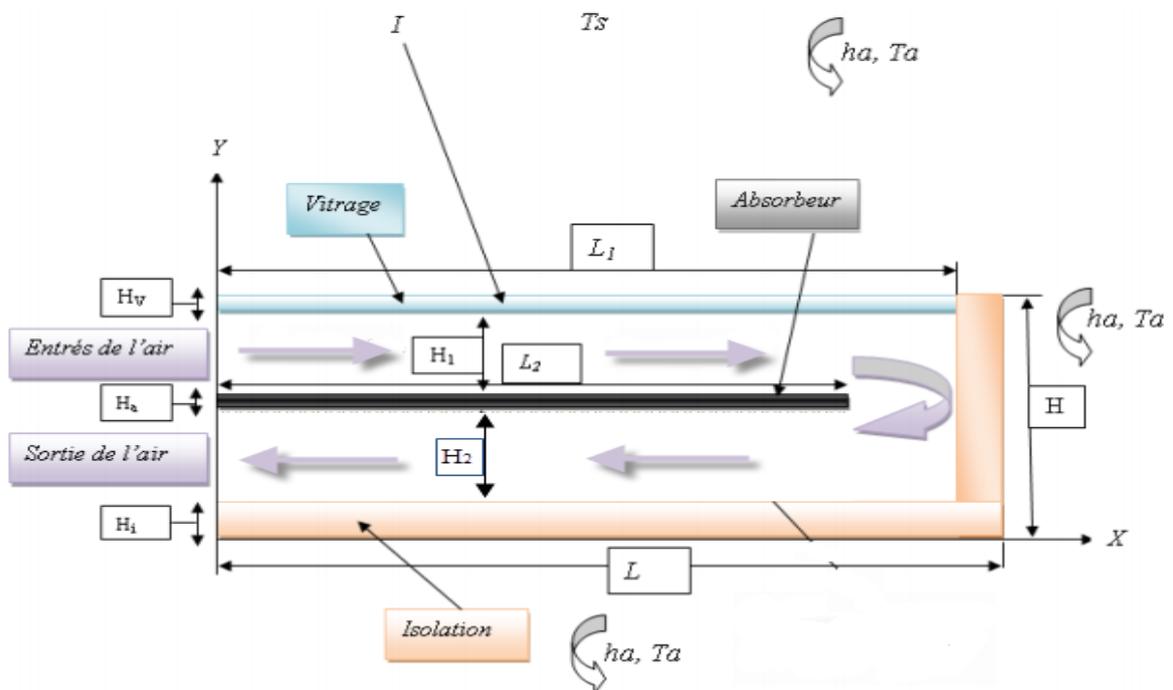


Figure III. 3 : Schéma d'un capteur solaire à air à double passe

Les dimensions géométriques du problème étudié sont basées sur les données expérimentales publiées par SOPIAN et AL[24].

Tableau III. 3 : Dimensions géométriques du capteur solaire

| Dimension | Symboles | Valeurs | Unités |
|---------------------------------|----------------|---------|--------|
| Longueur du capteur | L | 2.4 | m |
| Hauteur de la première conduite | H ₁ | 0.06 | m |
| Hauteur de la deuxième conduite | H ₂ | 0.06 | m |
| Epaisseur de l'absorbeur | H _a | 0.001 | m |
| Longueur de l'absorbeur | L ₂ | 2.2 | m |
| Epaisseur du vitrage | H _v | 0.003 | m |
| Longueur du vitrage | L ₁ | 2.2 | m |
| Epaisseur de l'isolation | H _i | 0.05 | m |

Tableau III. 4 : les différentes propriétés du matériau

| Matériau | Chaleur massique $C_p = (j / kg.k)$ | 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 |

III.3.4 Étapes 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.

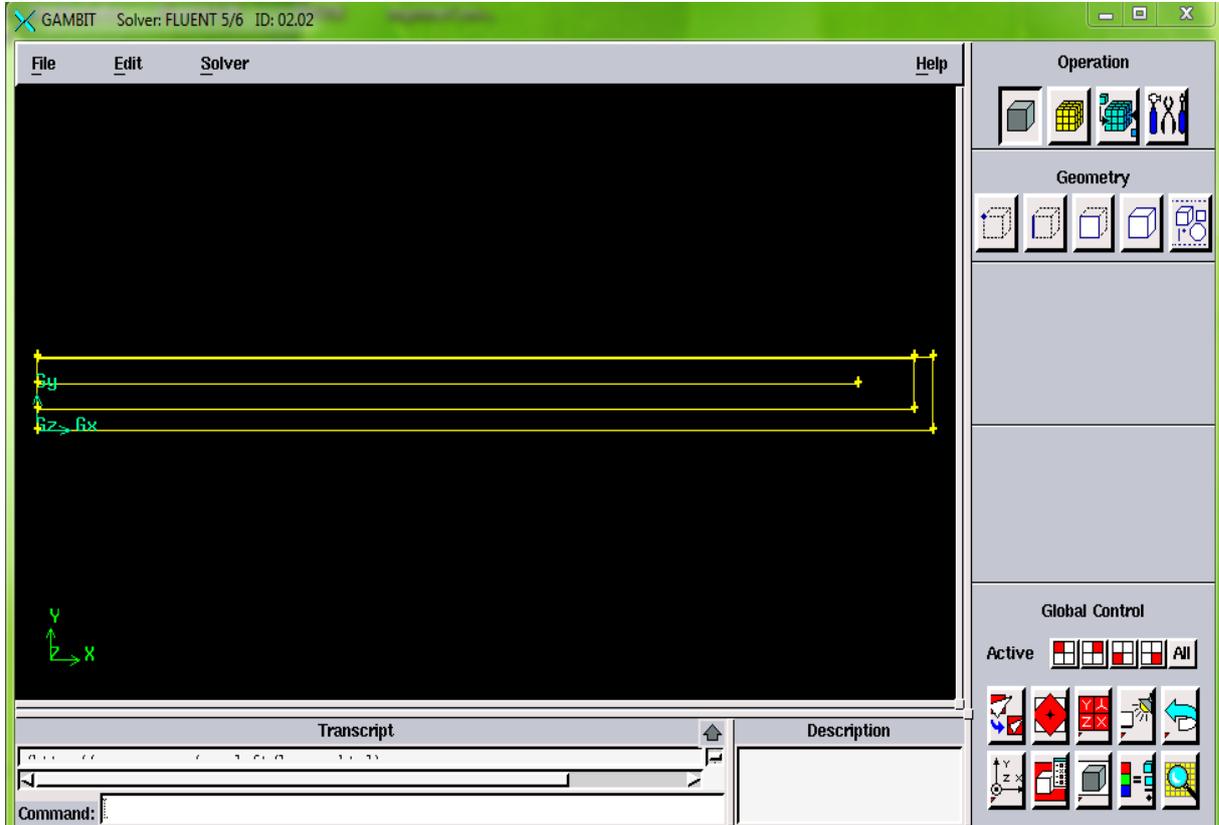


Figure III. 5 : Création du Capteur Solaire plan à double passe

Maillage de la géométrie

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

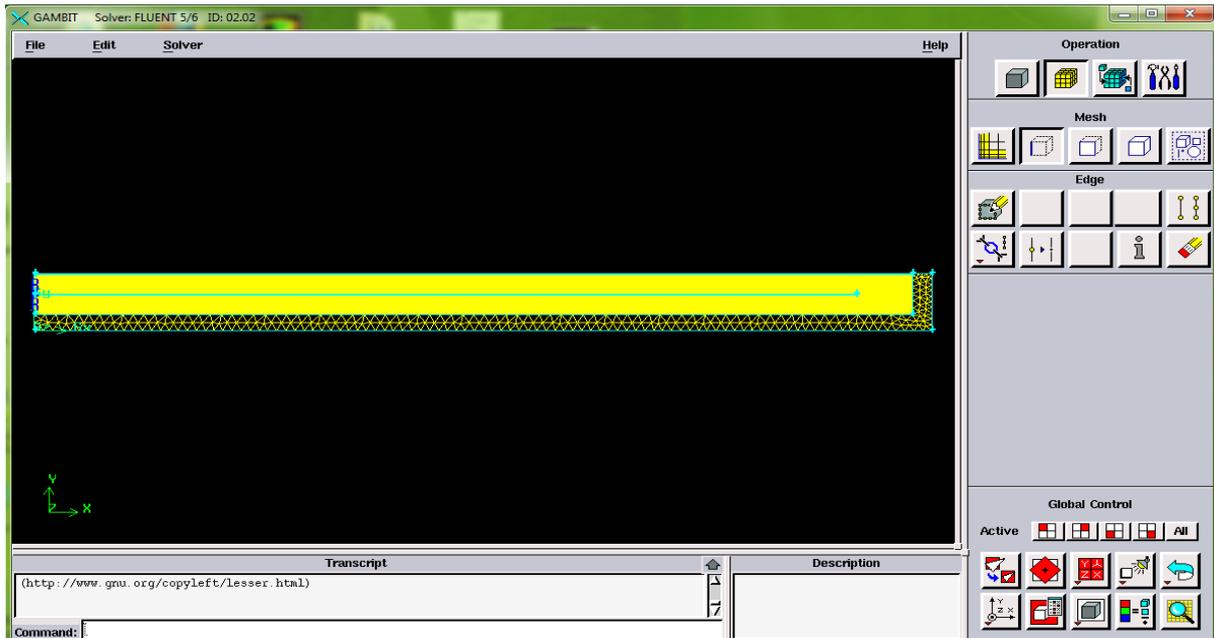


Figure III. 6 : Maillage de géométrie

Conditions aux limites

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

Tableau III. 5 : Conditions aux limites

| Ede, Face | Types de limites | Type |
|--------------|------------------|--------------------|
| longueurs HJ | Enter | Vitesse d'entrée |
| longueurs MF | Sortie | Pression de sortie |
| longueurs FA | Isolation | mur |
| longueurs ID | Glass | mur |
| Longueurs MJ | Absorbeur | mur |

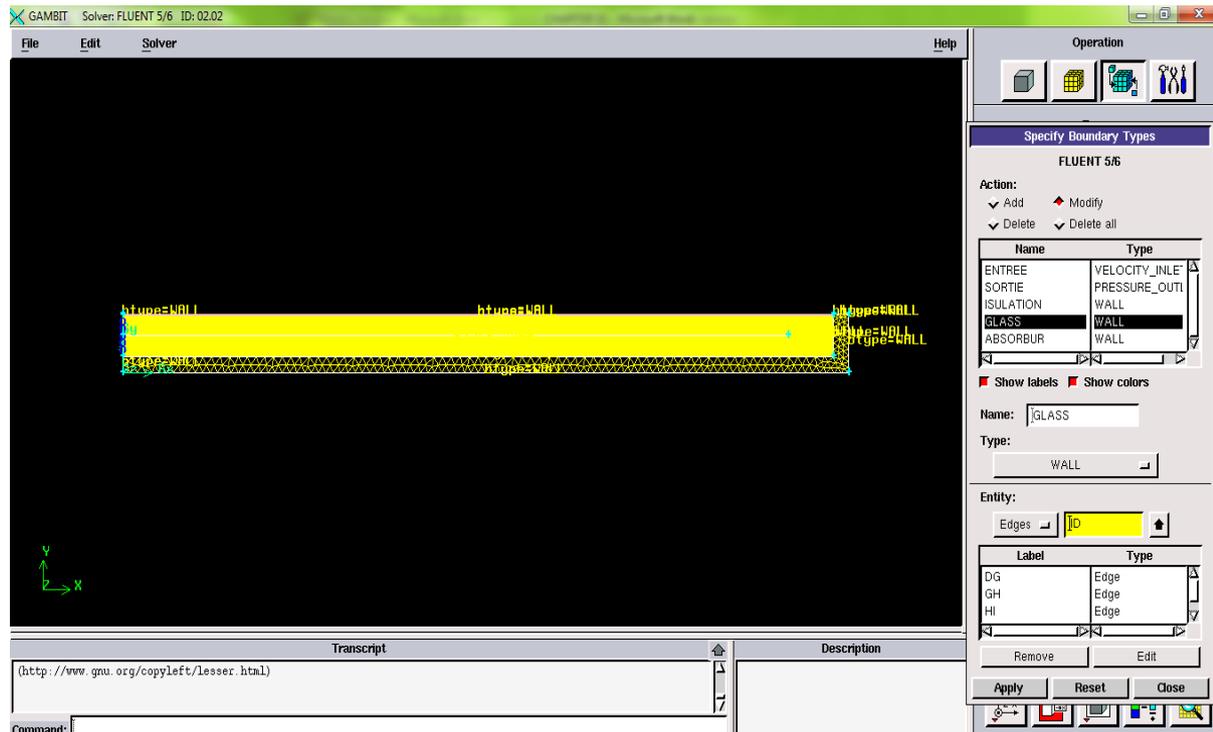


Figure III. 7 : Conditions aux limites

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.3.4.2 lancement de fluent :

- **1^{ère} étape**

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

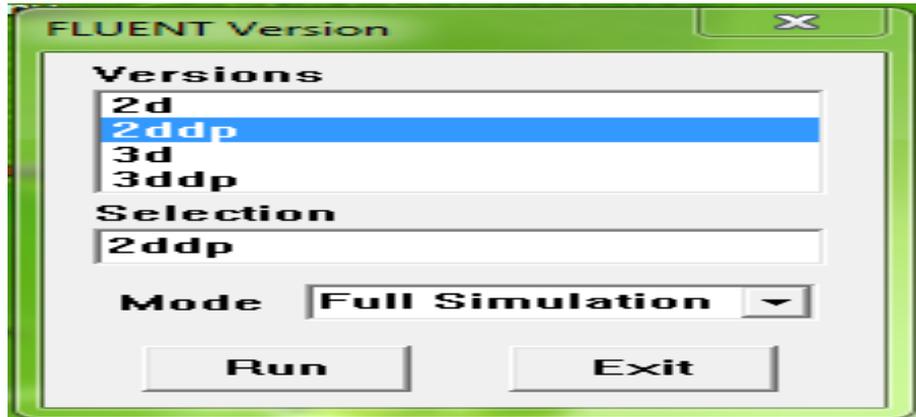


Figure III. 8 : Type de résolution

- 2^{ème} étape (Lecture de la maillage)

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

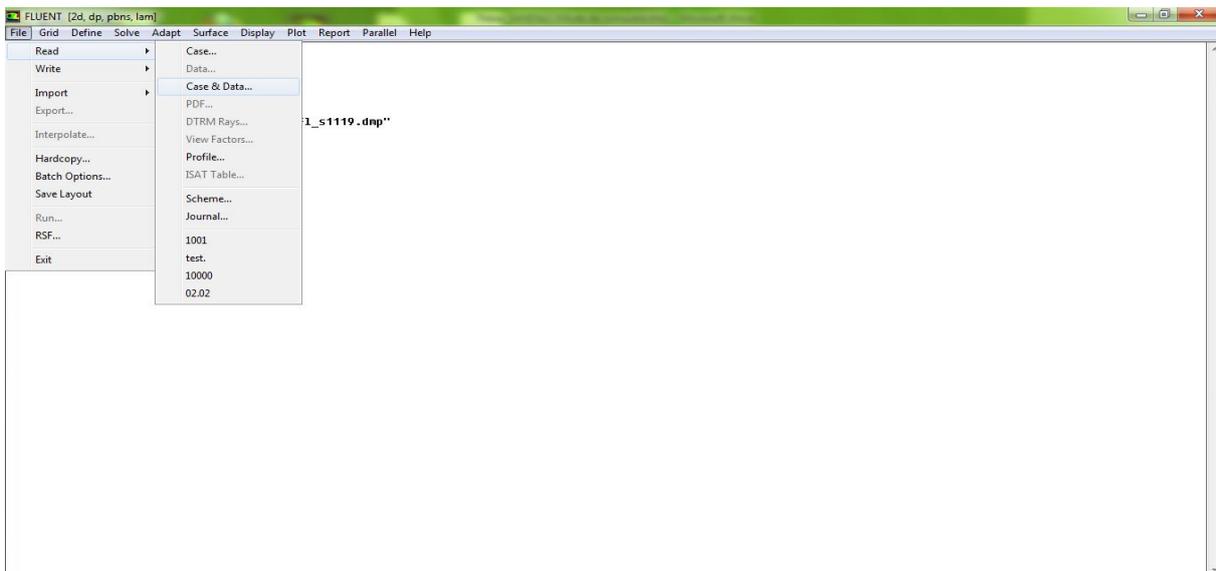


Figure III. 9 : La lecture de la grille

- 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 (2steady) 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 on valide ok.

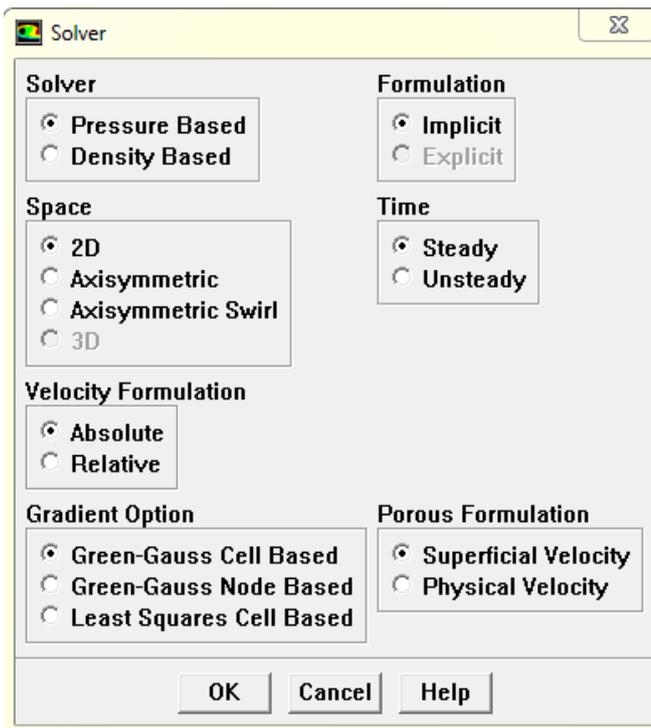


Figure III. 10 : Fenêtre solveur.

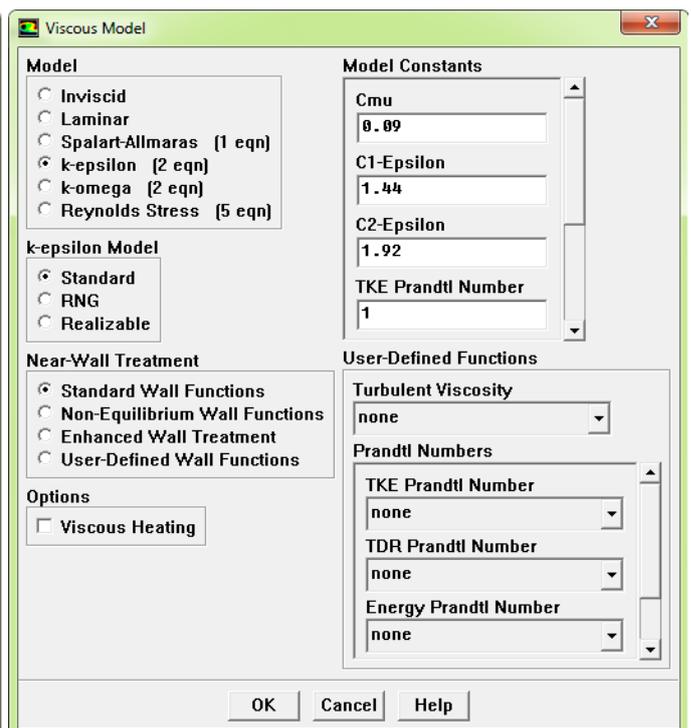


Figure III. 11 : Fenêtre de modèle visqueux

- 6^{ème} étape

Pour placer les propriétés de fluide pour notre problème, (figure III.12) on sélectionne sur :

Define □ → Materials

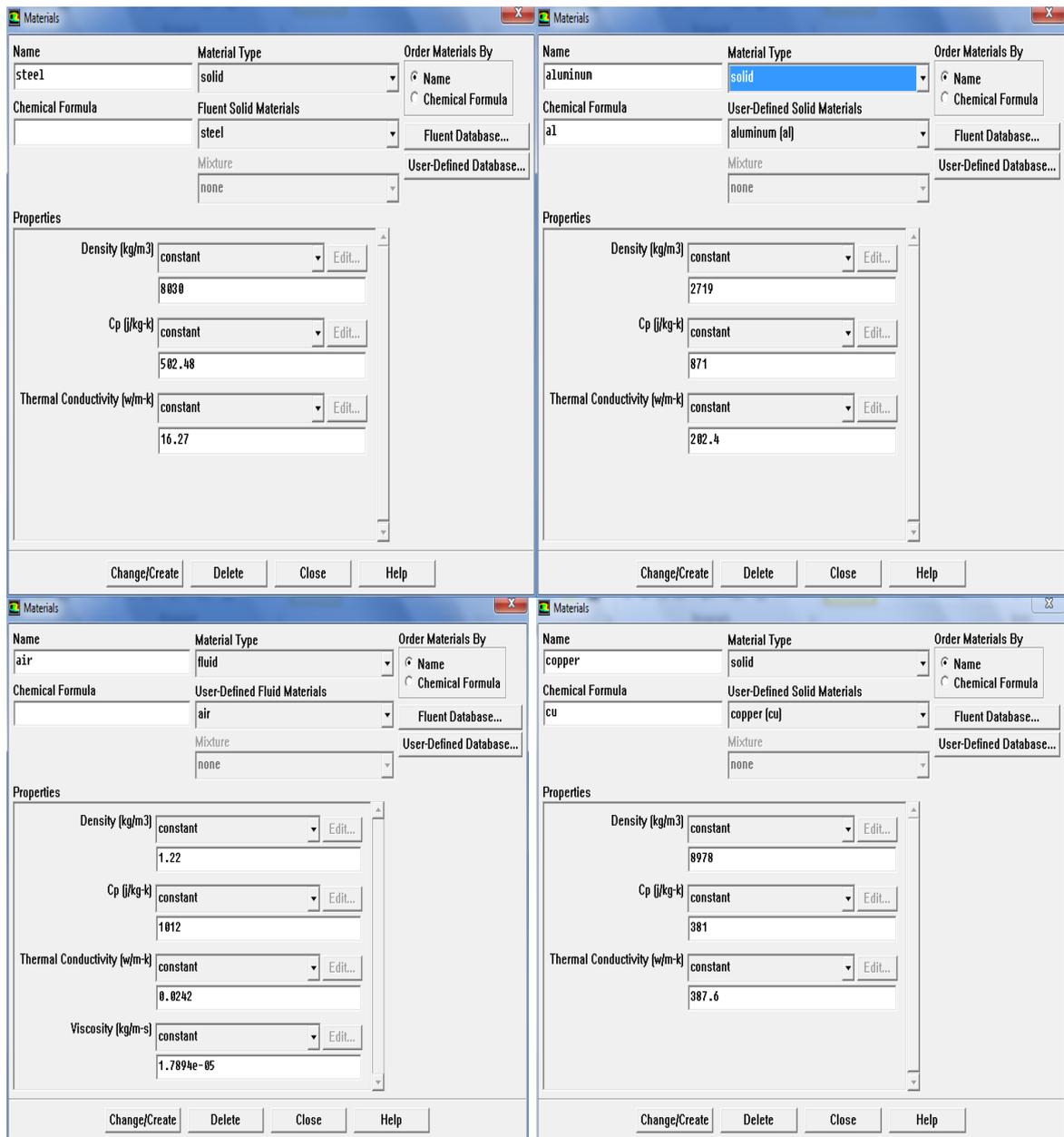


Figure III. 12 : Fenêtre de Matériaux.

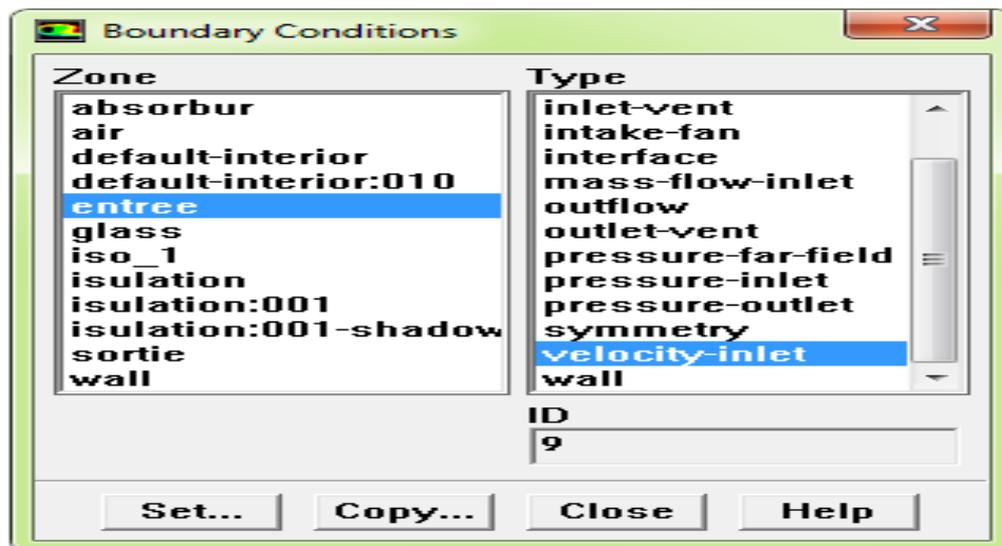


Figure III. 13 : Fenêtre de condition aux limites

- 7^{ème} étape

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

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

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

- 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.

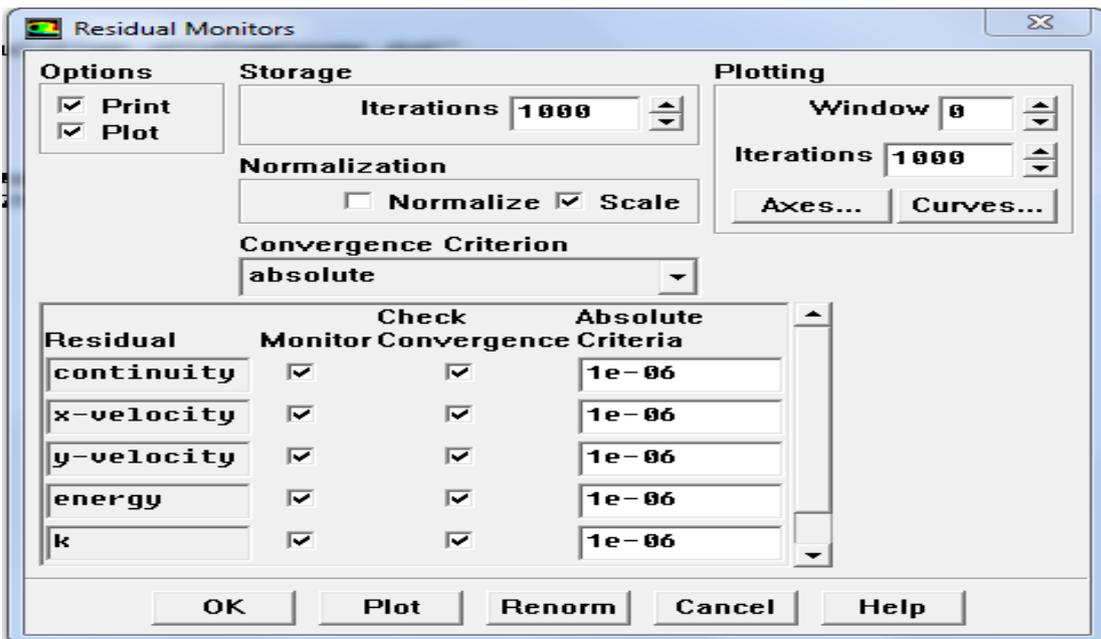


Figure III. 14 : Fenêtre de Résiduel Monitors.

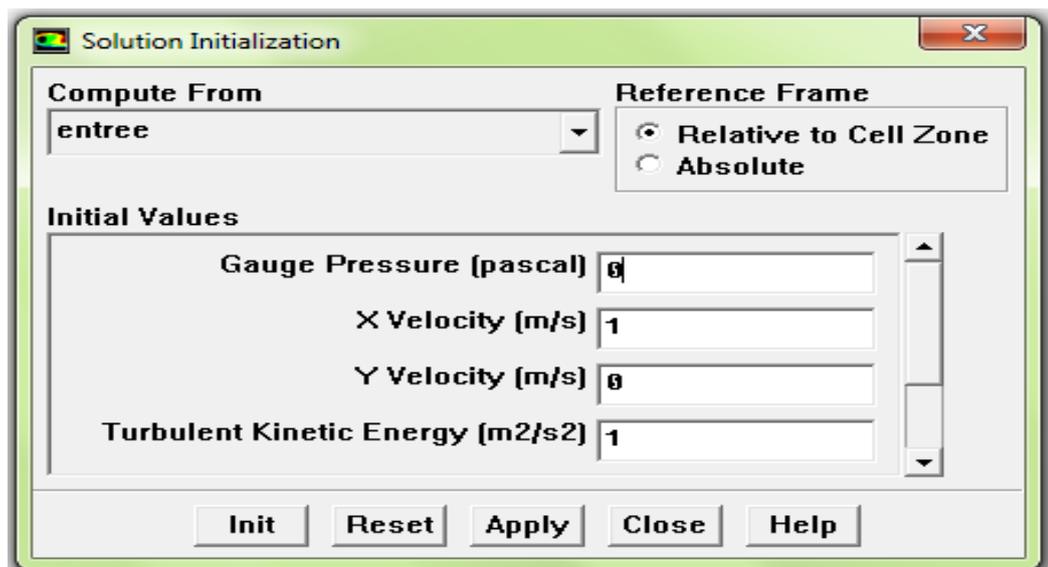


Figure III. 15 : Fenêtre de solution initialisation

- **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).

- **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).

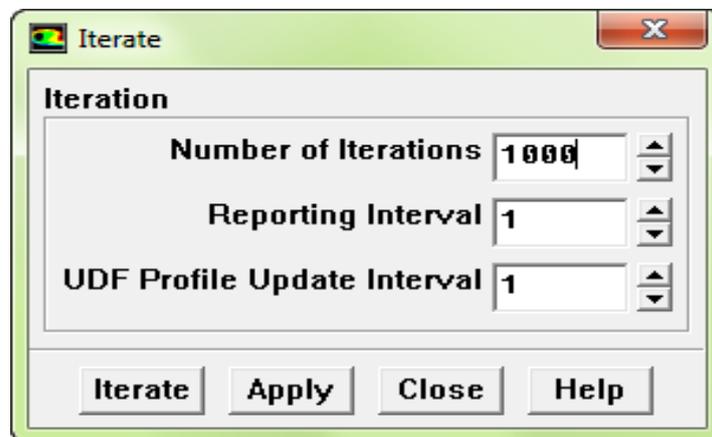


Figure III. 16 : Fenêtre Itérâtes.

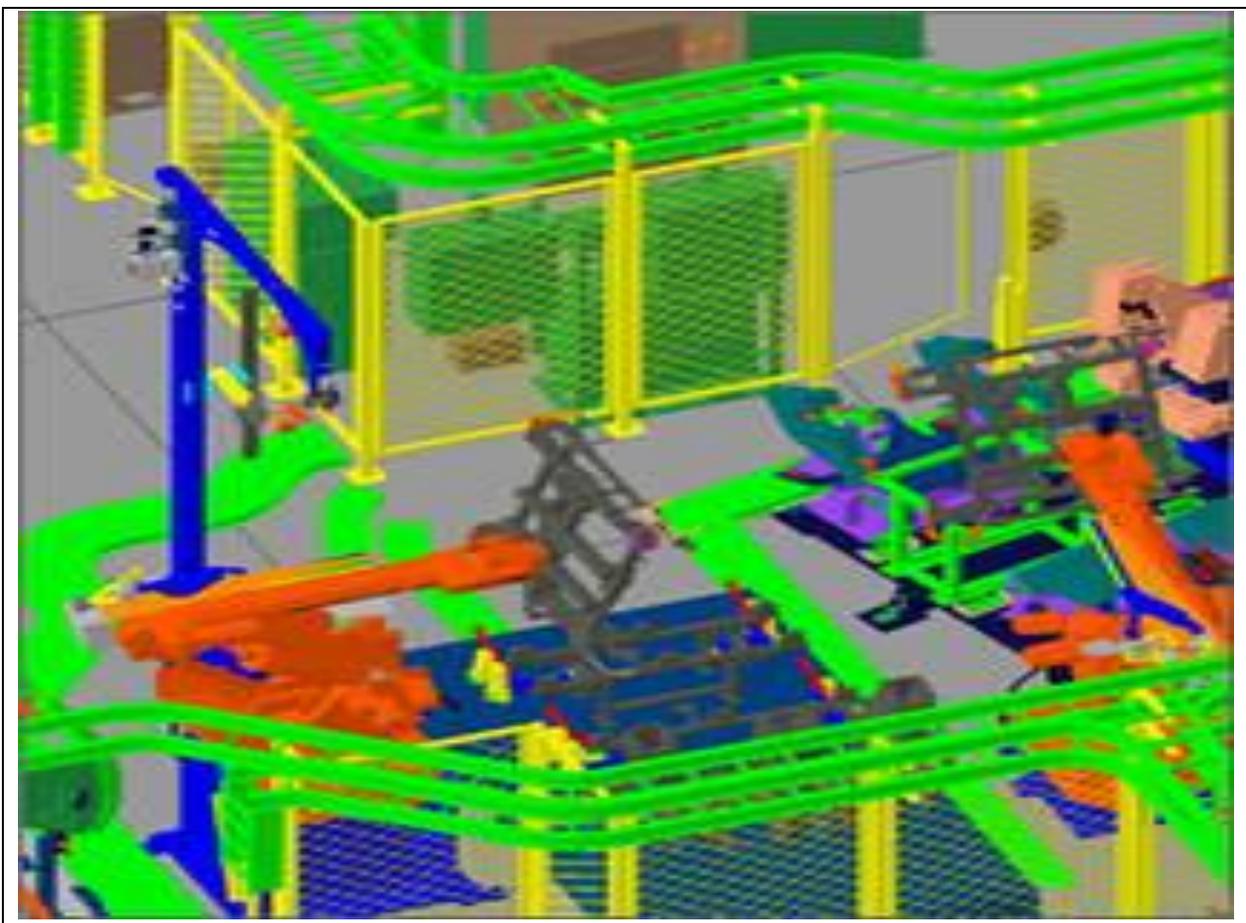
III.4. CONCLUSION :

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 : PRESENTATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS

IV.1. INTRODUCTION :

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats de l'étude thermique d'un capteur solaire plan à air à double passes. Ainsi que nous allons voir l'influence de la matière de l'absorbeur et du rayonnement solaire sur l'efficacité thermique des capteurs..

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 (vitrage, l'air dans le premier et le deuxième canal, absorbeur et l'isolation) et les profils de vitesse dans les différentes sections dans les deux passes.

IV.2. COURBE RESIDUEL :

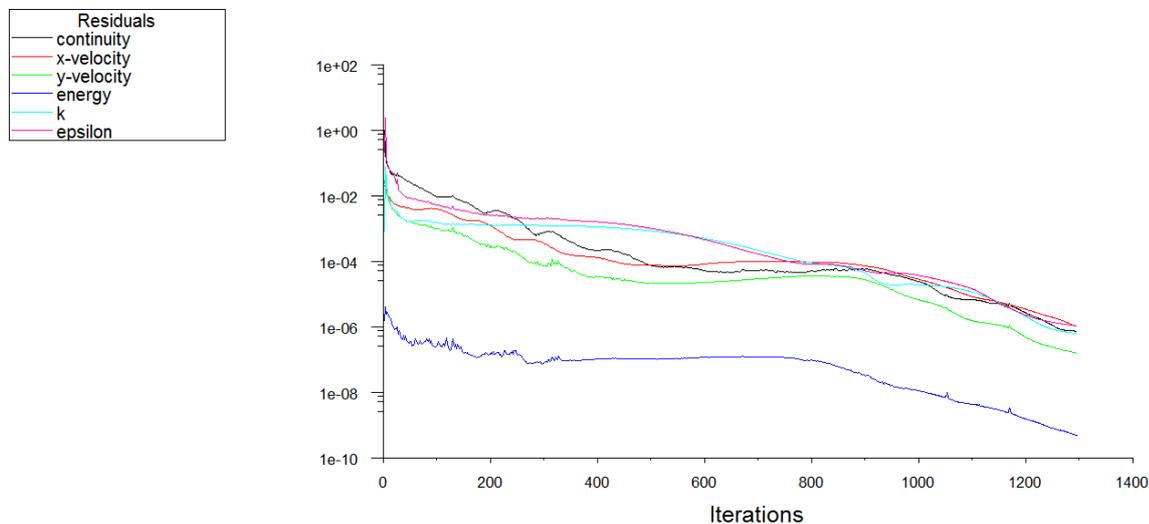


Figure IV. 1: Courbe résiduel.

La convergence pour les 3 simulations est atteinte presque 1280 itérations.

IV.3. VALIDATION DES RESULTATS :

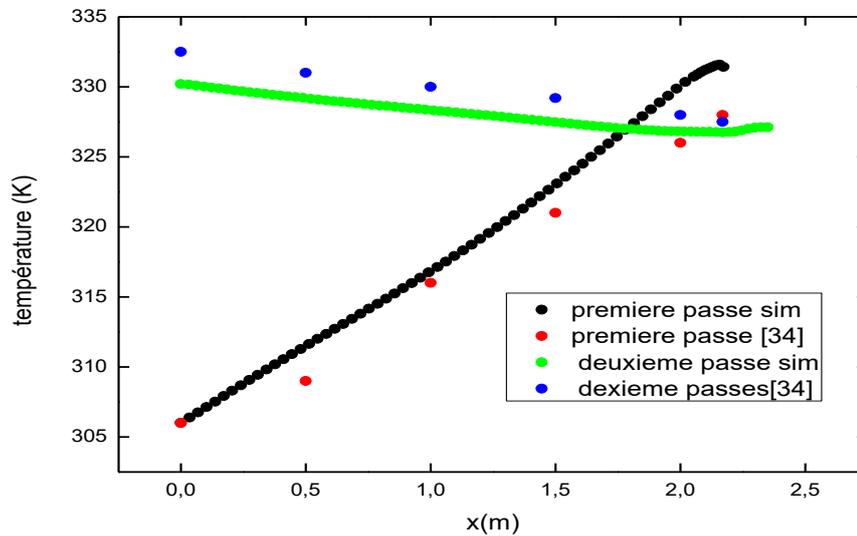


Figure IV. 2: Comparaison de la variation de la température de deux passe entre notre résultat et celui [SANDALI] (avec $I_t=1000 \text{ W/m}^2$)

Sur la figure IV.2 nous avons présenté la validation de notre résultat avec celui obtenu par (SANDALI).[34]

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 de (SANDALI)[34] avec une petite différence.

IV.4. ANALYSE DES RESULTATS :

Pour analyser nos résultats, On propose de choisir des sections suivant x et y .

Comme la montre la figure suivante:

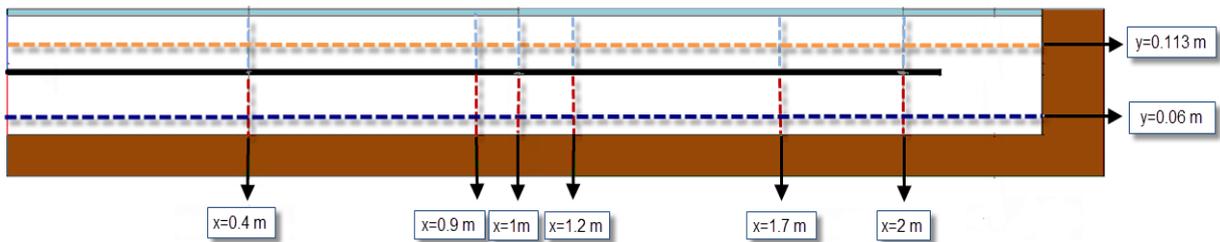


Figure IV. 3: Les différentes sections choisies

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 les différentes matières de capteur solaire :

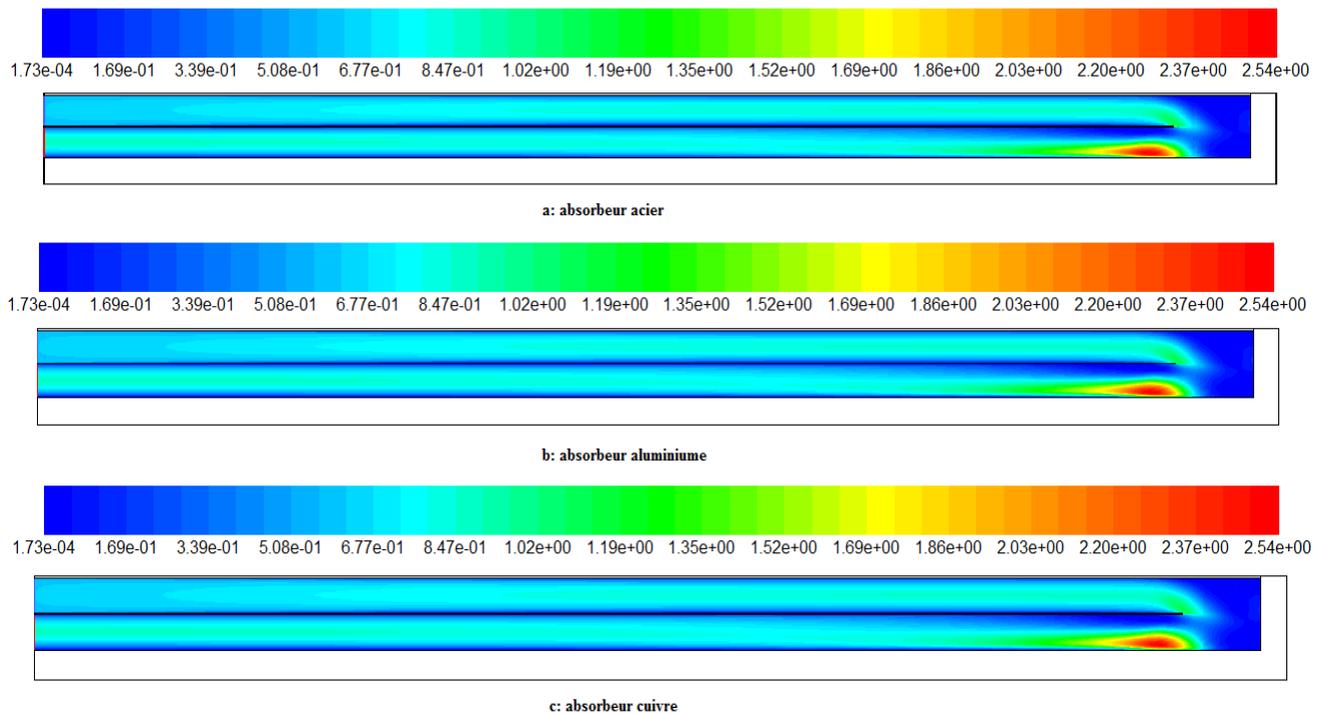
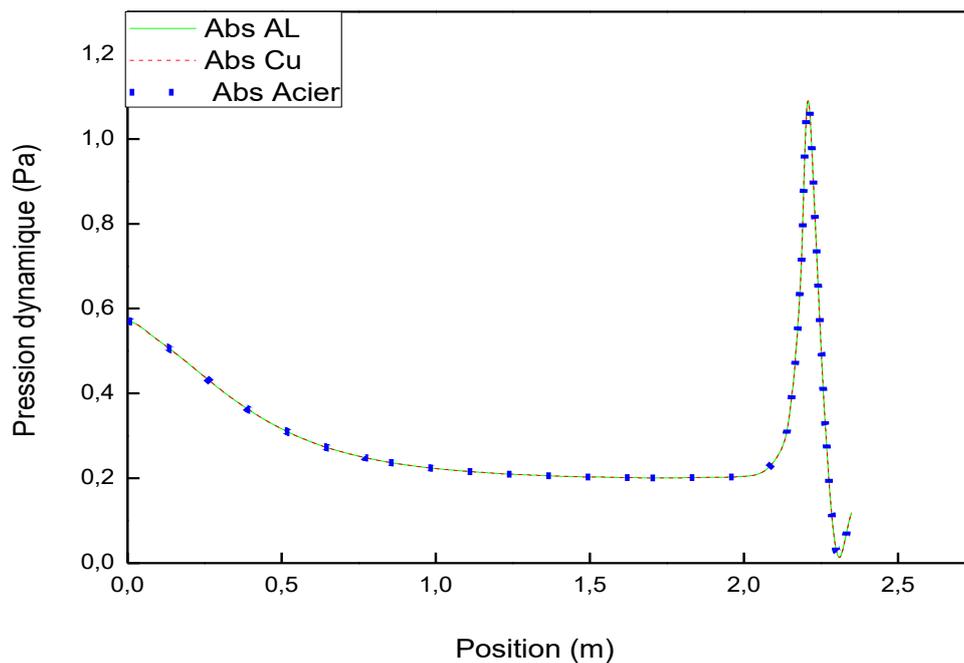


Figure IV. 4: Contour de pression dynamique pour différentes matière [Pa]

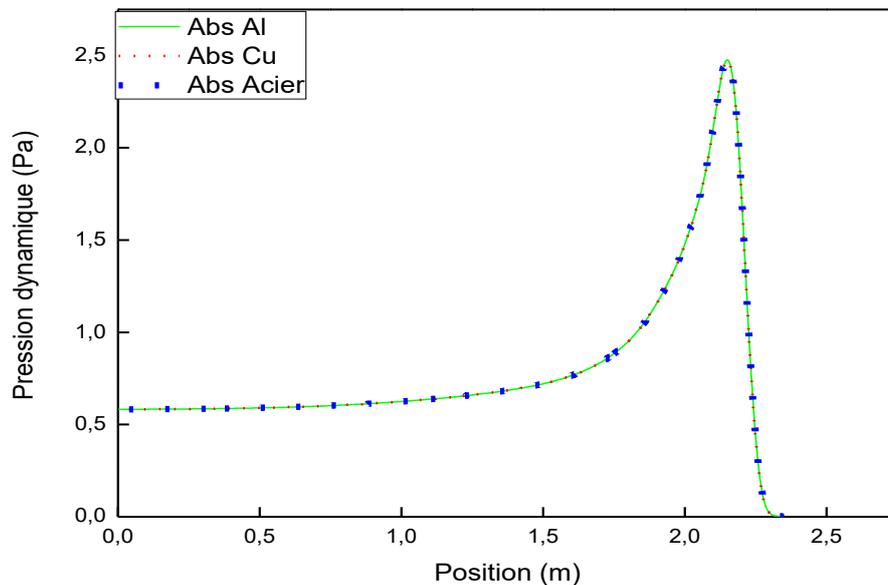
La figure IV.4 nous donne le contour de la pression dynamique pour différentes matière d'absorbeur, d'après cette figure on remarque que les contours de la pression dynamique dans les 3 capteurs prennent le même comportement dynamique et les valeurs. la pression dynamique augmente lorsqu'on s'approche de la fin de la première passe pour atteindre une valeur de 1.36 Pa au voisinage de l'extrémité de l'absorbeur et on peut trouver une valeur maximale de 2.55 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 les 3 capteurs:



A : Première passe y=0.113m



B : deuxième passe $y=0.06$

Figure IV. 5: Profil de la pression dynamique suivant X pour différentes matière

La figure IV.5 montre le profil de la pression dynamique suivant x, on peut remarquer que la pression dynamique est minimale dans tous les capteurs (0.6Pa) à l'entrée et à la sortie de capteur. Et que cette pression prend la valeur maximale dans les capteurs (2.5 Pa) à la fin de la première passe et au début de la deuxième passe. Ainsi qu'on peut noter que ces courbes prennent la valeur nulle près de l'isolation.

IV.4.2 La vitesse :

IV.4.2.1 Contour de la vitesse résultante :

Cette partie est destinée à l'étude des contours de la vitesse résultante pour différentes matière d'un capteur solaire à air à double passe :

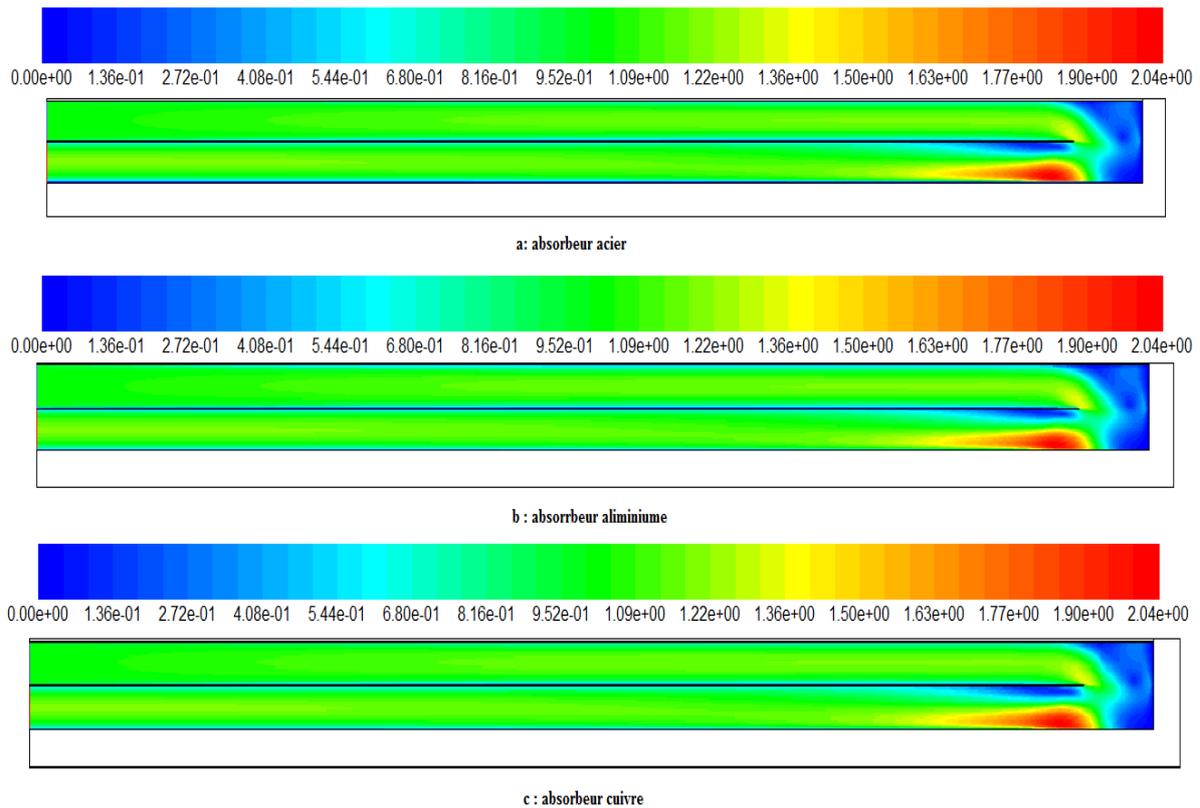
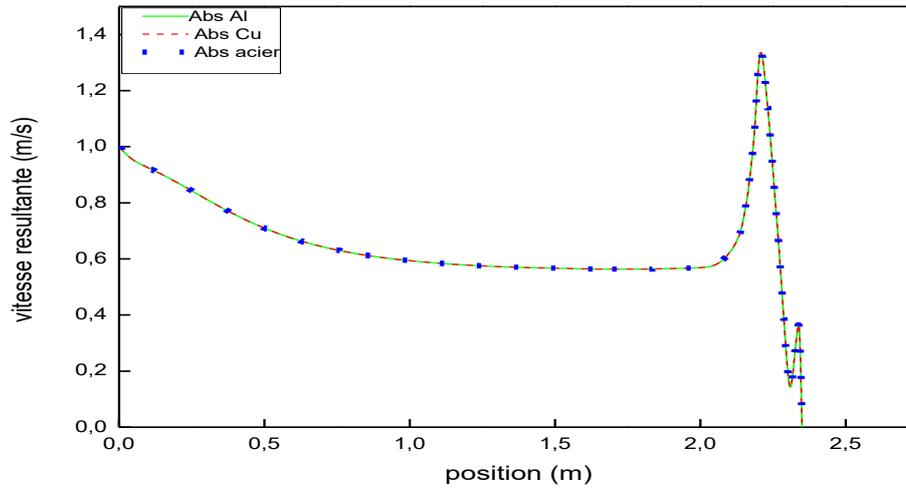


Figure IV. 6:Contour de la vitesse résultante pour différentes matières [m/s]

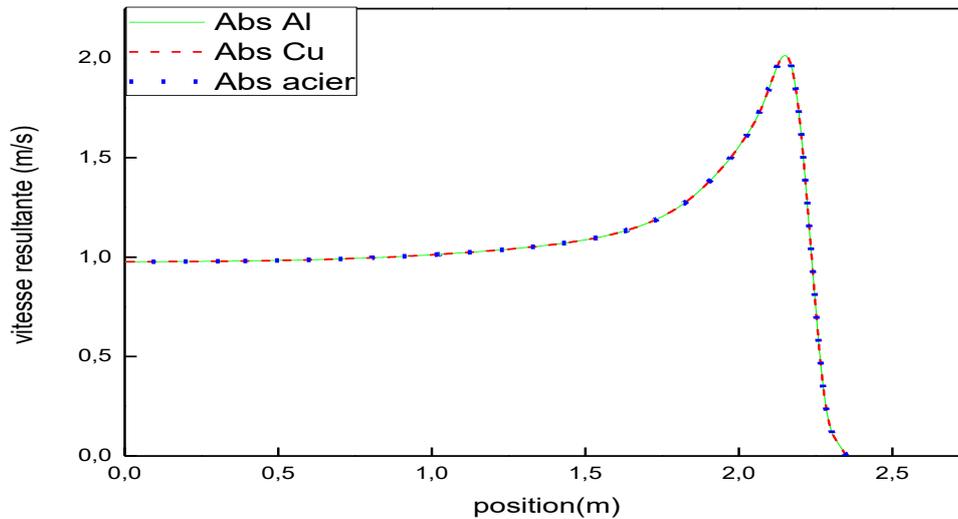
La figure IV.6 : illustre le contour de la vitesse résultante pour différents capteurs. A travers cette figure on remarque que la vitesse est minimale près de l'absorbeur et ceci revient à la condition d'adhérence, ainsi que on peut noter qu'il y a une vitesse maximale à l'entrée de deuxième passe presque 2.04 m/s pour tous les capteurs.

IV.4.2.2 Courbe de la vitesse résultante :

L'objectif attendu de cette partie été de montrer l'évolution de la vitesse résultante en fonction de la position du 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 pour différentes matière.

La figure IV.7 illustre le profil de la vitesse résultante suivant l'axe x pour différentes matière, 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 de Capteur Solaire :

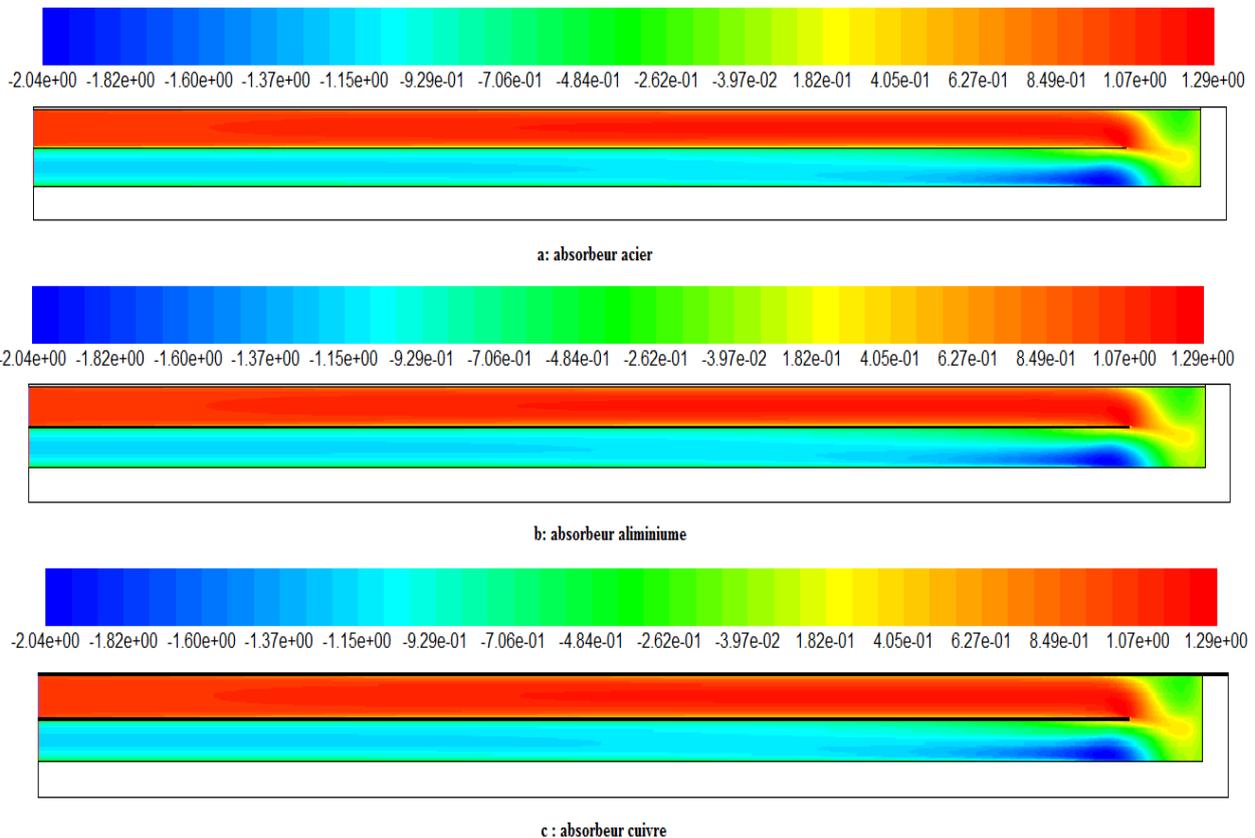
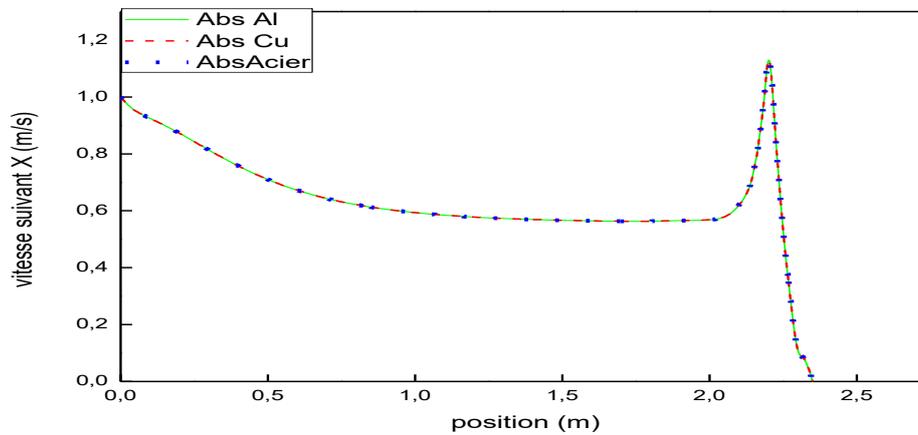


Figure IV. 8:Contour de la vitesse suivant X pour différentes matières [m/s]

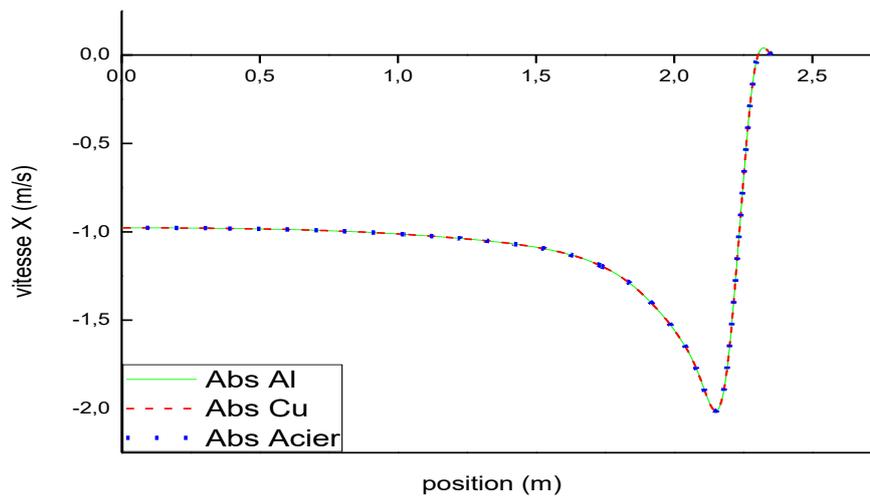
La figure IV.8 : illustre les contours de la vitesse axiale. Les vitesses axiales de l'air dans le premier passage sont plus élevées par rapport aux vitesses dans le deuxième passage et la vitesse prend les valeurs maximales 1.9 (m/s) et devient nulle aux cotés des parois à cause de la condition d'adhérence pour tous les capteurs

IV.4.2.4 Courbe de la vitesse suivant x :

L'objectif attendu de cette partie été de montrer l'évolution du 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 vitesse suivant X pour différente matière.

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 pour tous les capteurs 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.

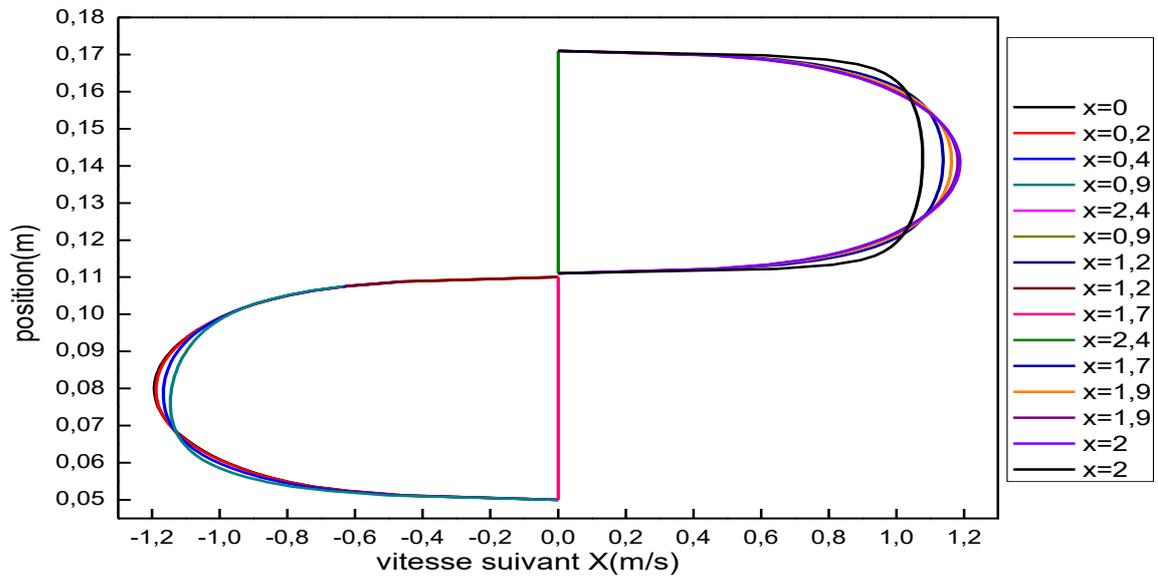


Figure IV. 10: Profil de la vitesse suivant y

L'évolution de la vitesse axiale dans les sections choisies dans les 3 capteurs est présentée par la figure IV.10. On voit que la vitesse axiale dans le premier passage est presque uniforme dans toutes les sections, mais elle a diminuée dans la zone où le fluide change son sens d'écoulement (à $x=2.4\text{m}$) vers le canal inférieur. Dans cette région, on remarque des valeurs négatives de vitesse axiale montrant la présence d'une zone de recirculation du fluide à cause de retour des particules fluide. Dans le deuxième passage, on remarque qu'il a des valeurs positives de vitesse axiale (à $x=2\text{m}$). Ces valeurs reflètent la présence d'une autre zone de recirculation juste au-dessous de l'extrémité de l'absorbeur qui est causée par l'orientation de l'écoulement d'air vers le deuxième passage avec des grandes vitesses.

IV.4.3 Température :

IV.4.3.1 Contour de température totale :

Cette partie est destinée à l'étude des contours de la température totale pour les différentes matières de capteur solaire :

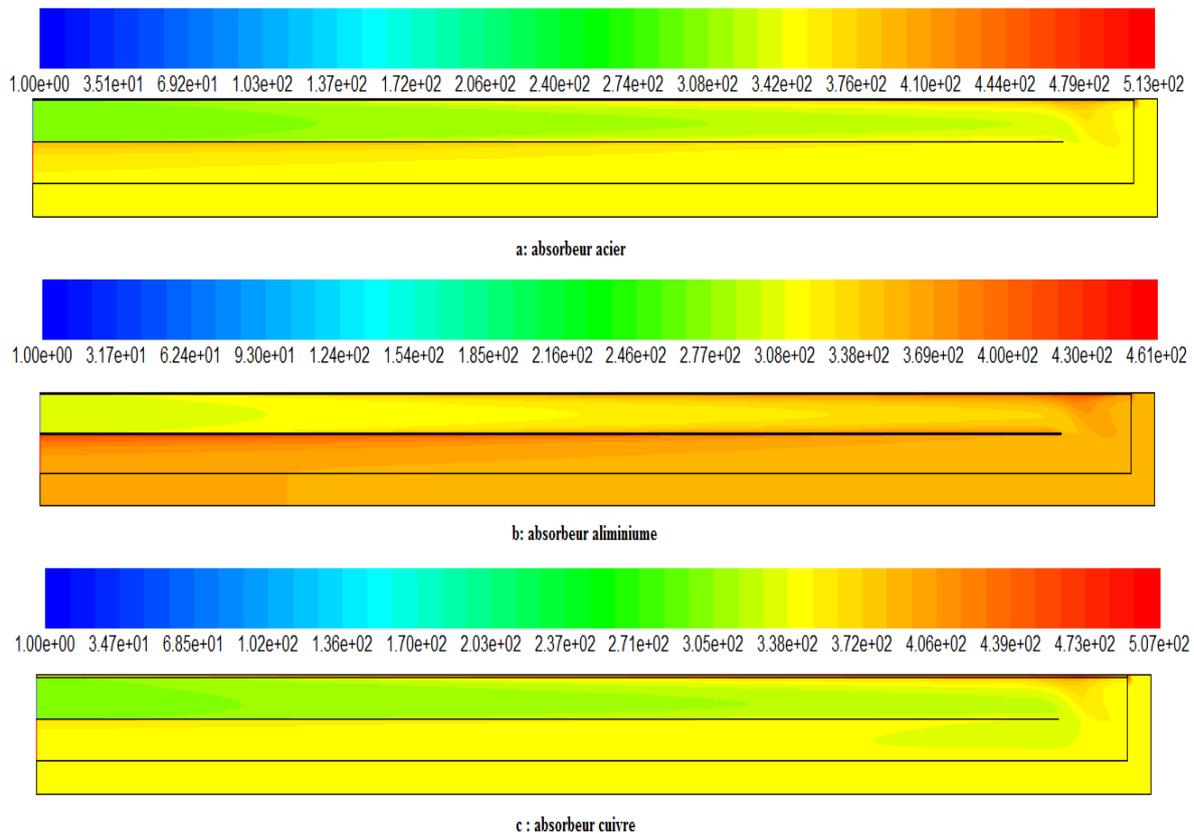
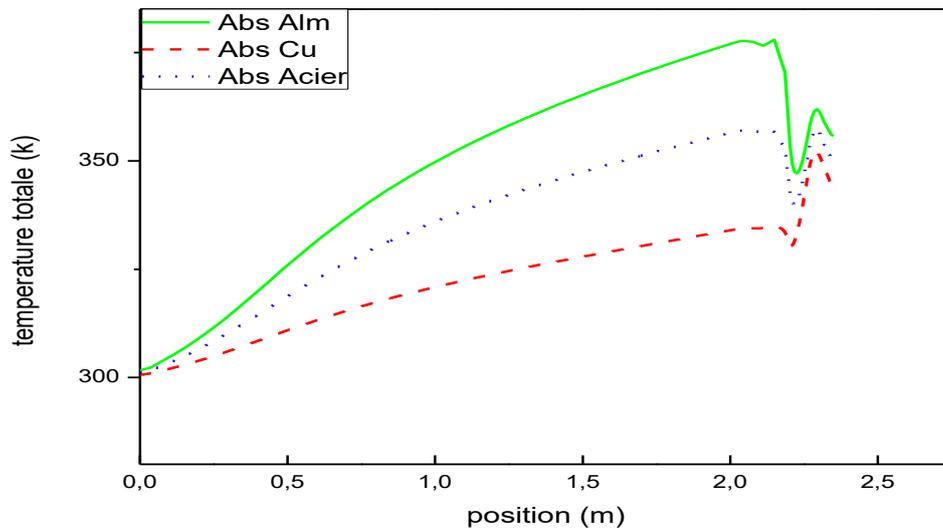


Figure IV. 11: Contour de température totale pour différentes matières [K]

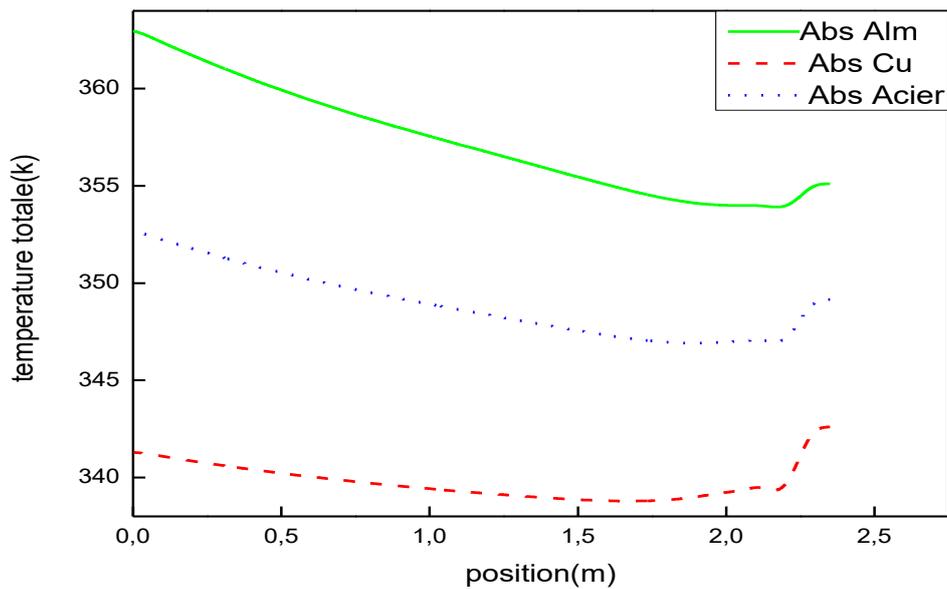
La figure IV.11: Représente le champ de température dans les 3 capteurs solaire à double passe pour un éclairement solaire de 1000W/m^2 . On observe que la température de l'air augmente dans la première passe supérieure dans le même sens des x par l'effet de la température du vitrage et de l'absorbeur et augmente dans le sens inverse des x dans la conduite inférieure par l'effet de l'absorbeur. La zone la plus chaude est localisée au voisinage du côté de l'absorbeur.

IV.4.3.2 Courbe de température totale du fluide :

L'objectif attendu de cette partie été de montrer l'évolution de la température totale en fonction de la position à long de capteur :



A: première passe $y=0.113\text{ m}$



B : deuxième passe $y=0.06$

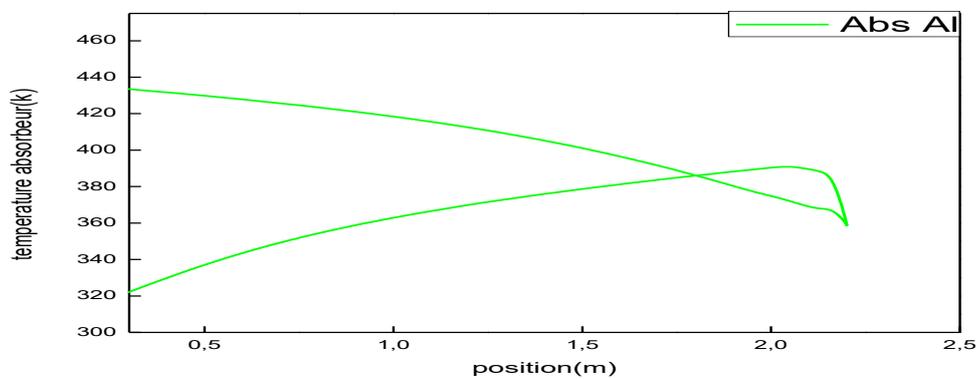
Figure IV. 12 : Profil de température totale pour différentes matières

Sur la figure IV.12 nous avons présenté le profil de la température totale pour la première passe et deuxième passe avec ($y=0.113\text{ m}$ et $y=0.06\text{ m}$), On remarque que la température totale des trois matières (l'aluminium, l'acier et cuivre), est commencé à partir de 300(k),

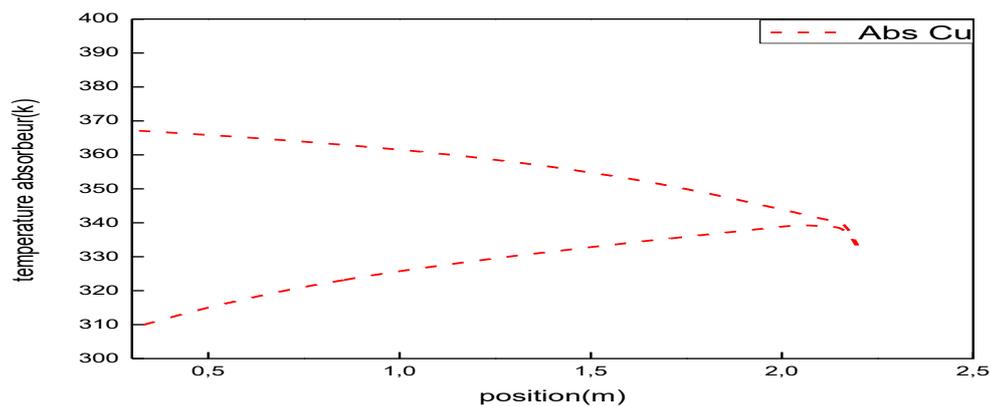
dans la deuxième passe on peut trouver des valeurs maximales de (364(k)) ; (353(k)) ; (341(k)) avec les trois matières(l'aluminium , l'acier et cuivre) respectivement; tel que le cuivre augment mais son augmentation moins que l'acier et, l'augmentation de l'aluminium plus que l'acier.

IV.4.3.3 Influence de température d'absorbeur sur la position :

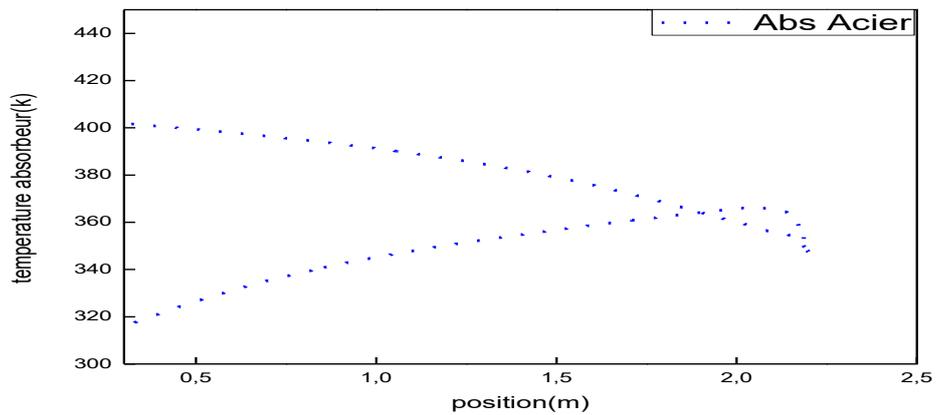
L'objectif attendu de cette partie été de montrer l'évolution de la température du l'absorbeur en fonction de la position à long de capteur :



A: l'absorbeur pour aluminium



B: l'absorbeur pour cuivre.



C : l'absorbeur pour acier.

Figure IV. 13: Profil de la température du l'absorbeur pour différentes matières

La variation de la température, d'absorbeur suivant l'axe d'abscisse pour différent longueur d'absorbeur et présent la figure IV.13 : On peut remarquer que le matériau de l'absorbeur a un effet sur la température absorbante et la température d'absorbeur pour l'acier augmente 400(k),le cuivre 370(k)et l'aluminium 440(k) ,il est diminué on fonction de l'augmentation de la long pour la première passe et l'inverse pour le deuxième passe.

IV.4.3.4 Influence de température d'absorbeur sur la température du fluide :

➤ Pour aluminium

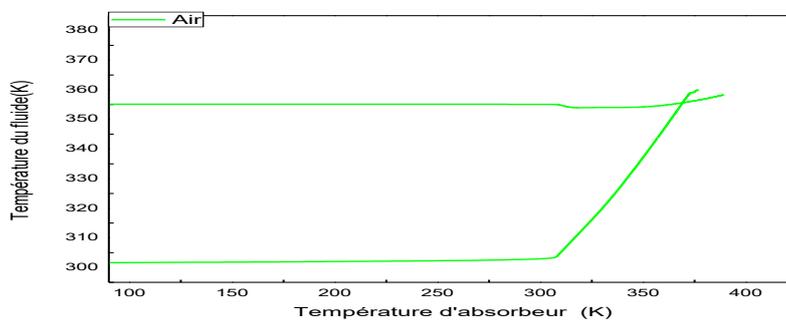


Figure IV. 14: profil d'influence de température d'absorbeur (aluminium) sur la température du fluide

➤ Pour cuivre

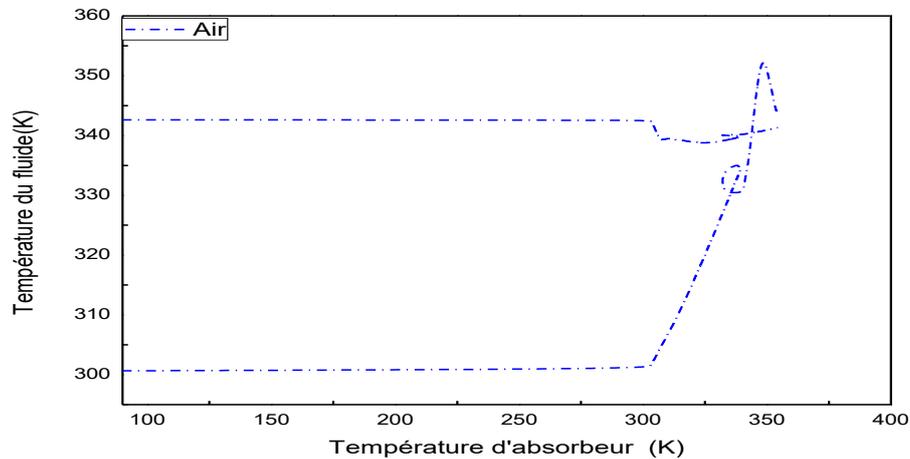


Figure IV. 15 : profil d'influence de température d'absorbeur (cuivre) sur la température du fluide

➤ Pour acier

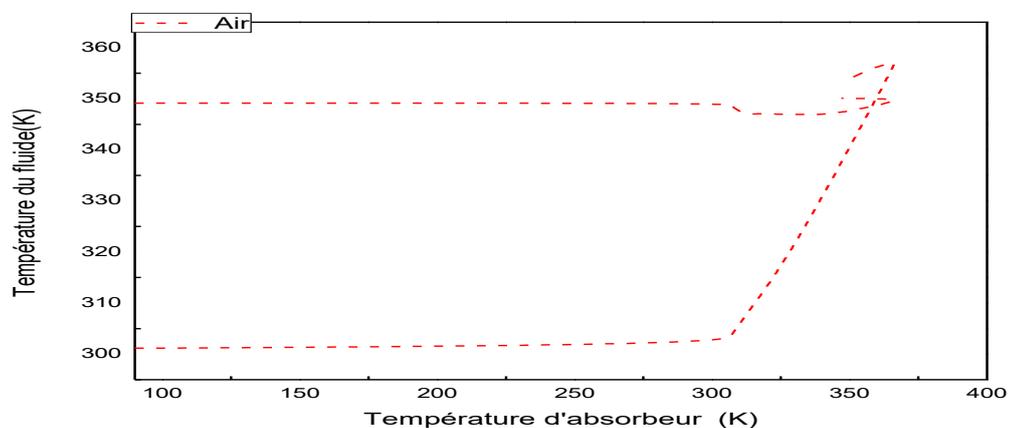


Figure IV. 16: profil d'influence de température d'absorbeur (acier) sur la température du fluide

Les figures (IV.14; IV.15 et IV.16) : illustre le profil de l'influence de température d'absorbeur sur la température du fluide l'axe x pour différentes matières, on observe que la température du fluide changeant en fonction de changer la température de l'absorbeur ; selon l'absorbeur ses propriétés et la température, qui à son tour, une incidence sur le fluide.

IV.4.3.5 L'influence du débit massique sur l'efficacité thermique :

Le rendement d'un capteur est le rapport entre la chaleur utile (Q_3) transmise au fluide et le rayonnement solaire incident (E_0) : Q_3 / E_0

Cette chaleur utile Q_3 est définie par le bilan des apports solaires utile et des pertes thermiques : $Q_3 = E_0 - E_1 - Q_2 - Q_1$ (MJ)

les apports solaires utiles : $E_0 - E_1$ (MJ) représentent la part du rayonnement solaire réellement absorbée par le capteur, Ils s'expriment selon la relation : $E_0 * \alpha \tau$

* α : facteur d'absorption de l'absorbeur, compris entre 0.9 et 0.96 . * τ : facteur de transmission du vitrage, compris entre 0.88 et 0.91.

Les pertes thermiques : $Q_1 + Q_2$ (MJ), elles sont définies par la relation : $Q_{TH} = k * \Delta T$ Avec : * K ($w / m^2 . k$) : coefficient de déperdition thermique du capteur

$$,* \Delta T = T^o_{CAPT} - T^o_{AMB}$$

Le rendement d'un capteur : $n = \alpha \tau - (k * \Delta T / E_0)$

Le rendement d'un capteur sur base de trois paramètres : son rendement optique n_0 et deux coefficients de déperdition thermique a_1 et a_2

Rendement optique n_0 : le rendement optique n_0 représente le rendement maximum du capteur : $n_0 = \alpha F$

* F : facteur de rendement du capteur compris entre 0.92 et 0.97

Coefficients de déperdition thermique : les coefficients de déperdition thermique dépendent de la qualité d'isolation des capteurs : * a_1 ($w / m^2 . k$) : coefficients linéaire de transfert thermique, compris entre 1.2 et 4. * a_2 ($w / m^2 . k^2$) : coefficients quadratique de transfert thermique, compris entre 0.005 et 0.015

Conformément à la norme, le rendement du capteur est alors donné par la formule suivante : $n = n_0 - (a_1 * \Delta T / E_0) - (a_2 * \Delta T^2 / E_0)$

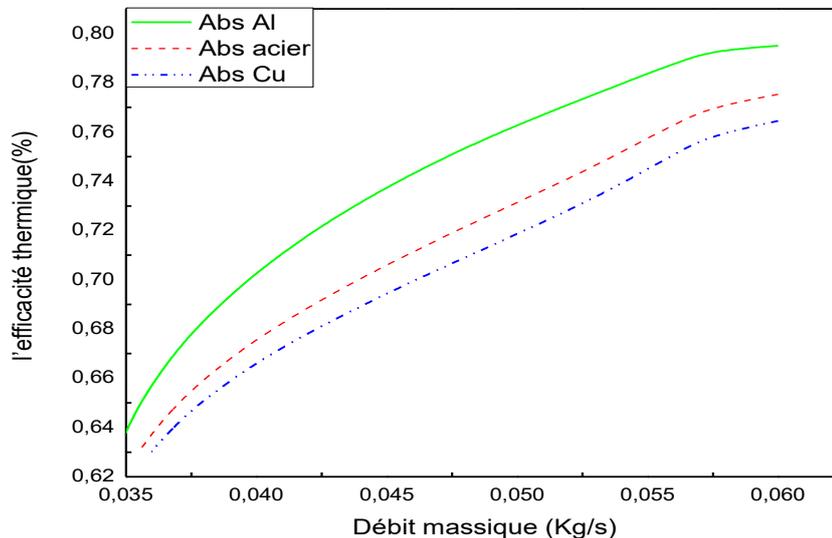


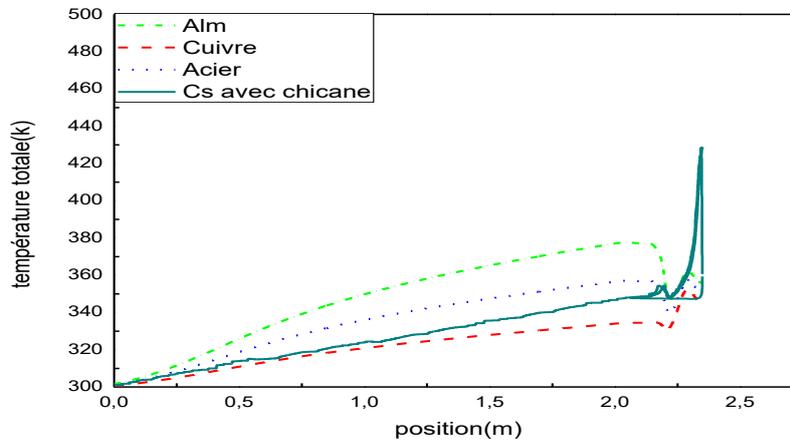
Figure IV. 17: L'influence du débit massique sur l'efficacité thermique du capteur solaire.

La figure VI.17 montre la variation de l'efficacité thermique du trois capteur solaire avec déferent matière (aluminium, cuivre et acier) en fonction de débit massique. On remarque que l'efficacité thermique varie avec la variation du débit massique, si en prend par exemple la valeur de l'efficacité thermique pour le même débit de (0.035 Kg/s) et déferents valeurs d'intensité, en trouve qu'elle est de (64%) pour aluminium, est (62 %) pour cuivre et elle est de (63%) pour acier.

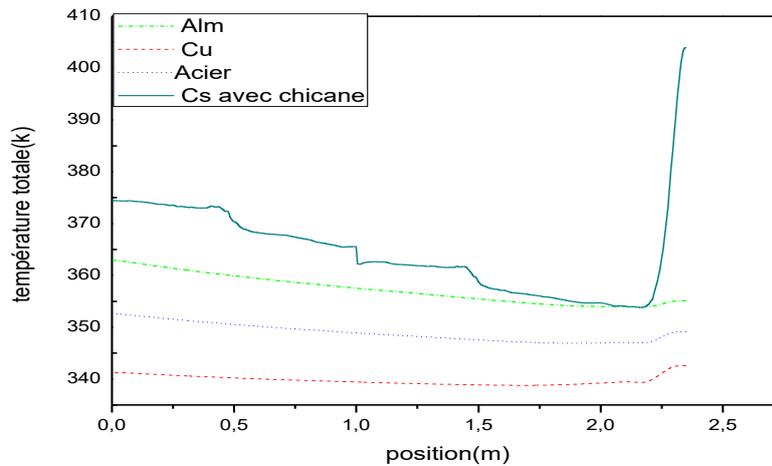
On remarque qu'avec l'augmentation du débit l'efficacité thermique augmente. Toutefois, l'augmentation de l'efficacité n'est pas constante et dépend du débit. Entre (0.035 et 0.045 Kg/s), l'augmentation de l'efficacité est nettement plus qu'entre (0.025 et 0.035 Kg/s). Alors, l'utilisation des grands débits donnent une meilleure efficacité.

On remarque aussi qu'il y a présence d'un débit optimal donne une meilleure efficacité pour chaque capteur.

IV.4.3.6 Étude comparative :



A : Température totale pour la première passe y=0.013.



B : Température totale pour la deuxième passe y=0.06.

Figure IV. 18: Profil de la température totale pour différents capteurs

la figure IV.18 Présente une comparaison entre les 4 cas du capteur solaire avec chicane et capteur différent matériau (aluminium, acier, cuivre) .

On remarque que la température du fluide à la sortie dans le cas du capteur solaire avec chicane est plus grande que celle dans le cas des autres capteurs solaires, et cette augmentation

de la température montre l'influence du l'absorbeur sur l'efficacité thermique du capteur solaire.

IV.5. CONCLUSION :

Les résultats présentés dans ce chapitre montrent que la substance de l'absorbeur a une grande influence sur l'augmentation des performances du capteur solaire à double passe.

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 forme, la qualité ou le matériau absorbé a un impact significatif sur le comportement dynamique et thermique du capteur solaire à double passe.

On propose de faire une étude comparative entre le modèle de $k-\varepsilon$ et $k-\omega$ avec l'adjonction des ailettes.



***CONCLUSION
GENERALE***

CONCLUSION GENERALE

L'objectif de ce travail est d'étudier comportement thermique d'un capteur solaire plan à air à double passe. 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 a été réalisée à l'aide du code de calcul fluent qui est basée sur la méthode des volumes finis.

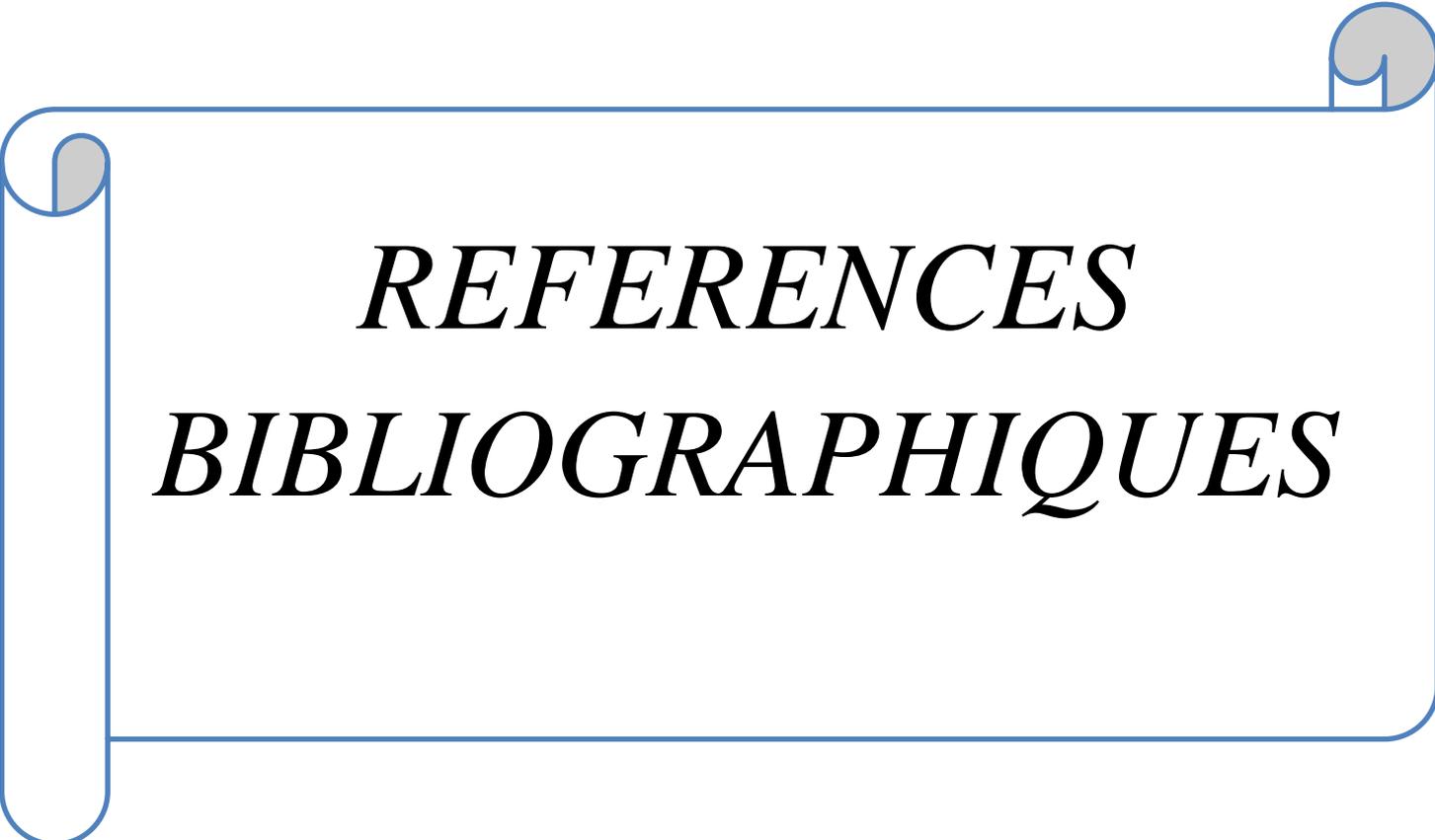
Les équations qui régissent l'écoulement d'un fluide sont les équations de la conservation de la quantité du mouvement, de la conservation de masse (continuité), et d'énergie, sont résolues par la méthode des volumes finis.

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.

Une augmentation de la vitesse dans la région de retour (entrée du canal inférieur) du capteur est observée entraînant des zones de recirculation qui résulte du changement brusque du sens de l'écoulement.

Les zones les plus chaudes sont localisées au voisinage de l'absorbeur car il absorbe la grande partie du rayonnement solaire grâce à son bon coefficient d'absorption.

- Au cours de ce travail, nous avons étudié l'influence du matériau de l'absorbeur sur la comportement thermique du capteur solaire à air à double passe
- L'étude par le code gambit et fluent qui est basée sur la méthode des volumes finis.
- Nous avons comparé le comportement thermique entre les trois matériaux (aluminium, acier, cuivre) à la pression et à la vitesse et la température.
- Nous avons conclu que la température de l'aluminium est supérieure à l'acier et que cette dernière est plus grande que le cuivre.
- Enfin l'aluminium c'est le matériau le plus efficace du cuivre et acier .

A decorative border resembling a scroll, with a blue outline and grey circular accents at the corners, framing the text.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **B. Mourad**. "Contribution a l'étude, la simulation et l'analyse des pompes à chaleur Assistées par l'énergie solaire". Thèse de magister (2008) 05-24.
- [2] **A. Dalila**. "Optimisation Du Rendement D'un Capteur Solaire Par Minimisation Des Pertes Convectives". Thèse de magister (2010) 17-39.
- [3] **J, Bernard**. Energie solaire calculs et optimisation, Ellipse Edition Marketing. (2004).
- [4] **A, Sfeir ; G, Guarracino**. Ingénierie des systèmes solaires, Technique et Documentation, Paris. (1981).
- [5] **A, Mefti, M, Y, bouroubi; H, Mimouni**. Evaluation du potentiel énergétique solaire, Bulletin des Energies Renouvelables, N°2, p 12, décembre. (2002).
- [6] **K. Salima**. "Etude théorique et numérique des systèmes couples : distillateur plan capteur et distillateur hot box-capteur". Thèse de magister (2009) 03-15.
- [9] **Afedes, Momosol**, mementlo d'héliotechnique, édition européennes thermique et industrie, paris 1979.
- [10] **S. Souad**. "Effet des paramètres opérationnels sur les performances d'un capteur solaire Plan". Thèse de magister (2010) 05-19.
- [11] **Faris .AISSAOUI**. « Contribution à l'étude du transfert de chaleur d'un capteur solaire Placé dans un climat aride » thèse de doctorat.
- [12] **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. 20, 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)
- [13] **M. Baritto and J. Bracamonte**, A dimensionless model for the outlet temperature of a no isothermal 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>
-

- [14] **A. Benkhelifa.** " Optimisation d'un Capteur Solaire Plan ". Rev. Energ. Ren. : Physique Energétique, (1998), pp. 13-18.
- [15] **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 (2001) 69-78.
- [16] **N. Moummi, S. Youcef-Ali, A. Moummi 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>
- [17] **H.-M. Yeh, C.-D. Ho and C.-Y. Lin,** Effect of collector aspect ratio on the collector Efficiency of upward type baffled solar air heaters, *Energy Conversion and Management*, vol. 41 9, pp. 971-981, 2000. [http://dx.doi.org/10.1016/S0196-8904\(99\)00148.X](http://dx.doi.org/10.1016/S0196-8904(99)00148.X)
- [18] **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.
- [19] **A. Labeled, N. Moummi, K. Aoues, M. Zellouf and A. Moummi,** Etude théorique et Expérimentale des performances d'un capteur solaire plan à air muni d'une Nouvelle forme de rugosité artificielle, vol. pp. 2014.
- [20] **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.
- [21] **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)
- [22] **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)

[23] **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)

[24] **K. Sopian, Supranto, W.R.W. Daud, M.Y. Othman, V.B. Yatimc.** “Thermal performance of the double-pass solar collector with and without porous media”.
Renewable Energy 18 (1999) 557±564.

[25] **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.

[26] **M. R. I. Ramadan, A. A. El-Sebaei, 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>

[27] **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>

[28] **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.

[29] **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*

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

March, 2012.

[30] **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.

[31] **Guestal M .,** "Modélisation de la convection naturelle laminaire dans une enceinte avec une paroi chauffé partiellement " Mémoire de magister, Université de

MONTOURI, CONSTANTINE, 2010

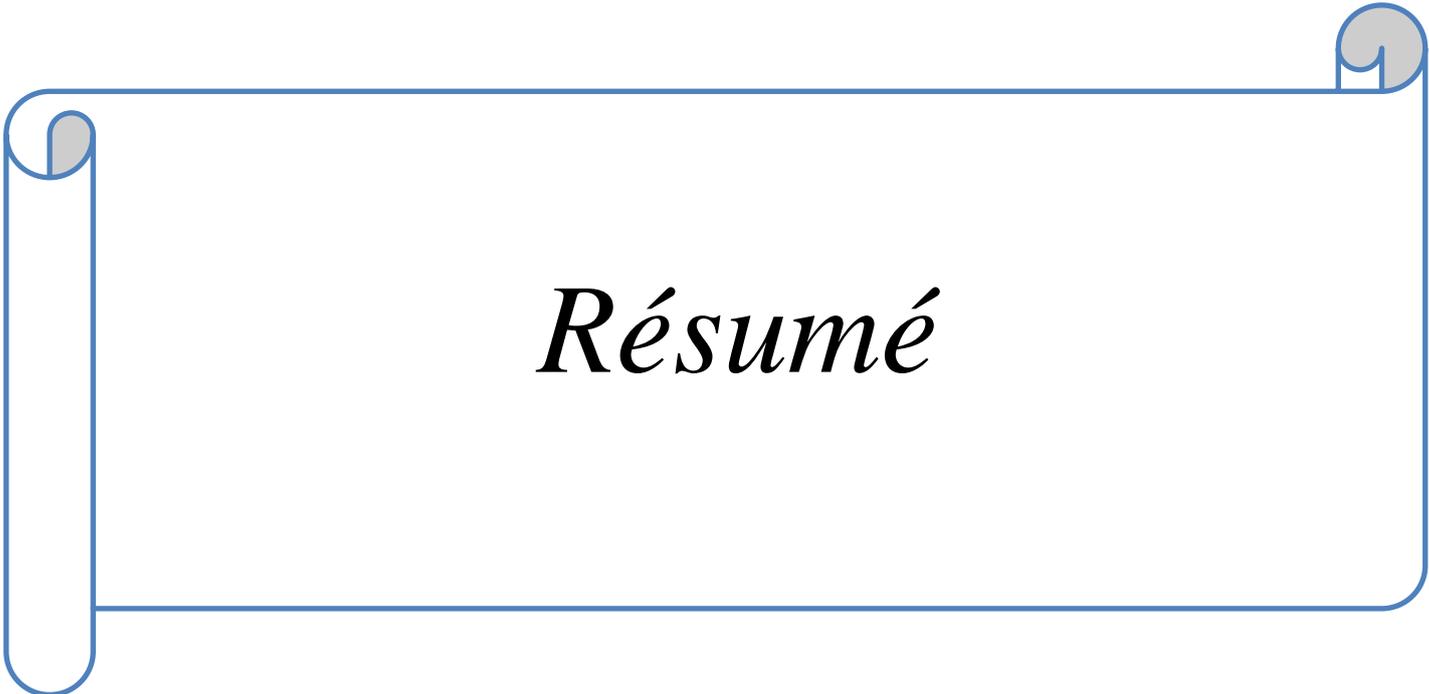
[32] **Laribi B.,** "polycopié-cours de CFD ", Université de Khemis-Miliana 2009

[33] **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.

[34] **M. SANDALI.** "Etude dynamique et thermique d'un capteur solaire à air à double passe avec milieu poreux". Mémoire de magister, Université Abou Bekr Belkaid 2014



Résumé

Résumé

Dans la nature, on trouve plusieurs sources d'énergie renouvelable, y 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, j'ai fait des simulations numériques de l'influence du matériau de l'absorbeur sur le comportement thermique d'un capteur solaire plan à air à double passe , en utilisant le code Fluent pour étudier l'effet du matériau de l'absorbeur sur 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 et Gambit.

Abstract

In nature, there are several sources of renewable energy, including kneading solar energy. Having multiple uses: solar water heaters, solar houses and solar cooling systems.

All these systems are based on a device called a solar collector.

For this purpose, I made numerical simulations of the influence of the absorber material on the thermal behavior of a dual-pass air solar collector, using the fluent code to study the effect of the material of the absorber. The absorber on the dynamic behavior and the air flow of the recent thermal program.

Key words: Solar radiation, absorber, double pass solar collector, thermal transfer, Fluent and Gambit.

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...

تعتمد جميع هذه الأنظمة على جهاز يسمى مجمّع الطاقة الشمسية

لهذا الغرض ، لقد قمت بعمل محاكاة عديدة لتأثير مادة الامتصاص على السلوك الحراري لمجمع الطاقة الشمسية المزدوج الممر باستخدام برنامج الفلويونت لدراسة تأثير مادة الامتصاص على السلوك الديناميكي و الحراري لتدفق الهواء لهذا الاخير.

مفتاح الكلمات : الإشعاع الشمسي, الممتص, لاقط شمسي مزدوج التمرير, الانتقال الحراري, الجامبيت و الفلويونت.