

People's Democratic Republic of Algeria  
Ministry of Higher Education and Scientific Research  
Mohamed Boudiaf University of M'sila  
Faculty of Technology

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة المسيلة  
كلية التكنولوجيا



---

Département de Génie Mécanique

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

### MASTER

En Génie Mécanique

Option : Energétique

Chelali Riadh & Nouibat Brahim

### Thème

---

## SIMULATION NUMERIQUES D'UN CHAUFFE-EAU SOLAIRE A AILETTES

---

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Qualité
M <sup>r</sup> BENGUESMIA HANI	MCA	Président
M <sup>me</sup> BENKHERBACHE SOUAD	MCA	Encadreur
M <sup>r</sup> KHAMA RIDA	MCA	Examineur

Année Universitaire : 2021/ 2022

N° d'ordre : GM/...../2022

# DÉDICACES

À L'ÂME DE MA CHÈRE GRAND-MÈRE QUI A IMPLANTÉ EN MOI  
LES PRINCIPES DE BONTÉ ET D'AMOUR POUR LES PERSONNES  
QUE J'AIMAIS PLUS QUE MES PARENTS

AU PROPRIÉTAIRE D'UNE BIOGRAPHIE PARFUMÉE ET D'UNE  
PENSÉE ÉCLAIRÉE, CAR IL AVAIT LE PREMIER CRÉDIT POUR  
MES ÉTUDES SUPÉRIEURES, MON PÈRE BIEN-AIMÉ, QUE DIEU  
PROLONGE SA VIE.

À CEUX QUI M'ONT MIS SUR LE CHEMIN DE LA VIE, M'ONT CALMÉ  
ET ONT PRIS SOIN DE MOI JUSQU'À CE QUE JE DEVIENNE  
VIEILLE, MA CHÈRE MÈRE, QUE DIEU BÉNISSE SON ÂME.

À MES FRÈRES, À CEUX QUI ONT EU UN GRAND IMPACT SUR DE  
NOMBREUX OBSTACLES ET DIFFICULTÉS, À TOUS MES ESTIMÉS  
PROFESSEURS, QUI N'ONT PAS HÉSITÉ À ME TENDRE LA MAIN.

JE TE DÉDIE MES RECHERCHES

Chelali Ryad

# *Dédicaces*

*Je dédie ce mémoire à*

*Mes parents*

*Ma mère, qui a travaillé pour mon succès pour son amour son soutien.*

*Mon père, qui peut se vanter et trouver ici à la suite des années de sacrifices et de difficultés pour m'aider.*

*Mes frères Alssadik, Halim, Adel, Moussa, Abdelrazzak, mes sœurs, mon neveu Mohammed, et toute la famille Nouibat*

*Je n'oublie pas tous mes amis surtout Moussa, Amin, Abderrahman et hamada*

*Nouibat Brahim*

## *Remerciements*

*Tout d'abord, nous remercions Allah pour ses bénédictions.*

*Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué à notre succès et aidés lors de la rédaction de ce mémoire.*

*Nous voudrions dans un premier temps remercier, directrice de mémoire*

*M<sup>me</sup>, Benkherbache Souad, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion.*

*Nous remercions bien sure les membres de jury d'avoir accepté de juger ce travail.*

*Nous remercions également toute l'équipe pédagogique du département des sciences techniques à l'université de M'sila.*

*Mos parents, et nos amis pour leur soutien constant et leurs encouragements.*

## Sommaire

### Dédicaces

### Remerciements.

Nomenclature.....	i
Liste des figures.....	iii
Liste des Tableaux.....	vi
<b>Introduction Générale.....</b>	<b>vii</b>

### Chapitre I

#### Les capteurs solaires

I.1.Introduction.....	1
I.2.L'énergie solaire thermique.....	1
I.3.Principes de capteur solaire thermique.....	1
I.4.Composants des capteurs solaires thermiques.....	2
I.4.1.Le transfert de l'énergie .....	3
I.4.2.Le stockage.....	3
I.5.Les différents modèles des capteurs solaires thermiques.....	3
I.5.1. Types des capteurs solaires plans .....	3
I.5.1.1. Les capteurs plans sans vitrage .....	3
I.5.1.2. Les capteurs plans vitrés.....	4
I.5.2. Les capteurs sous vide.....	5
I.5.3.Le capteur cylindro-parabolique.....	5
I.5.4.Le capteur CPC (Compound Parabolique Concentration).....	6
I.6.Constituants d'un capteur solaire plan.....	7
I.6.1.La couverture transparente.....	7
I.6.2.Partie absorbante.....	7
I.6.3.L'isolation thermique.....	8
I.6.4.Le coffre.....	9
I.7.Paramètres régissant le fonctionnement d'un capteur solaire plan.....	9
I.7.1.Paramètres externes.....	9
I.7.2. Paramètres internes.....	9
I.8. L'utilisation des capteurs.....	9
I.9. Orientation des capteurs.....	9
I.10.Synthèse Bibliographique.....	10
I.11. Conclusion.....	13

### Chapitre II

#### Le Gisement Solaire

II.Introduction.....	14
II.1.Le soleil.....	14
II.2.La constante solaire.....	14
II.3.Aspects géométriques du rayonnement solaire.....	15
II.4.Mouvements de la terre.....	15
II.5.La sphère céleste.....	15
II.6.Les coordonnées célestes.....	16
II.6.1.Les coordonnées géographiques.....	16
II.6.2.Les coordonnées horaires.....	17
II.7. Les coordonnées horizontales.....	18
II.8. Le temps solaire.....	19
II.8.1.Le Temps Solaire Vrai (T.S.M).....	19
II.8.2.Le Temps Solaire Moyen (T.S.M).....	19
II.8.3.Le Temps Universel (T.U).....	20

II.8.4.Le Temps Légal (TL).....	20
II.8.5. le Temps Civil.....	20
II.9. Direction des rayons solaires par rapport à un plan.....	21
II.10.Le rayonnement solaire.....	23
II.11.Les composants de rayonnement solaire.....	23
II.11.1.Le rayonnement direct sur un plan horizontal.....	23
II.11.2.Rayonnement solaire diffus sur un plan horizontal.....	23
II.11.3.Rayonnement solaire diffus sur un plan incliné .....	24
II.11.4. Rayonnement global.....	24
II.13.Présentation de différents instruments de mesure du rayonnement solaire.....	24
II.14.Le gisement solaire en Algérie.....	26
II.15.Conclusion.....	27

### Chapitre III

#### Formulation Mathématique et Procédures de Simulation

III.1 Introduction.....	28
III.2 Géométrie du problème.....	28
III.3 Hypothèses.....	29
III.4. Equations générales de conservation.....	30
III.5. Bilan thermique du capteur.....	30
III. 6.Les coefficients des échanges thermiqu.....	32
III.7. Le rendement.....	34
III.8. Procédures de Simulations.....	34
III.9. Présentation des logiciels Gambit et Fluent.....	35
III.9.1 Préprocesseur Gambit.....	35
III.9.2. Code Fluent.....	35
III.9.2.1. Les avantages de fluent(CFD).....	36
III.10. Etapes principales de simulation.....	36
III.11.Démarrage de Gambit.....	36
III.11.1.Construction de la géométrie.....	37
III.11.2.Conditions aux limites et définition des domaines.....	38
III.11.3.Exportation du maillage de Gambit.....	39
III.11.4. Types des fichiers qui sont créés par gambit.....	40
III.12. Simulation sous FLUENT.....	40
III.12.1. Démarrage de Fluent.....	40
III.12.2.Importation de la géométrie(*.msh).....	41
III.12.3.Vérification du maillage importé.....	41
III.12.4.Lissage du maillage (Smooth and swap the grid) .....	41
III.12.5.Vérification de l'échelle.....	41
III.12.6 Présentation de la géométrie.....	41
III.12.7 Choix du solveur.....	42
III.12.8 : Choix de solveur.....	42
III.12.9. Autorisation du transfert de chaleur.....	42
III.12.10.Choix du type d'écoulement.....	42
III.12.11.Choix du modèle de rayonnement.....	43
III.12.12 Définir les propriétés des matériaux.....	44
III.12.13.Définir les conditions aux limites.....	45
III.12.14. Les facteurs de sous- relaxation.....	46
III.12.15 Initialisation du calcul.....	46
III.12.16. Choix du résidu.....	47
III.12.17 Calcul.....	48

III.12.18 Visualisation des résultants.....	49
III.12.19 Sauvegarde de fichier.....	49
III.13 Conclusion.....	49
<b>Chapitre VI</b>	
<b>Résultats et discussions</b>	
IV.1. Introduction.....	50
IV.2. Les paramètres utilisés .....	50
IV.3. Influence du maillage.....	51
IV.4. Influence du nombre de Reynolds.....	52
IV.4.1 Contours de température.....	52
IV.4.2 Contours de vitesse.....	56
IV.4.3 Contours de pression.....	61
IV.5. Influence de l'angle d'inclinaison.....	66
<b>Conclusion Gènèrale</b> .....	68
<b>Références</b> .....	69

## Nomenclature

$M_v$  : Masse du vitrage ,(kg)

$C_{pv}$ : Chaleur spécifique du vitrage, (J/kg .K)

$A_v$  : Surface de la vitre, (m<sup>2</sup>)

$P_v$ : Quantité d'énergie absorbée pour le vitrage, (W/m<sup>2</sup>)

$h_{vv}$ : Coefficient d'échange thermique par convection entre la vitre et l'ambiance, (W/m<sup>2</sup>.K)

$h_{rv}$  : Coefficient d'échange thermique par rayonnement entre la vitre et le ciel, (W/m<sup>2</sup>.K)

Température du vitrage, (K)

$T_a$  : Température ambiante (K)

$T_{ciel}$  : Température du ciel (K)

La puissance absorbée par le vitrage  $P_v$  est calculée par l'équation suivante

$P_{glob}$ : représente l'intensité de rayonnement global incident sur un plan incliné,

$\alpha_v$  : Représente le coefficient d'absorption du vitrage

$M_{abs}$  : Masse de l'absorbeur,(kg)

$Cp_{abs}$  : Chaleur spécifique de l'absorbeur, (J/kg.K)

$A_{abs}$ : Surface de l'absorbeur,(m<sup>2</sup>)

$h_{vabs}$ : Coefficient d'échange thermique par convection entre l'absorbeur et le fluide, (W/m<sup>2</sup>.K)

$h_{rabs}$ : Coefficient d'échange thermique par rayonnement entre l'absorbeur et l'isolant, (W/m<sup>2</sup>.K)

$T_f$  et  $T_{is}$ : Représentent respectivement la température du fluide et de l'isolation,(K)

La puissance absorbée par l'absorbeur  $P_{abs}$ (W/m<sup>2</sup>)

$\alpha_{abs}$  : Coefficient d'absorption de l'absorbeur

$M_{is}$ : Masse de l'isolant,(kg)

$C_{is}$ : Chaleur spécifique de l'isolant, (J/kg.K)

$A_{bis}$  : Surface del'isolant, (m<sup>2</sup>)

$h_{ci}$  : Coefficient d'échange thermique par conduction à travers l'isolant, (W/m<sup>2</sup>.K)

$h_{ra}$  : Coefficient d'échange thermique par rayonnement entre l'isolant et le sol, (W/m<sup>2</sup>.K)

$h_{va}$  : Coefficient d'échange thermique par convection de l'air qui se trouve entre l'isolant et le sol,

(W/m<sup>2</sup>.K)

$T_{\text{sol}}$  : Température du sol, (K)

$e$  : Epaisseur de la paroi,(m)

$k$  : Conductivité thermique du matériau, (W /m<sup>2</sup>.K)

$k_v$  et  $e_v$ : Représentent respectivement la conductivité thermique et l'épaisseur du vitrage.

$\epsilon_v$ : Emissivité du vitrage

$K_{\text{air}}$  : Conductivité thermique de l'air, (W/m.K)

$D_h$  : Le diamètre hydraulique, (m)

$Nu$ : le nombre de Nusselt.

$P_u$ : la puissance utile récupérée par le fluide

$P_{ab}$ : la puissance solaire arrivant sur le capteur.

$A$ : surface du capteur.

$G$ : flux solaire global incident.

$\dot{m}$  : le débit massique du fluide

$C_p$ : La chaleur massique

$\sigma$ : Constante de Stephan Boltzman

## Liste des figures

Figure I.1	Capteur solaire thermique	2
Figure I.2	Capteurs plans sans vitrage[8]	4
Figure I.3	Capteur plan vitré	5
Figure I.4	Capteur sous vide	5
Figure I. 5	Système à réflecteur cylindro-parabolique	6
Figure I.6	Coupe schématique du capteur CPC [9]	6
Figure I.7	Capteur avec des chicanes rectangulaire sur la plaque inférieure en bois[21]	11
Figure I.8	Disposition et Formes des obstacles [22] (a) obstacles DCL, (b) obstacles OCL, (c) obstacles TL	12
Figure I.9	disposition des plaques rectangulaires minces orientées parallèlement à l'écoulement [23]	12
Figure I.10	Capteur solaire à air[24]	13
Figure II.1	Schématisation du mouvement de la terre autour du soleil	15
Figure II.2	La sphère Celeste	16
Figure II.3	Les coordonnées géographique	17
Figure II.4	Coordonnées horaires	18
Figure II.5	Coordonnées horizontales	19
Figure II.6	Représentation des vecteurs unitaires	21
Figure II.7	Les composants du rayonnement solaire	23
Figure II.8	Le radiomètre de Crookes	25
Figure II.9	Le pyranomètre	25
Figure II.10	Le pyréliomètre	26
Figure II.11	Carte du monde de l'enseillent moyen annuel [21]	26
Figure III.1	Vue 2D de la composition étudiée	29
Figure III.2	Lancement du Gambit	37
Figure III.3	la Forme géométrique	37
Figure III.4	Maillage de géométrie	38
Figure III.5	Maillage de géométrie	38
Figure III.6	Conditions aux limites	39

Figure III.7	Vue globale de Fluent	40
Figure III.8	vérification de l'échelle	41
Figure III.9	Choix de solveur	42
Figure III.10	Autorisation l'équation de l'énergie	42
Figure III.11	Choix du type d'écoulement	43
Figure III.12	Choix du modèle de rayonnement	43
Figure III.13	Calculs solaires	44
Figure III.14	propriétés physiques des matériaux	44
Figure III.15	Choix de la pression de référence	45
Figure III.16	Valeurs des conditions aux limites	45
Figure III.17	: Choix des facteurs de sous relaxation et les schémas de discrétisation	46
Figure III.18	Initialisation de la solution	47
Figure III.19	Choix des résidus	47
Figure III.20	Choix des nombres des itérations	48
Figure III.21	Allure de l'évolution des résidus de calcul	48
Figure IV.1	Variation de la température en fonction du maillage	52
Figure IV.2	Variation du rendement en fonction du maillage	52
Figure IV.3	Variation du nombre de Nusselt en fonction du maillage	52
Figure IV.4	Variation des contours de la température pour <b>Re=100</b>	53
Figure IV.5	Variation des contours de la température pour <b>Re=150</b>	54
Figure IV.6	Variation des contours de la température pour <b>Re=500</b>	55
Figure IV.7	Variation des contours de la température pour <b>Re=800</b>	56
Figure IV.8	Variation des contours de Vitesse pour <b>Re=100</b>	57
Figure IV.9	Variation des contours de vitesse pour <b>Re=150</b>	58
Figure IV.10	Variation des contours de vitesse pour <b>Re=500</b>	59
Figure IV.11	Variation des contours de la température pour <b>Re=800</b>	60
Figure IV.12	Allure des vecteurs de vitesse pour Re=150	61
Figure IV.13	Variation des contours de pression pour <b>Re=100</b>	62

Figure IV.14	Variation des contours de pression pour <b>Re=150</b>	63
Figure IV.15	Variation des contours de pression pour <b>Re=500</b>	64
Figure IV.16	Variation des contours de pression pour <b>Re=800</b>	65
Figure IV.17	Variation du nombre de Nusselt Nu en fonction de Re	67
Figure IV.18	Variation du rendement en fonction de Re	67
Figure IV.19	Variation de la température de l'absorbeur en fonction de Re	67
Figure IV.20	Variation de la température de en fonction de Re	67

## **Liste des Tableaux**

Tableau IV.1 Paramètres utilisés dans les simulations

## Introduction Générale

L'énergie renouvelable est une source d'énergie qui se renouvelle assez rapidement pour être considérée comme inépuisable à l'échelle de l'homme. Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués par les astres, principalement le Soleil (rayonnement), mais aussi la Lune (marée) et la Terre (énergie géothermique).

L'énergie solaire est l'énergie que dispense le soleil par son rayonnement, directement ou de manière diffuse à travers l'atmosphère. Sur Terre, l'énergie solaire est à l'origine du cycle de l'eau et du vent. Le règne végétal, dont dépend le règne animal, l'utilise également en la transformant en énergie chimique via la photosynthèse. A l'exception de l'énergie nucléaire, de la géothermie et de l'énergie marémotrice, l'énergie solaire est à l'origine de toutes les énergies sur Terre.

Grâce à divers procédés, l'énergie solaire peut être transformée en une autre forme d'énergie utile pour l'activité humaine, notamment en chaleur, en électricité ou en biomasse.

L'application de l'énergie solaire peut être regroupée en deux catégories principales :

Les applications à hautes températures (les concentrateurs solaires et capteurs solaires sous vide), et les applications à basses températures : (les capteurs plans comme destinés pour le chauffage, la réfrigération et le séchage...etc.).

La manière la plus simple et la plus efficace d'utiliser l'énergie solaire est de la convertir en énergie thermique pour des applications de chauffage en utilisant les capteurs plans.

Ceux-ci, en raison de leur simplicité sont des dispositifs bon marché et très largement répandus.

Les applications principales des capteurs solaires à air sont le chauffage des locaux ; le chauffage des serres et le séchage. Le capteur solaire occupe une place importante parmi les systèmes de chauffage solaire en raison de l'utilisation minimale des matériaux et du faible coût. Ce pendant l'efficacité thermique des capteurs solaires à air, en comparaison aux chauffe-eau solaires s'est avérée généralement inférieure en raison du faible transfert de chaleur entre l'absorbeur et l'air entrant dans le conduit. Afin de les rendre économiquement viables, leur efficacité thermique doit être améliorée en augmentant le coefficient de transfert thermique entre l'absorbeur et l'air. Il existe plusieurs méthodes de base pour améliorer ce dernier. Parmi lesquelles l'augmentation de la surface d'échange en employant des surfaces ondulées, plissées ou étendues l'insertion de chicane sur la surface de l'absorbeur.

Dans ce mémoire, nous avons réalisé la simulation numérique à 3D d'un capteur solaire thermique plan à air et dont l'absorbeur est muni d'ailettes longitudinale.

L'objectif de cette étude est de voir l'amélioration des performances de ce capteur en variant le nombre de Reynolds (cas laminaire,  $Re=100$  à  $800$ ) pour des angles d'inclinaison ( $\alpha=0^\circ$ ,  $30^\circ$  et  $\alpha=45^\circ$ ). Les outils de simulations sont : Le logiciel "Gambit" pour la construction de la géométrie et l'introduction des conditions aux limites et le logiciel "Fluent" pour simuler le phénomène de transfert de chaleur avec rayonnement solaire.

Ce mémoire est organisé en quatre chapitres comme suit :

Dans le premier chapitre, on présente des généralités sur les différents types de capteurs solaires et ainsi que leurs domaines d'applications suivie d'une description des principaux travaux réalisés sur les capteurs solaires plans.

Le deuxième chapitre comporte des études descriptives du rayonnement solaire sur le plan géométrique et énergétique.

Le troisième chapitre est réservé à la formulation mathématique des équations mathématiques gouvernant le phénomène puis la présentation des outils de simulation Gambit et Fluent.

Le quatrième chapitre, regroupe l'ensemble des résultats de simulations.

Enfin, nous terminons ce travail par une conclusion qui généralise les résultats obtenus.

# Chapitre I

## Les Capteurs solaires Thermiques

### I. Introduction

L'exploitation de l'énergie solaire au moyen de capteurs relève de deux technologies bien distinctes : l'une produit des calories, c'est l'énergie solaire thermique, et l'autre produit de l'électricité et c'est l'énergie photovoltaïque. Abondante, inépuisable et non polluante, ce sont ces caractéristiques qui ont suscité l'intérêt à ce type d'énergie, malgré le coût d'exploitation lourd au départ (coûts de l'installation que ce soit photovoltaïque, thermique ou hybride), qui fait qu'elle n'est pas totalement gratuite. L'utilisation de cette énergie nécessite une certaine connaissance, pour cette raison on va définir dans le deuxième chapitre quelques notions sur le gisement solaire comme la géométrie solaires, les données astronomiques [1].

### I.1.L'énergie solaire thermique

L'énergie solaire thermique désigne l'énergie récupérée à partir de la lumière du soleil par des capteurs solaires thermiques vitrés pour assurer le chauffage direct de l'eau et des locaux. La chaleur concentrée par les panneaux est transférée à un fluide caloporteur. Quatre mètres carrés permettent de répondre aux besoins en eau chaude d'une famille de quatre personnes et dix à vingt mètres carrés assurent le chauffage d'une maison individuelle. Avec un système d'énergie solaire thermique, un chauffage d'appoint reste nécessaire pour les périodes climatiques les plus défavorables [2].

### I.2. Le capteur solaire thermique

Un capteur solaire thermique (ou capteur héliothermique ou collecteur solaire) est un dispositif utilisé pour recueillir l'énergie solaire transmise par rayonnement et la communiquer à un fluide caloporteur (gaz ou liquide) sous forme de chaleur, (Fig. I.1). Cette énergie calorifique peut ensuite être utilisée pour le chauffage de bâtiments, pour la production d'eau chaude sanitaire ou encore dans divers procédés industriels.

Le premier panneau solaire a été construit en 1954 par les laboratoires Bell. Il a été appelé batterie solaire mais c'était juste un effet d'annonce car il était trop coûteux à produire. Ceux sont les satellites qui ont réellement fait avancer l'énergie solaire dans les années 1960 lors de la course à l'espace [3].

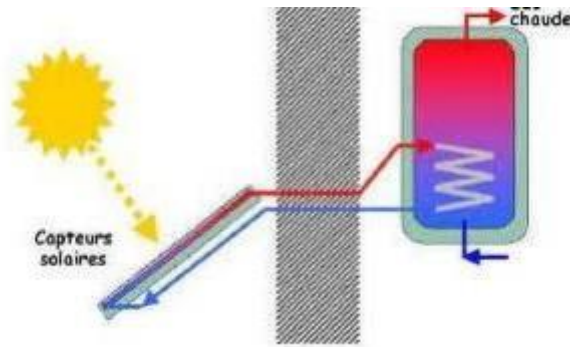


Figure I.1 : capteur solaire thermique

### I.3.Principe des capteurs solaires thermique

Les capteurs solaires thermiques constituent le cœur des installations destinées à transformer l'énergie transmise par le soleil en chaleur.

Le rayonnement solaire est absorbé par une surface noire, parcourue par un fluide caloporteur qui extrait l'énergie thermique et la transfère vers son lieu d'utilisation ou de stockage.

Une isolation thermique est disposée à l'arrière et sur la périphérie du capteur pour limiter les déperditions par conduction [3].

Les capteurs de chaleur solaire sont des appareils transformant l'énergie du rayonnement solaire en énergie thermique en se basant sur l'effet de serre[4].

### I.4.Composants des capteurs solaires thermiques

Tout système de conversion de l'énergie solaire doit comprendre les éléments suivants [5]

- 1- Une surface de captation du rayonnement solaire.
- 2- Un circuit caloporteur qui assure le transfert de l'énergie extraite du capteur à l'élément d'accumulation (stockage des calories), les fluides utilisés généralement comme fluide caloporteur sont : l'eau et l'air.
- 3- Un stockage thermique.
- 4- Un réseau de distribution.

### **I.4.1. Le transfert de l'énergie**

Le transfert de l'énergie d'un capteur solaire thermique vers le ballon de stockage s'effectue de deux façons différentes :

- Soit par circulation avec une pompe commandée par un dispositif de régulation.
- Soit par circulation naturelle ou thermosiphon et qui est basé sur le principe de la dilatation causée par une augmentation de la température. En effet l'augmentation de la température du fluide conduit à une diminution de la masse volumique. De ce fait un liquide chaud est plus léger qu'un liquide froid et aura donc la première force qui va mettre le liquide caloporteur en mouvement pour assurer le fonctionnement de chauffe-eau solaire[5].

### **I.4.2. Le stockage**

Afin d'assurer le fonctionnement d'un chauffe-eau solaire, il est nécessaire de pouvoir stocker l'eau chaude dans un réservoir, ceci afin de pouvoir l'utiliser pendant la nuit ou pendant les journées sans soleil. Le ballon de stockage doit être calorifugé. Le calorifugeage devra être disposé de façon à permettre la manœuvre et le démontage pour l'entretien des appareils.

Le stockage de l'énergie captée permet de pallier le caractère discontinu de l'énergie solaire. L'accumulation de l'énergie dans le stockage se traduit par une élévation de sa température. Pour apprécier l'efficacité d'un système de stockage, il faut rappeler que le rendement d'un capteur dépend essentiellement de la température moyenne du fluide qui le traverse, donc de la température de fluide au retour du stockage [6].

## **I.5. Les différents modèles des capteurs solaires thermiques**

Afin d'intercepter l'énergie provenant du rayonnement solaire, il existe plusieurs sortes de capteurs solaires [7].

### **I.5.1. Types des capteurs solaires plans**

#### **I.5.1.1. Les capteurs plans sans vitrage**

C'est le modèle le plus simple, le plus économique mais le moins performant. Il est généralement constitué d'une simple plaque de métal ou de matière plastique (absorbeur) sur laquelle sont collés plusieurs tubes porteurs de fluide caloporteur. Les capteurs plans non

vitrés ne sont pas isolés sur la face avant, c'est pourquoi ils répondent mieux à des applications à basse températures (inférieure à 30°C). Le domaine d'utilisation principal de ce type de capteurs est le chauffage des piscines extérieures. Parce qu'ils n'ont pas de vitrage, ces capteurs absorbent une grande partie de l'énergie solaire. Toutefois, parce qu'ils ne sont pas isolés sur leur face avant, la grande partie de la chaleur absorbée est perdue lorsqu'il y a notamment du vent et que la température extérieure n'est pas assez élevée, (fig.I.2). La typique intégration architecturale qu'autorise ce type de produit permet la mise en œuvre de surface plus grande, pour compenser la différence d'efficacité avec les capteurs plans vitrés, en particulier pendant l'hiver.



Figure I. 2 : Capteurs plans sans vitrage [8]

### I.5.1.2. Les capteurs plans vitrés

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

Ces capteurs conviennent mieux à des applications à température modérée où les températures souhaitées se situent entre 30°C et 70°C. Les capteurs à circulation d'eau sont plus couramment utilisés pour la production de l'eau chaude sanitaire à l'échelle individuelle ou collective, pour un usage industriel, ainsi que pour les piscines intérieures, (Fig.I.3).

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



Figure I. 3 : Capteur plan vitré

### I .5.2. Les capteurs sous vide

Les capteurs solaires "sous vide" (Fig.I.4). sont composés d'une série de tubes en verre transparents. Dans chaque tube il y a une plaque absorbante pour capter le rayonnement solaire et un échangeur pour favoriser le transfert de l'énergie thermique. Les tubes sont mis sous vide pour éviter les déperditions thermiques convectives de la plaque absorbante et la plaque absorbante reçoit un traitement sélectif pour empêcher le rayonnement à ce dissiper sous forme de grande longueur d'onde. Ainsi, on peut réaliser des capteurs solaires performants sans une isolation thermique rapportée ou un coffre de protection.[7].7



Figure I.4 : Capteur sous vide

### I.5.3.Le capteur cylindro-parabolique

Les concentrateurs solaires utilisent des surfaces réfléchissantes (miroirs) paraboliques ou cylindro-paraboliques (fig.I.5) pour concentrer les rayons solaires respectivement dans le foyer ponctuel ou dans le foyer linéaire de ces surfaces. Dans le foyer ponctuel ou le long du foyer linéaire se trouvent les récepteurs (absorbeurs) qui captent la chaleur solaire ainsi concentrée. Naturellement, ces concentrateurs doivent suivre le mouvement du soleil.



Figure I. 5 : Système à réflecteur cylindro-parabolique

#### I.5.4.Le capteur CPC (Compound Parabolique Concentration)

C'est un capteur plan ou à tubes sous vide avec un réflecteur "concentrateur à segments paraboliques" (fig.I.6).Les réflecteurs CPC ont une géométrie qui permet au rayonnement solaire direct et diffus d'atteindre l'absorbeur, car la surface de l'absorbeur est cylindrique couvrant la totalité de la surface du tube intérieur. Ainsi, la partie face au soleil peut capter le rayonnement direct et la partie cachée peut capter le rayonnement par réflexion [9].

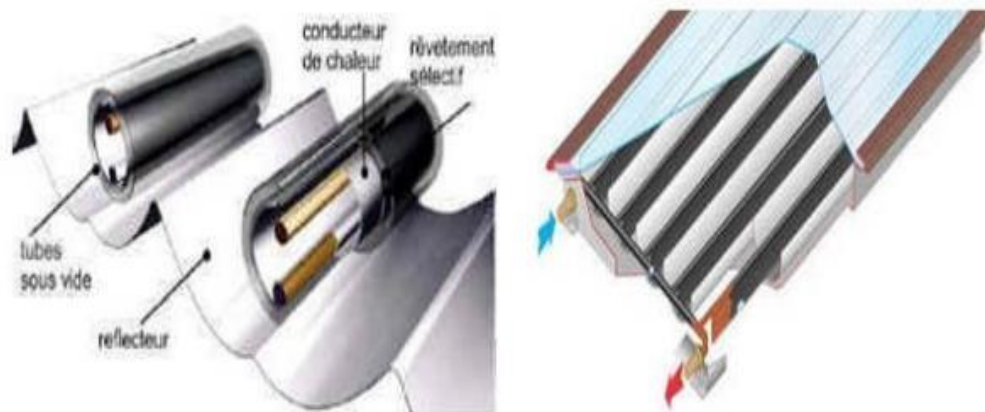


Figure I. 6 : Coupe schématique du capteur CPC [9]

## I.6. Constituants d'un capteur solaire plan

Les techniques et les matériaux utilisés dans la fabrication des capteurs solaires sont similaires à ceux employés dans le secteur traditionnel du chauffage, du sanitaire et des verrières. Généralement, un capteur solaire est composé des éléments suivants[10]

- vitrage
- absorbeur
- fluide caloporteur
- isolant

### I.6.1. La couverture transparente

La couverture est la surface à travers laquelle le rayonnement solaire non concentré est admis dans le capteur. On ne peut utiliser que des matériaux transparents. L'intérêt d'une couverture transparente habituelle pour le rayonnement solaire est d'autant plus grand que la température de fonctionnement du convertisseur est élevée. Cette couverture doit assurer trois fonctions essentielles :

- 1- Recevoir le maximum du rayonnement incident sans réflexion ni diffusion importante.
- 2- Transmettre la plus part du rayonnement reçu.
- 3- S'opposer aux déperditions thermiques par convection et rayonnement.

Les inconvénients du verre sont sa fragilité, son poids et son prix élevé en double vitrage.

L'inconvénient principal des matériaux plastiques est la dégradation de certaines de leurs propriétés avec le temps pour certains, ou le prix élevé pour d'autres [9].

### I.6.2. Partie absorbante

Il a pour fonction d'absorber le rayonnement solaire incident, de le convertir en chaleur et de transmettre celle-ci à un fluide caloporteur, tout en minimisant les pertes. En général, l'absorbeur n'est qu'une plaque plane en métal dont la couche superficielle donnant sur le soleil, doit avoir d'un coefficient d'absorption le plus élevé possible. Les meilleurs coefficients sont de l'ordre de 0,95.

L'absorbeur doit assurer les fonctions suivantes

- Absorber la plus grande partie du rayonnement incident.
- Transmettre la chaleur produite par cette absorption vers le fluide caloporteur.
- N'accepter que le minimum d'échanges thermiques vers l'extérieur pour rendre efficace cette partie [11].

Pour évacuer la chaleur emmagasinée par la surface absorbante, on utilise habituellement soit

l'air, soit l'eau, des mélanges eau glycol sont aussi employés à cause des conditions climatiques, ces mélanges ont une chaleur spécifique inférieure à celle de l'eau pure. Par rapport à l'eau, l'air n'a pas de problème de gel l'hiver ou d'ébullition l'été et il n'y a pas de problème de corrosion. Néanmoins l'air ne peut servir qu'au chauffage de locaux et les transferts thermiques sont moins bons qu'avec l'eau.

D'autre part, quelque soit le système, le contact entre les tuyaux véhiculant le fluide et la plaque absorbante doit être très intime, soit par emboutissage, soit par soudure. De même, l'espacement entre les tuyaux devra être rigoureusement calculé en fonction du diamètre du tuyau de l'épaisseur de la plaque et des matériaux employés. Les tuyaux de circulation du fluide en contact avec l'absorbeur seront de préférence placés en parallèle plutôt qu'en serpentin

### **I.6.3.L'isolation thermique**

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

#### **➤ 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 l'ordre de 2.5 cm. En plaçant deux vitres, on limite les pertes dues à la réémission ainsi que les pertes par conduction et par convection [10].

#### **➤ 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. Le choix du matériau à utiliser dépend de [9].

- Sa résistance aux températures de fonctionnement.
- La permanence de ces caractéristiques dans le temps (conductivité thermique).
- La résistance aux chocs, à l'humidité, au feu, à l'eau de pluie....etc.

### I.6.4. Le coffre

Le coffre fabriqué couramment en aluminium ou en bois, enferme l'absorbeur et l'isolation thermique du capteur, les protégeant ainsi contre l'humidité et les détériorations mécaniques.[11].

## I.7. Paramètres régissant le fonctionnement d'un capteur solaire plan

On peut les classer en deux catégories [12] :

### I.7.1. Paramètres externes

- Paramètres d'ensoleillement : éclairement, position du soleil, durée d'insolation.
- Température extérieure sèche.
- Vitesse du vent sur le capteur.

### I.7.2. Paramètres internes

On distingue :

a) paramètres géométriques :

- paramètres de position : inclinaison, orientation du capteur.
- La surface du capteur

b) paramètres de fonctionnement :

- température d'entrée du fluide caloporteur.
- le débit du fluide caloporteur.
- la température des différentes parties du capteur [12].

## I.8. L'utilisation des capteurs

- Chauffer les locaux et fournir l'eau chaude sanitaire.
- Activer la croissance des végétaux.
- Sécher les grains et les fourrages.
- Faire fonctionner des moteurs thermiques.
- Alimenter des machines de réfrigération.

Les capteurs plans peuvent assurer des températures variant de **30 C°** à **150 C°** [13].

## I.9. Orientation des capteurs

Les capteurs solaires peuvent être :

➤ **Des capteurs fixes :**

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

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

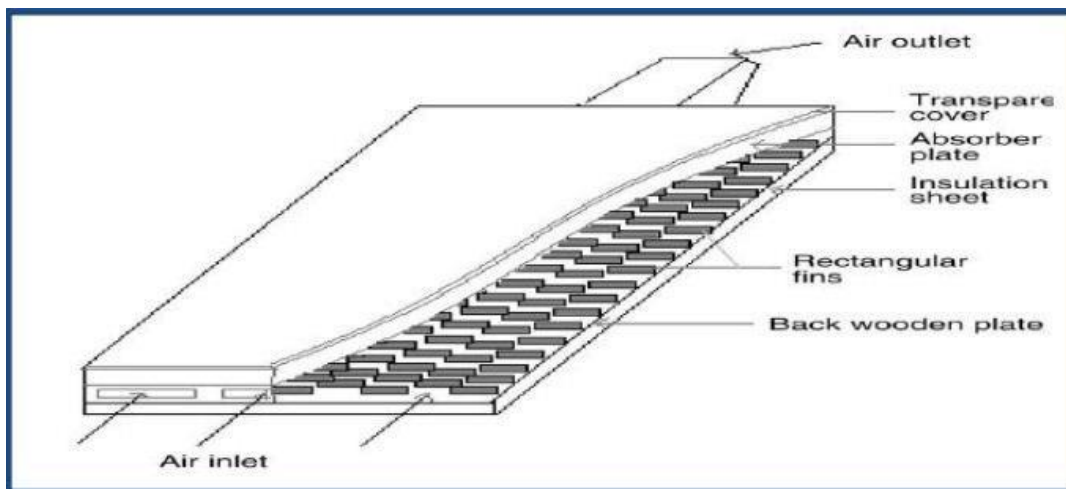
➤ **Des capteurs à poursuite**

Le capteur solaire peut être muni d'un dispositif de guidage automatique dans la direction de provenance du flux lumineux, ce qui va améliorer le rendement. [1].

### **I.10.Synthèse Bibliographique**

Les capteurs solaires plans à air ont fait l'objet de nombreux travaux qui peuvent être de nature théorique, numérique ou expérimentale. Leur classification dépendra de plusieurs critères qui peuvent être liés à leurs géométries, les fluides caloporteurs utilisés, le système d'isolation et le système de vitrage. Dans ce paragraphe, nous proposons quelques travaux réalisés sur ce contexte. **Hollands** [14] a étudié le coefficient de transfert thermique entre l'air et l'absorbeur dans le but d'optimiser le dimensionnement du conduit d'air. **Choudhury**[15] s'est intéressé à l'effet de la géométrie du conduit d'air sur l'efficacité du capteur pour 5 différentes configurations, il a montré qu'une grande performance thermique est obtenue pour les capteurs à absorbeurs rugueux. **Mohamad** [16] a proposé un nouveau modèle de capteurs solaires à air dont la particularité est d'avoir un double passage d'air et un absorbeur constitué d'une matrice poreuse, le tout formant un échangeur à contre-courant. L'auteur montre l'excellente efficacité de ce capteur en le comparant à d'autres types de capteurs plus conventionnels. **Mokhtari** [17] a comparé l'effet de la géométrie de l'absorbeur sur l'efficacité du capteur solaire à air en étudiant trois types de capteurs (à lame d'air supérieure, à lame d'air inférieure et à absorbeur incliné). **Semmar** [18] a proposé une modélisation mathématique du fonctionnement d'un capteur solaire plan à air réalisé au CDER. Il a été testé sur le site de Bouzareah, en vue d'être utilisé pour le séchage des produits agro-alimentaires. **D. Gupta** [19], qui a mené une étude expérimentale sur l'effet de la rugosité artificielle de l'absorbeur sur les échanges thermiques et a constaté une nette amélioration en fixant des lamelles de fer transverses sur la partie inférieure de l'absorbeur ce qui augmente le coefficient d'échange thermique. La comparaison entre les performances thermiques de capteurs munis de différents types de rugosités a fait l'objet de plusieurs travaux de recherche. **Karwa** [20] a mené une campagne expérimentale pour étudier l'influence des rugosités artificielles sur le transfert thermique et le facteur de frottement dans un conduit d'air dont l'une des parois est rugueuse et soumise à un flux de chaleur

uniforme. **N.Moumni et al [21]** se sont intéressés aux capteurs plans à air avec des chicane rectangulaires placées perpendiculairement sur le plan d'écoulement dans la veine fluide mobile du conduit, ce qui a permis de produire au sein de la lame un courant d'air plus turbulent entre l'absorbeur et la plaque arrière en bois, ce qui a abouti à une amélioration du rendement de ces capteurs solaires et le coefficient du transfert. Les résultats sont comparés avec ceux obtenus avec un capteur solaire sans chicane (Fig (I.7)), en utilisant deux types d'absorbeurs sélectifs et non sélectifs en aluminium peint en noir.



**Fig. I.7 :** Capteur avec des chicane rectangulaire sur la plaque inférieure en bois[21]

**A. Ahmed-Zaïd** et ses collaborateurs[22] ont présenté des comparaisons entre les résultats obtenus dans les cas du capteur solaire muni d'obstacles et du capteur sans obstacles (SC). Les différentes formes étudiées, à la fois simples et intéressantes, concernent les chicane Delta Cintrées Longitudinalement (DCL), Ogivales Cintrées Longitudinalement (OCL) et Transversales-Longitudinales (TL) (Fig(I.8)). Cette étude a montré que l'usage des chicane dans la veine dynamique d'un capteur solaire plan demeure un moyen efficace pour l'amélioration de ses performances. L'ensemble des résultats présentés montre bien la nette amélioration apportée par l'utilisation des obstacles TL et DCL.

**S.Y. Ali [23]** a réalisé expérimentalement un capteur solaire dont lequel, il a introduit des plaques minces rectangulaires orientées parallèlement à l'écoulement et soudées sur la face inférieure de l'absorbeur (fig(I.9)). Dans ce travail, il a aussi comparé, le cas d'un capteur à double couvertures à celui d'un capteur à triple couvertures. Il a conclu que le capteur à triple couvertures réduit plus les pertes de chaleur vers l'avant et présente des performances

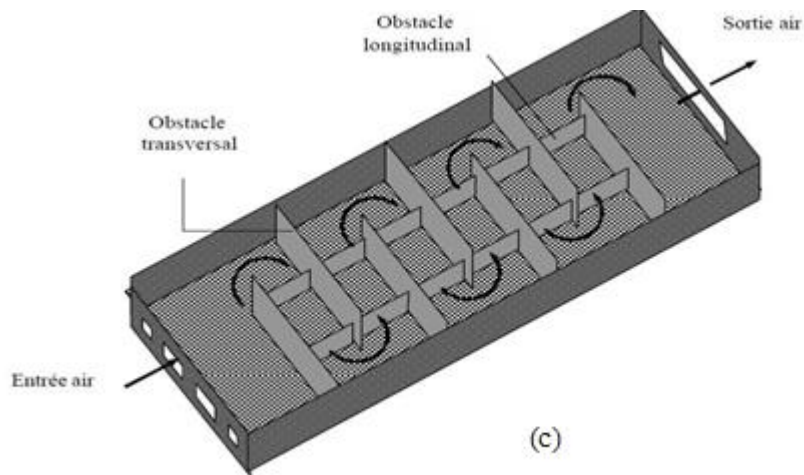
thermiques plus importantes que le cas du capteur à double couverture. L'auteur a montré aussi que l'ajout d'obstacles réduit les pertes, diminue la température de l'absorbeur et augmente le transfert thermique entre l'absorbeur et l'air et par conséquent un meilleur rendement.



(a)



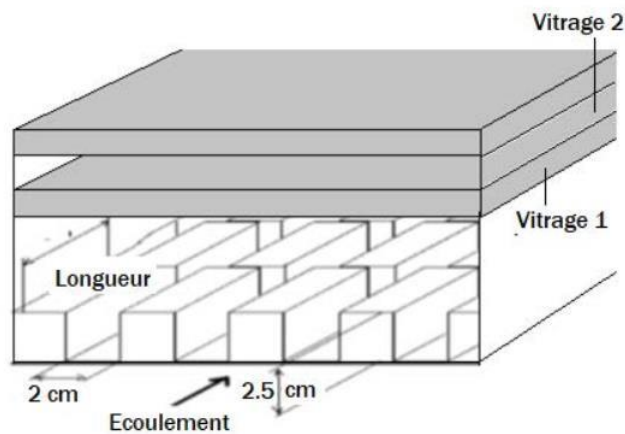
(b)



(c)

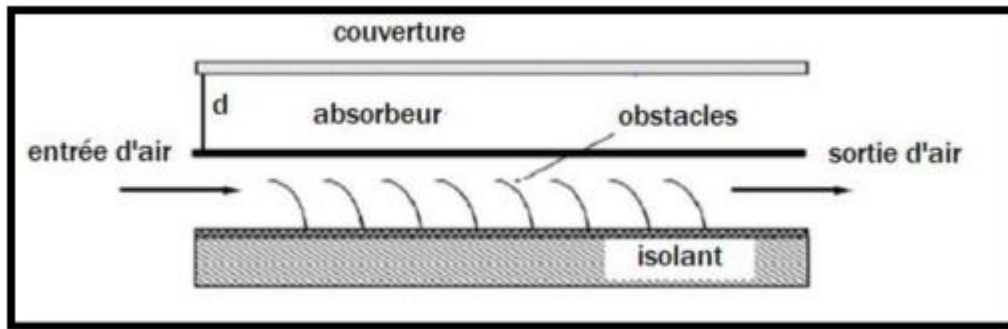
**Fig I.8 :** Disposition et Formes des obstacles [22]

(a) obstacles DCL, (b) obstacles OCL, (c) obstacles TL



**Fig.I.9:** disposition des plaques rectangulaires minces orientées parallèlement à l'écoulement[23]

A. Zaïd et al.[24] Ont proposé une étude expérimentale sur un capteur plan à air qui a montré une insuffisance en termes d'échange thermique entre le fluide caloporteur et l'absorbeur. Ils ont par la suite introduit des chicanes sur l'absorbeur et ont constaté une nette amélioration du rendement du capteur (fig (I.10)).



**Fig(I.10):** Capteur solaire à air[24]

## I.11. Conclusion

Dans ce chapitre une étude descriptive a été présentée sur les capteurs solaires, ses composants, les caractéristiques et les paramètres de fonctionnement influant sur leur efficacité ainsi qu'une revue bibliographique sur les principaux travaux effectués dans ce contexte.

A partir de cette revue bibliographique, nous avons constaté que les recherches ont abouti à des résultats permettant d'améliorer l'efficacité thermique des capteurs solaires et d'exploiter le maximum possible de la production énergétique de ces derniers à partir de l'amélioration des différents paramètres influents sur leur efficacité thermique.

Dans le chapitre suivant nous allons présenter la partie concernant le gisement solaire et les formules mathématiques pour calculer la puissance solaire absorbée soit par le vitrage soit par l'absorbeur du capteur.

## Chapitre II

### Le Gisement solaire

#### II. Introduction

La terre est animée d'un mouvement de rotation autour de l'axe des pôles (nord sud). Le centre de la terre décrit une ellipse ayant le soleil comme foyer. Au lieu de faire l'étude de la terre autour du soleil et de son axe ; il est plus important pour notre étude de s'intéresser au mouvement apparent du soleil dans la sphère céleste.

Sur le plan humain, le soleil a une importance primordiale car il est à l'origine de la vie sur terre, en lui fournissant d'énormes quantités d'énergie, qui permet la présence de l'eau à l'état liquide et la photosynthèse des végétaux. Le rayonnement solaire est aussi responsable du climat et des phénomènes météorologiques [25].

#### II.1. Le soleil

Le soleil est une sphère gazeuse composée presque totalement d'hydrogène. Son diamètre est de 1391000 km (100 fois celui de la terre), sa masse est de l'ordre de 2.1027 tonnes. Toute l'énergie du soleil provient des réactions thermo – nucléaires qui s'y produisent. Elles transforment à chaque seconde 564,106 tonnes d'hydrogène en 560,106 tonnes d'hélium, la différence (4 millions de tonnes) est dissipée sous forme d'énergie ( $E=mc^2$ ), ce qui représente une énergie totale de 36.1022 KW. La terre étant à une distance de 150.106 km du soleil, elle reçoit approximativement une énergie de 1,8.1014 KW [26].

#### II.2. La constante solaire

La valeur de flux du rayonnement solaire "Ic", reçu par une surface perpendiculaire aux rayons solaires placée à la limite supérieure de l'atmosphère terrestre (soit à environ 80 Km d'altitude) varie au cours de l'année avec la distance Terre/Soleil. Sa valeur moyenne "I0" appelée constante solaire est de l'ordre de 1354 W.m<sup>-2</sup>. En première approximation, on peut calculer la valeur de "Ic" en fonction du numéro du jour de l'année "nj" par la relation suivante [27]:

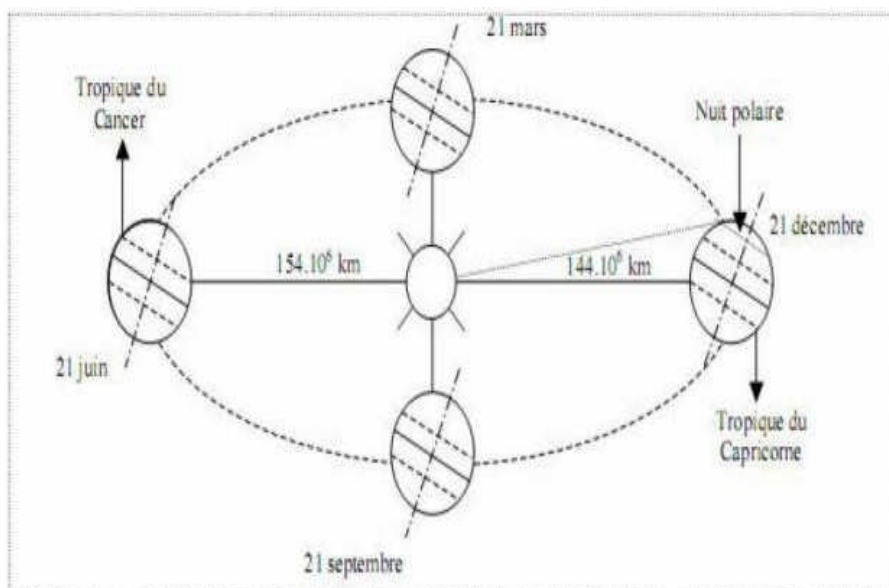
$$I_c = I_0[1 + 0.033 \times \cos (0.984 \times nj)] \quad (\text{II.1})$$

### II.3. Aspects géométriques du rayonnement solaire

Dans le but ultérieur de calculer le flux reçu par un plan incliné placé à la surface de la terre et orienté dans une direction fixée, notre intérêt va porter dans ce qui suit sur les aspects géométriques du rayonnement solaire intercepté par la terre. La connaissance de ce flux est la base du dimensionnement de tout système solaire [25].

### II.4. Mouvements de la terre

La trajectoire de la terre autour du soleil est une ellipse dont le soleil est l'un des foyers. Le plan de cette ellipse est appelé l'écliptique [25,27]. L'excentricité de cette ellipse est faible ce qui fait que la distance Terre/ Soleil ne varie que de  $\pm 1,7\%$  par rapport à la distance moyenne qui est de  $149\,675\,106\text{ km}$  [27]. La terre tourne également sur elle-même autour d'un axe appelé l'axe des pôles et passant par le centre de la terre appelé l'équateur. L'axe des pôles n'est pas perpendiculaire à l'écliptique en fait l'équateur et l'écliptique font entre eux un angle appelé inclinaison de l'ordre de  $23^{\circ}27'$ [15].



**Figure II.1:** Schématisation du mouvement de la terre autour du soleil

### II.5. La sphère céleste

La sphère céleste est une sphère imaginaire d'un diamètre immense, qui admet pour centre la terre, et pour rayon la distance (terre – soleil). On ne considère que tous les objets visibles dans le ciel se trouvent sur la surface de la sphère céleste. On peut résumer les

différentes caractéristiques sur la sphère elle-même comme c'est indiqué sur la figure (figure II.2). La direction des objets peut être quantifiée de façon précise à l'aide d'un système de coordonnées célestes

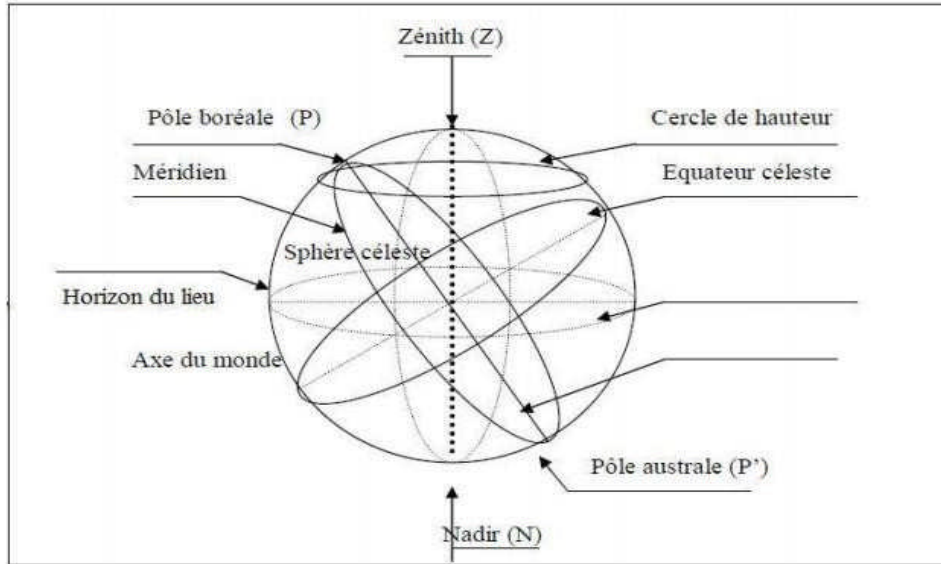


Figure II.2 : La sphère céleste

## II.6. Les coordonnées célestes

### II.6.1. Les coordonnées géographiques

Ce sont les coordonnées angulaires qui permettent le repérage d'un point sur la terre[26] (figure II.3).

#### - La longitude (L):

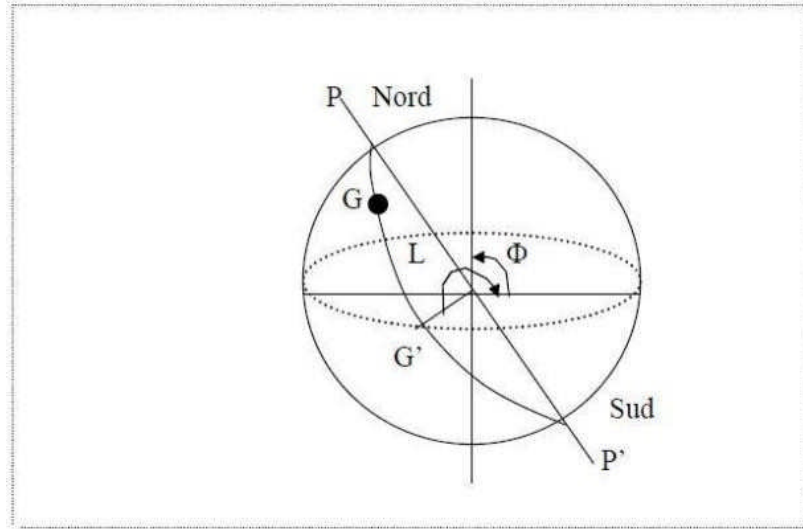
C'est l'éloignement par rapport au méridien de **Greenwich**, mesuré en degré. Elle est comptée positivement vers l'est et négativement vers l'ouest, à partir du méridien Greenwich.

#### - La latitude ( $\varphi$ ):

C'est l'éloignement d'un point sur la surface de la terre par rapport à **l'équateur**, mesuré en degré (mesurée à partir du centre de la terre), permettent de repérer la distance angulaire d'un point quelconque à l'équateur. Elle varie de  $0^\circ$  à  $90^\circ$  dans l'hémisphère nord et de  $0^\circ$  à  $-90^\circ$  dans l'hémisphère sud.

### - L'altitude (I):

C'est l'altitude d'un point correspondant à la distance verticale entre ce point et une surface de référence théorique (le niveau de la mer = 0), elle est exprimée en mètre.



**Figure II.3 :** Les coordonnées géographiques

## II.6.2. Les coordonnées horaires

### - La déclinaison ( $\delta$ ) :

C'est l'angle fait par le plan de **l'équateur** avec celui de **l'écliptique**. Elle varie au cours de l'année de  $+23^{\circ}27'$  à  $-23^{\circ}27'$  et détermine l'inégalité des durées des jours. Elle s'obtient à partir de la formule suivante [26].

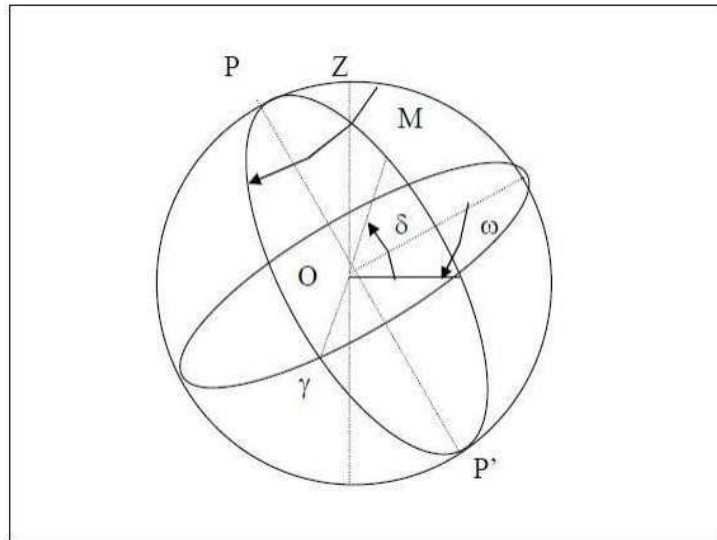
$$\delta = 23.45 \sin [(284+n_j)/365].360[\text{Degré}] \quad (\text{II.2})$$

Où :

$n_j$  : Le numéro du jour dans l'année compté à partir du 1er Janvier

### - L'angle horaire ( $\omega$ ):

Il est déterminé par la rotation régulière de la terre autour de son axe. Il est compté positivement dans le sens rétrograde de  $0^{\circ}$  à  $360^{\circ}$  (figure II.4).



**Figure II.4 :**Coordonnées horaires

## II .7 Les coordonnées horizontales

Le repérage du soleil se fait par l'intermédiaire de deux angles :

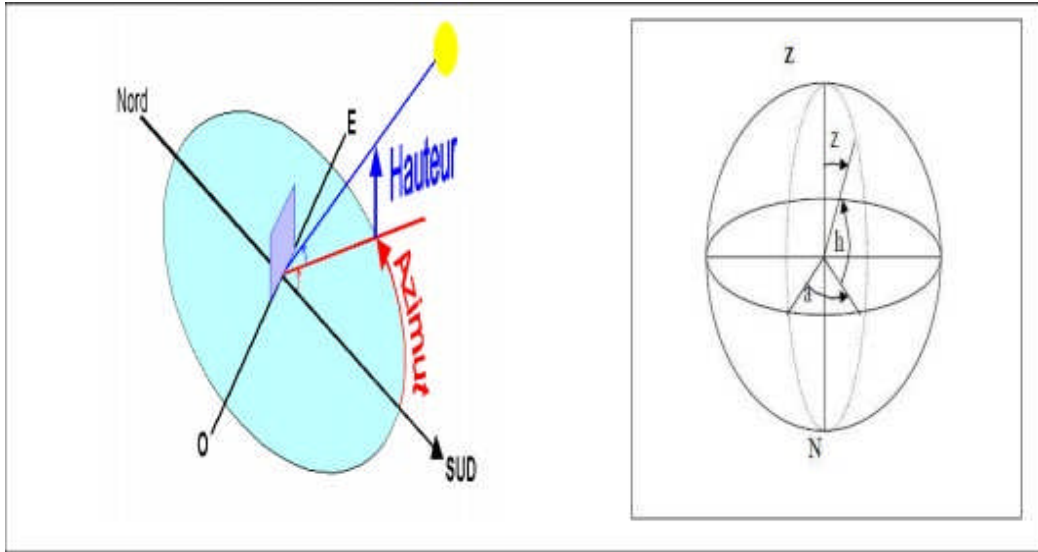
### L'azimut solaire (a)

Est l'angle mesuré dans le sens des aiguilles d'une montre entre le point cardinal **Sud** (dans l'hémisphère Nord) ou Nord (dans l'hémisphère Sud) et la projection sur le plan horizontal local de la droite reliant la terre au soleil. Il est compté de  $0^\circ$  à  $360^\circ$  d'Ouest en Est, ou de  $0^\circ$  à  $180^\circ$  à partir du Sud vers l'Ouest, (figure II.5).

On note ici que l'**azimut solaire** est négatif le matin (direction Est), nul ou égal à  $180^\circ$  à midi et positif l'après-midi (direction Ouest), sur tout le globe. Il diffère de l'**azimut géographique**, lequel est toujours mesuré dans le sens des aiguilles d'une montre à partir du Nord, indépendamment de l'hémisphère du point d'observation.

### - La hauteur du soleil(h)

C'est l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection. Il est compté de  $0^\circ$  à  $90^\circ$  vers le zénith et de  $0^\circ$  à  $-90^\circ$  vers le nadir, On appelle quelque fois **distance zénithale** le complément de l'angle h :  $z + h = 90^\circ$  (figure II.5).



**Figure II.5 :** Coordonnées horizontales.

L'équation de passage des coordonnées horizontales aux coordonnées horaires est [25]

$$\sin(a) \times \cos(h) = \cos(\delta) \times \sin(\omega)$$

$$\cos(a) \times \cos(h) = \cos(\delta) \times \cos(\omega) \times \sin(\Phi) - \cos(\Phi) \times \sin(\delta)$$

$$\sin(h) = \cos(\Phi) \times \cos(\delta) \times \cos(\omega) + \sin(\Phi) \times \sin(\delta)$$

## II .8. Le temps solaire

### II .8.1. Le Temps Solaire Vrai (T.S.V)

Le temps solaire vrai, en un instant et un lieu donné, est l'angle horaire du soleil  $\omega$ .

Il est donné sous la forme suivante [28] :

$$TSV = 12 + \omega/15 \quad (II.3)$$

$\omega$ : En degré.

Si  $\omega = 0$ , TSV=12h. 00

Si  $\omega < 0$ , la matinée.

Si  $\omega > 0$ , l'après-midi.

### II.8.2. Le Temps Solaire Moyen(T.S.M)

Il est appelé parfois temps locale (TSM), Il est donné par la relation [28] :

$$Et = TSV - TSM \quad (II.4)$$

Avec :

Et : l'équation du temps, qui corrige le T.S.V par rapport au T.S.M.

$$Et = 9.87x \sin(2N') - 7.53 \cos(N') - 1.5 \sin(N') \quad [\text{min}]$$

$$\text{Où : } N' = (nj-81) \times 360 / 365$$

Où : nj est le numéro du jour dans l'année.

### II.8.3. Le Temps Universel(T.U)

C'est le temps civil moyen du méridien de Greenwich (méridien origine) appelé encore **GMT** (Greenwich Mean Time)[28].

$$TU = TSM - (L/15) \quad (II.5)$$

Où : L : est la longitude.

$L > 0$  ; pour les villes situées à l'Est de Greenwich.

$L < 0$  ; pour les villes situées à l'Ouest de Greenwich.

$TU = TSM$  ; pour le méridien de Greenwich.

### II.8.4. Le Temps Légal (TL)

C'est le temps officiel d'un état, il est donné par [28] :

$$TL = TU + \Delta H \quad (II.6)$$

Où :

$\Delta H$  : le décalage horaire entre le méridien de Greenwich et l'état considéré.  $\Delta H = 1$  heure pour l'Algérie.

### I.8.5. le Temps Civil

Représente le temps qui a pour origine minuit [28].

## II.9. Direction des rayons solaires par rapport à un plan

On considère un plan quelconque situé dans un lieu de latitude caractérisé par deux angles :  $\alpha$  : L'angle entre le méridien local et la normale au plan (figure II.6).

$\alpha = 0$  ; le plan est orienté vers le Sud.

$\alpha = \pi$  ; le plan est orienté vers le Nord.

$\alpha = -\pi/2$  ; le plan est orienté vers l'Est.

$\alpha = \pi/2$  ; le plan est orienté vers l'Ouest.

$\gamma$  = l'angle entre le plan horizontal et le plan considéré.

$\gamma = 0$  ; le plan est horizontal.

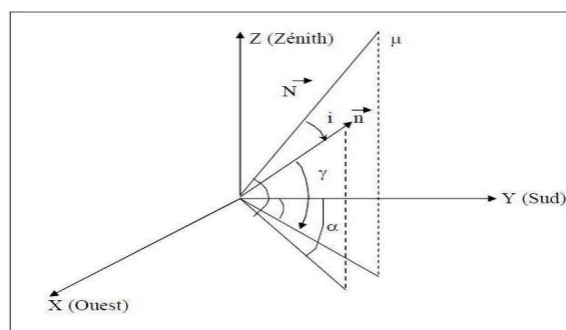
$\gamma = \pi/2$  ; le plan est vertical.

Soit :

$N$  : le vecteur unitaire porté par la direction des rayons solaires.

$n$  : le vecteur unitaire porté par la normale à la surface.

$i$  : l'angle d'incidence ( $n, N$ ) .(figure II.6).



**Figure II.6 : Représentation des vecteurs unitaires**

$$\vec{N} = \|\vec{n}\| \times \|\vec{N}\| \times \cos(i) = \cos(i) \quad (\text{II.7})$$

→→

$$\vec{N} \times \vec{n} = \sin(\alpha) \times \cos(h) \times \sin(\alpha) \times \cos(\gamma) + \cos(\alpha) \times \cos(h) \times \cos(\alpha) \cos(\gamma) + \sin(h)$$

$$\times \sin(\gamma) = \cos(i). \quad (\text{II.8})$$

Par conséquent :

$$\cos(i) = \cos(h) \times \cos(\gamma) \times \cos(\alpha) + \sin(h) \times \sin(\gamma) \quad (\text{II.9})$$

Exprimons  $\cos(i)$  en coordonnées horaires, il en résulte:

$$\begin{aligned} \cos(i) &= \cos(\delta) \times \sin(\omega) \times \sin(\alpha) \times \cos(\gamma) + (\sin(\Phi) \cos(\omega) \cos(\delta) - \\ &\cos(\Phi) \times \sin(\delta)) \times \cos(\alpha) \times \cos(\gamma) + (\cos(\Phi) \cos(\omega) \cos(\delta) + \sin(\Phi) \sin(\delta)) \times \sin(\gamma) \end{aligned} \quad (\text{II.10})$$

Dans les cas particuliers où les surfaces sont horizontales ou verticales avec différentes orientations, l'expression devient :

• **Surface horizontales:**  $\gamma = \pi/2$

$$\cos(i) = (\sin(\Phi) \cos(\omega) \cos(\delta) + (\cos(\Phi) \cos(\omega) \cos(\delta) + \sin(\Phi) \sin(\delta)) \times \sin(\gamma) \quad (\text{II.11})$$

• **Surface verticales:**  $\gamma = 0$

$$\begin{aligned} \cos(i) &= \cos(\delta) \times \sin(\omega) \times \sin(\alpha) + (\sin(\Phi) \cos(\omega) \cos(\delta) - \cos(\Phi) \times \sin(\delta)) \times \cos(\alpha) \\ &+ (\cos(\Phi) \cos(\omega) \cos(\delta) \end{aligned} \quad (\text{II.12})$$

- **Surface verticales orientées vers le Sud :**  $\alpha = 0$

$$\begin{aligned} \cos(i) &= \sin(\Phi) \cos(\omega) \cos(\delta) - \cos(\Phi) \sin(\delta) \times \cos(\gamma) + (\cos(\Phi) \cos(\omega) \cos(\delta) + \\ &\sin(\Phi) \sin(\delta)) \times \sin(\gamma) \end{aligned} \quad (\text{II.13})$$

- **Surfaces verticales orientées vers le Nord:**  $\alpha = \pi$

$$\begin{aligned} \cos(i) &= (\sin(\Phi) \cos(\omega) \cos(\delta) - \cos(\Phi) \times \sin(\delta)) \times \cos(\alpha) \times \cos(\gamma) + (\cos(\Phi) \cos(\omega) \cos(\delta) \\ &+ \sin(\Phi) \sin(\delta)) \times \sin(\gamma) \end{aligned} \quad (\text{II.14})$$

- **Surface verticales orientées vers l'Est:**  $\alpha = -\pi/2$

$$\begin{aligned} \cos(i) &= -\cos(\delta) \times \sin(\omega) \times \sin(\alpha) \times \cos(\gamma) + (\sin(\Phi) \cos(\omega) \cos(\delta) \\ &+ (\cos(\Phi) \cos(\omega) \cos(\delta) + \sin(\Phi) \sin(\delta)) \times \sin(\gamma). \end{aligned} \quad (\text{II.15})$$

- **Surfaces verticales orientées vers l'Ouest:**  $\alpha = +\pi/2$

$$\begin{aligned} \cos(i) &= \cos(\delta) \times \sin(\omega) \times \sin(\alpha) \times \cos(\gamma) + (\sin(\Phi) \cos(\omega) \cos(\delta) + (\cos(\Phi) \cos(\omega) \cos(\delta) \\ &+ \sin(\Phi) \sin(\delta)) \times \sin(\gamma) \end{aligned}$$

(II.16)

- Surface orientée vers le sud et inclinée d'un angle  $\beta$  par rapport à l'horizontale

$$\cos(i) = \cos(\delta) \cos(\omega) \cos(\Phi - \beta) + \sin(\delta) \sin(\Phi - \beta)$$

(II.17)

## II.10. Le rayonnement solaire

L'énergie reçue par une surface dépend en outre de la saison, de la latitude de l'orientation de la surface considérée. Figure(II.7).

## II.11. Les composants de rayonnement solaire

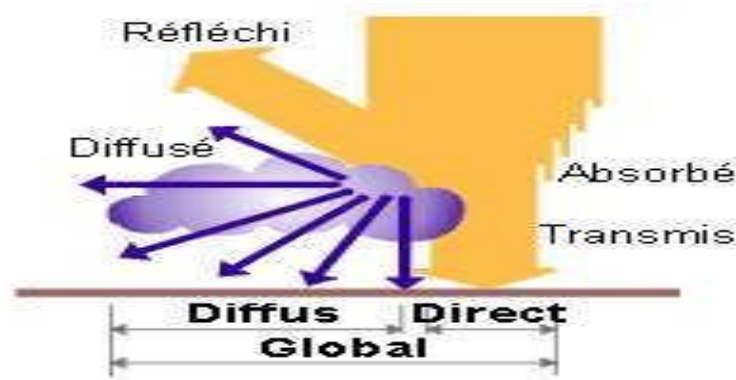


Figure II.7: Les composants du rayonnement solaire

### II.11.1. Le rayonnement direct sur un plan horizontal

Le rayonnement solaire direct reçu sur un plan horizontal peut être déterminé par:

$$S = F \times \sin(h)$$

F est le flux incident reçu sur une surface face aux rayons solaires et peut être évalué par :

$$F = I_0 \cdot \text{Exp} (TL / (0.9 + 9.4 \sin(h))) \text{ [w/m}^2 \text{]}$$

Avec  $I_0 = 1370$  w/m<sup>2</sup> et TL le facteur de trouble de Linke défini comme suit :

$$TL = 2.4 + 14.6B + 0.4 (1+2B) \ln(PV)$$

Où B est le coefficient de trouble atmosphérique Pv : C'est la pression partielle de vapeur d'eau.

$$Pv = 2.165$$

T : est la température de l'air en °C

$$TL = 2.4 + 14.6B + 0.4(1+2B) \ln(PV)$$

### II.11.2. Le rayonnement diffus sur un plan horizontal

Le rayonnement solaire diffus sur un plan horizontal peut être déterminé par :

$$D = 54.8 \sqrt{\sin(h)} (T - 0.5 - \sqrt{\sin(h)})$$

Le rayonnement direct est celui qui traverse l'atmosphère sans subir de modifications, il est possible de l'estimer par la formule suivante :

$$I_{DIR} = F \times CI$$

Où F est le flux incident reçu sur une surface face aux rayons solaires. CI étant le coefficient d'orientation :

$$CI = (\sin(\beta)\cos(h) + \cos(\beta)\sin(h))$$

#### II.11.4. Rayonnement solaire diffus sur un plan incliné

Le rayonnement solaire diffus D arrive sur le plan récepteur incliné après avoir été diffusé par les particules solides ou liquides en suspension dans l'atmosphère.

$$I_{dif} = 125 \times \sin(h)^{0.4} \left( \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right) + 211.86 \sin(h)^{1.22} \left( \frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right)$$

#### II.11.5. Rayonnement global

Le rayonnement global sur une surface est la somme du rayonnement direct ( $I_{dir}$ ) et du rayonnement diffus ( $I_{dif}$ ), soit :

$$I_{gl} = I_{dir} + I_{dif}$$

### II.12. Présentation de différents instruments de mesure du rayonnement solaire

Parmi les appareils permettant la mesure du rayonnement solaire on a :

**Le radiomètre** est un instrument de mesure du rayonnement.

**Le radiomètre de Crookes:** est un appareil permettant de mettre en évidence l'énergie transportée par les radiations, il est constitué d'une ampoule de verre contenant de l'air à faible pression et un petit moulin à quatre pales ayant chacune une face noire et une face blanche. Il en résulte une dissymétrie dans l'absorption du rayonnement incident, qui provoque la mise en rotation du moulin. Voir William Crookes.



**Figure II.8 :**Le radiomètre de Crookes

**Le pyranomètre:** est un radiomètre pour la mesure du rayonnement dans un plan, le rayonnement incident étant issu de l'ensemble de l'hémisphère situé au-dessus de l'instrument.



**Figure II.9 :**Le pyranomètre

**Le pyréliomètre:** est un radiomètre muni d'un collimateur, pour la mesure du rayonnement solaire direct sous incidence normale.

**L'héliographe:** est un instrument enregistrant la durée pendant laquelle le rayonnement solaire est d'une intensité suffisante pour produire des ombres distinctes.



Figure (II.10) Le pyrhéliomètre

### II.13 .Le gisement solaire en Algérie

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement d'un système énergétique solaire et faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu de la demande à satisfaire [30].

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un gisement solaire énorme comme le montre la (figure II.7) :

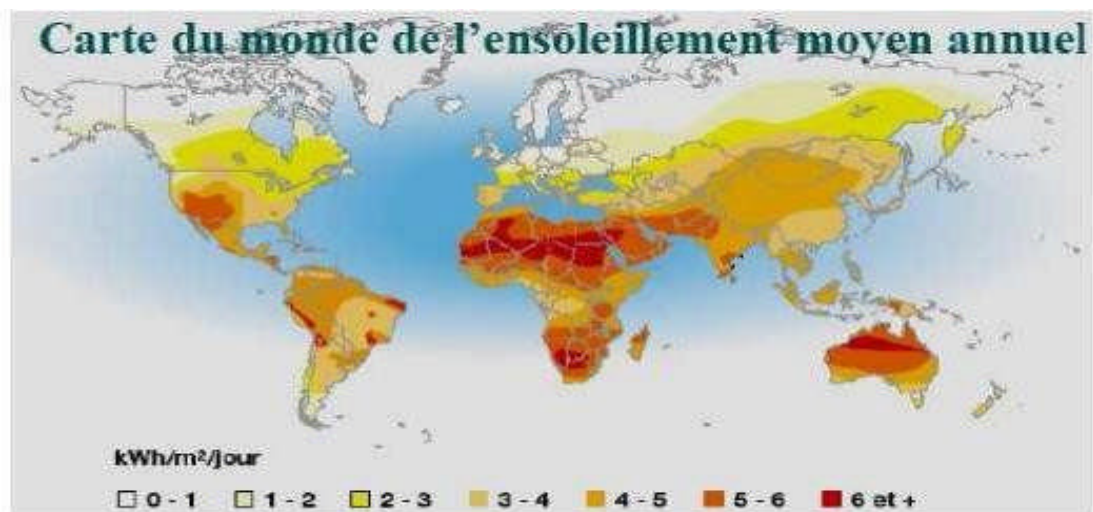


Figure II.10 :Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel [28]

Suite à une évaluation par satellites, l'Agence Spatiale Allemande (ASA) a conclu, que l'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit 169.000 T Wh/an pour le solaire thermique, 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque. Le potentiel solaire algérien est l'équivalent de 10 grands gisements de gaz naturel qui auraient été découverts à Hassi R'Mel.

### **II.14.Conclusion**

La durée d'insolation dans le Sahara algérien est de l'ordre de 3500h/an est la plus importante au monde, elle est toujours supérieure à 8h/j et peut arriver jusqu'à 12h/j pendant l'été à l'exception de l'extrême sud où elle baisse jusqu'à 6h/j en période estivale .La région d'Adrar est particulièrement ensoleillée et présente le plus grand potentiel solaire [31].

## Chapitre III

### Formulation Mathématique et Procédures de Simulation

#### III.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons présenter la géométrie de la configuration étudiée, ainsi que les équations de conservation régissant le problème traité dans ce mémoire. Elles sont fondées sur les principes de conservation de la masse (continuité), de la quantité de mouvement (Navier-Stokes), de l'énergie, et les conditions aux limites ainsi que l'équation du modèle du rayonnement

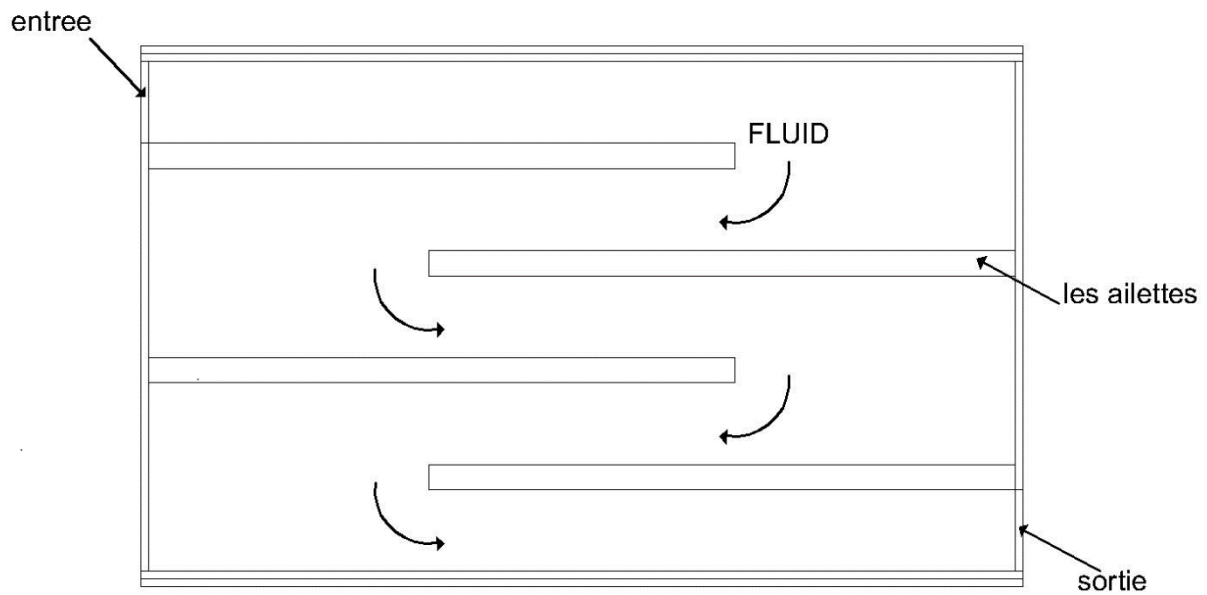
Thermique

#### III.2 Géométrie du problème :

La configuration étudiée est un panneau solaire thermique plan (chauffe-eau solaire) à 3D dont l'absorbeur est constitué d'ailettes longitudinales. Il est constitué des éléments suivants :

- **Un vitrage** : C'est la plaque supérieure du panneau, il s'agit d'un verre trempé de faible teneur en fer. Ceci permet une meilleure transmission optique.
- **Ailettes** : Fabriqués en cuivre et absorbent la chaleur des panneaux solaires pour chauffer l'eau par contact.
- **Isolant** : En matériau de faible conductivité thermique .il s'oppose aux transferts de chaleur
- **Absorbeur** : Composant d'un capteur thermique tel un panneau solaire qui a pour fonction d'absorber le rayonnement solaire incident, et de le convertir en chaleur via un fluide caloporteur dans le but de réaliser un gain d'économie d'énergie. L'absorbeur est généralement un corps noir absorbant le rayonnement du soleil .

L'énergie est ainsi transmise à l'eau chaude qui circule dans le capteur solaire. Au dessus de l'absorbeur, se situe un verre en couverture faisant office de serre solaire. Sous l'absorbeur un isolant thermique est posé en fond de bac du panneau solaire de sorte de canaliser toute la chaleur dans l'absorbeur et l'eau chaude qui le traverse..La figure (III.1) montre la géométrie de la configuration étudiée à 2D (vue de dessus).



**Figure III.1** : Vue 2D de la composition étudiée

**Longueur du panneau solaire : 34cm**

**Largeur du panneau solaire : 20 cm**

**Épaisseur de vitrage : 0.3 cm**

**Épaisseur d'isolation : 0.3 cm**

**Longueur des ailettes : 15 cm**

### III.3 Hypothèses :

A fin de simplifier la formulation mathématique de notre problème, nous adaptons les

Hypothèses simplificatrices suivantes :

L'écoulement du fluide et le transfert de chaleur sont permanents ( $\partial/\partial t=0$ ).

Le régime est laminaire à 3 dimensions

Fluide est Newtonien et incompressible.

Les dissipations visqueuses sont négligeables.

Les propriétés physiques du fluide sont supposées constantes Le transfert de chaleur par rayonnement n'est pas négligeable

### III.4. Equations générales de conservation :

Compte tenue les hypothèses simplificatrices formulées ci-dessus les équations de conservation de la masse, de quantité de mouvement, d'énergie.ces équations en coordonnées cylindriques dans les directions (x, y, z) s'écrivent comme suit :

#### Équation de continuité

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (\text{III.1})$$

#### ➤ Équations de quantités de mouvement suivant x

$$\frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (\text{III.2})$$

#### ➤ Équations de quantités de mouvement suivant y

$$\frac{\partial(\rho v u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho v w)}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (\text{III.3})$$

#### ➤ Équations de quantités de mouvement suivant z

$$\frac{\partial(\rho w u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho w v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w^2)}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial z} + \mu \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (\text{III.4})$$

#### ➤ Équation d'énergie

$$\rho C_p \left( \frac{\partial(\rho u T)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v T)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w T)}{\partial z} \right) = k \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (\text{III.5})$$

#### ➤ Equation de l'énergie dans le cas du couplage convection-rayonnement

$$\rho C_p \left( \frac{\partial(\rho u T)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v T)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w T)}{\partial z} \right) = k \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) - \frac{1}{\rho C_p} \Delta q_r \quad (\text{III.6})$$

### III.5.Bilan thermique du capteur

Pour le vitrage :

$$M_v C_{pv} \left( \frac{dT_v}{dt} \right) = P_v A_v - h_{rv} (T_{ciel} - T_v) A_v - h_{vv} (T_a - T_v) A_v \quad (\text{III.7})$$

$M_v$  : Masse du vitrage ,(kg)

$C_{pv}$ : Chaleur spécifique du vitrage, (J/kg .K)

$A_v$  : Surface de la vitre, (m<sup>2</sup>)

$P_v$ : Quantité d'énergie absorbée pour le vitrage, (W/m<sup>2</sup>)

$h_{vv}$ : Coefficient d'échange thermique par convection entre la vitre et l'ambiance, (W/m<sup>2</sup>.K)

$h_{rv}$  : Coefficient d'échange thermique par rayonnement entre la vitre et le ciel, (W/m<sup>2</sup>.K) Température du vitrage, (K)

$T_a$  : Température ambiante (K)

$T_{ciel}$  : Température du ciel (K)

La puissance absorbée par le vitrage  $P_v$  est calculée par l'équation suivante

$$P_v = p_{glob} \times \alpha_v$$

Tel que:

$P_{glob}$ : représente l'intensité de rayonnement global incident sur un plan incliné,

$\alpha_v$  : Représente le coefficient d'absorption du vitrage

Avec:

➤ **Pour l'absorbeur**

$$M_{abs} C p_{abs} \left( \frac{dT_{abs}}{dt} \right) = h_{vabs} (T_f - T_{abs}) A_{abs} + h_{rabs} (T_{is} - T_{abs}) A_{abs} + A_{abs} \times P_{abs}$$

(III.8)

$M_{abs}$  : Masse de l'absorbeur, (kg)

$C p_{abs}$  : Chaleur spécifique de l'absorbeur, (J/kg.K)

$A_{abs}$ : Surface de l'absorbeur, (m<sup>2</sup>)

$h_{vabs}$ : Coefficient d'échange thermique par convection entre l'absorbeur et le fluide, (W/m<sup>2</sup>.K)

$h_{rabs}$ : Coefficient d'échange thermique par rayonnement entre l'absorbeur et l'isolant, (W/m<sup>2</sup>.K)

$T_f$  et  $T_{is}$ : Représentent respectivement la température du fluide et de l'isolation, (K)

La puissance absorbée par l'absorbeur  $P_{abs}$  (W/m<sup>2</sup>)

$$P_{abs} = \tau_v \times \alpha_{absa} \times P_{glob}$$

(III.9)

Avec:

$\alpha_{absa}$  : Coefficient d'absorption de l'absorbeur

➤ **Pour l'isolant**

$$M_{is} C p_{is} \left( \frac{dT_{is}}{dt} \right) = h_{vis} (T_f - T_{is}) A_{is} + (h_{ci} + h_{va}) (T_a - T_{is}) A_{is} + h_{rabs} (T_{abs} - T_{is}) A_{is} + A_{is} \times h_{ra} (T_{sol} - T_{is})$$

(III.10)

Avec:

$M_{is}$ : Masse de l'isolant, (kg)

$C_{is}$ : Chaleur spécifique de l'isolant, (J/kg.K)

$A_{bis}$ : Surface de l'isolant, (m<sup>2</sup>)

$h_{ci}$ : Coefficient d'échange thermique par conduction à travers l'isolant, (W/m<sup>2</sup>.K)

$h_{ra}$ : Coefficient d'échange thermique par rayonnement entre l'isolant et le sol, (W/m<sup>2</sup>.K)

$h_{va}$ : Coefficient d'échange thermique par convection de l'air qui se trouve entre l'isolant et le sol, (W/m<sup>2</sup>.K)

$T_{sol}$ : Température du sol, (K)

### III. 6. Les coefficients des échanges thermiques :

Les échanges thermiques par conduction, convection et rayonnement dans le système hybride a étudié, nécessitent la détermination des différents coefficients de transfert thermique.

#### ➤ L'échange thermique par conduction

Généralement le coefficient d'échange thermique par conduction unidimensionnelle est donné par la formule suivante :

$$h_c = \frac{k}{e}$$

Avec :

$e$  : Epaisseur de la paroi, (m)

$k$  : Conductivité thermique du matériau, (W /m<sup>2</sup>.K)

Le coefficient d'échange thermique par conduction entre le verre et l'absorbeur

$$h_{pv} = \frac{k_v}{e_v}$$

$k_v$  et  $e_v$ : Représentent respectivement la conductivité thermique et l'épaisseur du vitrage.

Le coefficient d'échange thermique par conduction entre le vitrage et l'absorbeur peut être calculé par :

$$h_{cpv} = \frac{k_{pv}}{e_{pv}} + \frac{k_{abs}}{e_{abs}} \quad (III.11)$$

$k_{pv}$ ,  $k_{abs}$  et  $e_{pv}$ ,  $e_{abs}$  : Sont respectivement les conductivités thermiques et les épaisseurs de la Pvc et le absorbeur.

Le coefficient d'échange thermique par conduction dans l'isolant est calculé par :

$$h_{ci} = \frac{k_i}{e_i}$$

$k_i$  et  $e_i$ : Représentent respectivement la conductivité thermique et l'épaisseur de l'isolant.

➤ **L'échange thermique par rayonnement :**

Le coefficient d'échange thermique par rayonnement entre le vitrage et le ciel

$$h_{rv} = \sigma \epsilon_v (T_v^4 - T_{ciel}^4) / (T_v - T_a) \quad (\text{III.12})$$

Avec:

$\sigma$ : Constante de Stephan Boltzman,  $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$

$\epsilon_v$ : Emissivité du vitrage

Température du ciel est évaluée par la relation suivante :

$$T_{ciel} = 0,0552(T_a)^{1,5}$$

Le coefficient d'échange thermique par rayonnement entre l'absorbeur et l'isolation

$$h_{rt} = \frac{\sigma(T_{abs} + T_{is})(T_{abs}^2 + T_{is}^2)}{\left(\frac{1}{\epsilon_{is}} + \frac{1}{\epsilon_{abs}} - 1\right)} \quad (\text{III.13})$$

Avec :

$\epsilon_{is}$  et  $\epsilon_{abs}$  : Représentent respectivement l'émissivité de l'isolant et l'absorbeur.

Le coefficient d'échange thermique par rayonnement entre l'isolant et le sol peut être calculé par:

$$h_{ra} = \sigma \epsilon_{is} (T_{sol} + T_{is})(T_{sol}^2 + T_{is}^2) \quad (\text{III.14})$$

➤ **L'échange thermique par convection**

Les coefficients d'échange thermiques par convection sont calculés par les corrélations empiriques utilisant le nombre de Nusselt, de la conductivité thermique de l'eau et d'une longueur caractéristique de la cavité ( $L_c$ ). Pour cela on a utilisé des corrélations expérimentales, en définissant le nombre de Reynold, de Prandtl et de Nusselt

Les coefficients d'échange thermique par convection sont calculés par la relation suivante :

$$h_{vt} = h_{vis} = Nu \times \frac{k_{air}}{Dh} \quad (\text{III.15})$$

Avec:

$k_{air}$  : Conductivité thermique de l'air, (W/m.K)

$Dh$  : Le diamètre hydraulique, (m)

$Nu$ : le nombre de Nusselt.

### III.7. Le rendement :

L'étude la plus significative des performances thermiques d'un capteur plan est de déterminer son rendement instantané, le rendement  $\eta_{th}$  est défini comme étant le rapport de la puissance thermique utile récupérée par le fluide caloporteur ( $P_u$ ) et la puissance solaire arrivant sur le plan incliné du capteur ( $P_{ab}$ ). Il est donné par la relation suivante:

$$\eta = \frac{P_u}{P_{ab}} = \frac{P_u}{A \times G} \quad (\text{III.16})$$

$P_u$ : la puissance utile récupérée par le fluide

$P_{ab}$ : la puissance solaire arrivant sur le capteur.

$A$ : surface du capteur.

$G$ : flux solaire global incident.

La puissance récupérée par le fluide est donnée par

$$P_u = \dot{m} C_p (T_{fs} - T_e) \quad (\text{III.17})$$

$\dot{m}$ : le débit massique du fluide

$C_p$ : La chaleur massique

$T_{fs}$  et  $T_e$  la température du fluide à la sortie et à l'entrée

### III.8. Procédures de Simulations :

Pour obtenir une solution numérique du problème étudié, on doit transformer les équations différentielles du modèle mathématique au moyen d'un processus de discrétisation en un format facile pour le processus numérique. Ce format n'est autre que le système d'équations algébriques obtenu après la discrétisation. Parmi les méthodes numériques les plus fréquemment utilisées dans les problèmes d'écoulement et de transfert de chaleur, on peut citer la méthode des différences finies, la méthode des volumes finis et la méthode des éléments finis. La méthode des volumes finis est à l'origine de la majorité des codes de calculs (Fluent, CFD, ...). La méthode des volumes finis qui se distingue par sa fiabilité quant aux résultats, son adaptation au problème physique, sa garantie pour la conservation de la masse et de quantité de mouvement et de tout scalaire transportable sur chaque volume de contrôle et dans tout le domaine de calcul, ce qui n'est pas le cas pour les autres méthodes numériques. La simulation se définit comme l'utilisation ou la résolution de modèles correspondant à un système donné pour étudier le comportement de ce dernier dans un contexte précis. La simulation ne remplace pas l'expérimentation mais la complète. Elle

permet d'effectuer l'analyse du problème dans des conditions réalistes (reproduire des tests que l'on fait en expérimentation pour mieux les comprendre et à moindre coût).

À travers la simulation, le système étudié devient plus flexible. On peut plus facilement faire des études paramétriques. L'utilisation peut aussi faire varier l'échelle de temps pour une étude, ce qui est impossible par ailleurs, elle se présente presque toujours sous forme d'un programme ou d'outils informatiques. Ces derniers sont couramment appelés des environnements de simulation.

Nous avons réalisé nos simulations à l'aide des logiciels de CFD Gambit et Fluent.

### **III.9. Présentation des logiciels Gambit et Fluent :**

#### **III.9.1 Préprocesseur Gambit :**

C'est un préprocesseur intégré pour l'analyse en CFD (computational fluid Dynamics), il permet de générer un maillage structuré ou non structuré en coordonnées cartésiennes, polaires, cylindriques ou axisymétriques, Il peut réaliser des maillages complexes en deux ou trois dimensions avec des mailles de type rectangle ou triangle.

Les options de génération de maillage de Gambit offrent 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.

Le préprocesseur permet aussi de définir les conditions aux limites appropriées aux frontières du domaine de calcul.

Il existe deux méthodes possibles pour réaliser le maillage sur GAMBIT:

- Soit avoir un volume et le mailler régulièrement sans avoir maillé les arêtes,
- Soit mailler partie par partie, c'est-à-dire utiliser le maillage défini sur les lignes pour mailler les surfaces et par la suite les volumes.

#### **III.9.2.Code Fluent :**

Fluent est un logiciel de calculs numériques en dynamique des fluides CFD (Computational Fluid Dynamics) destiné à effectuer des simulations numériques des problèmes d'écoulements fluides. Le package Fluent s'appuie sur la méthode des volumes finis pour résoudre les équations régissant le mouvement d'un fluide en écoulement et comprend des modèles physiques différents tels que :

- ✓ Ecoulements 2D ou 3D ;
- ✓ Ecoulement stationnaire ou in stationnaire ;
- ✓ Ecoulements incompressibles ou compressibles (subsoniques, transsoniques, supersoniques ou hypersoniques) ;

- ✓ Ecoulements non visqueux, laminaires ou turbulents ;
- ✓ Fluide Newtonien ou non ;
- ✓ Transfert de chaleur par conduction, par convection ou les deux (Conjugué) ou radiatif
- ✓ Ecoulement avec changements de phases ;
- ✓ Ecoulements au milieu poreux.

L'ensemble géométrie et génération de maillage se fait à l'aide du logiciel Gambit qui constitue un préprocesseur livré avec Fluent.

### III.9.2.1. Les avantages de fluent(CFD) :

- Perspicacité et précision
- Prévoyance
- Efficacité et rapidité
- Facilité d'utilisation
- Puissance de visualisation

### III.10. Etapes principales de simulation :

Ce sont des démarches qui constituent les pas essentiels pour se servir de la meilleure façon de Fluent et de son générateur de maille Gambit :

- Lancement de Gambit
- Construction du domaine physique
- Exportation du fichier à Fluent
- Lancement de Fluent
- Lecteur du fichier. mesh
- Imposition des conditions physiques et spatiales
- Contrôle de la
- Affichage des résultats

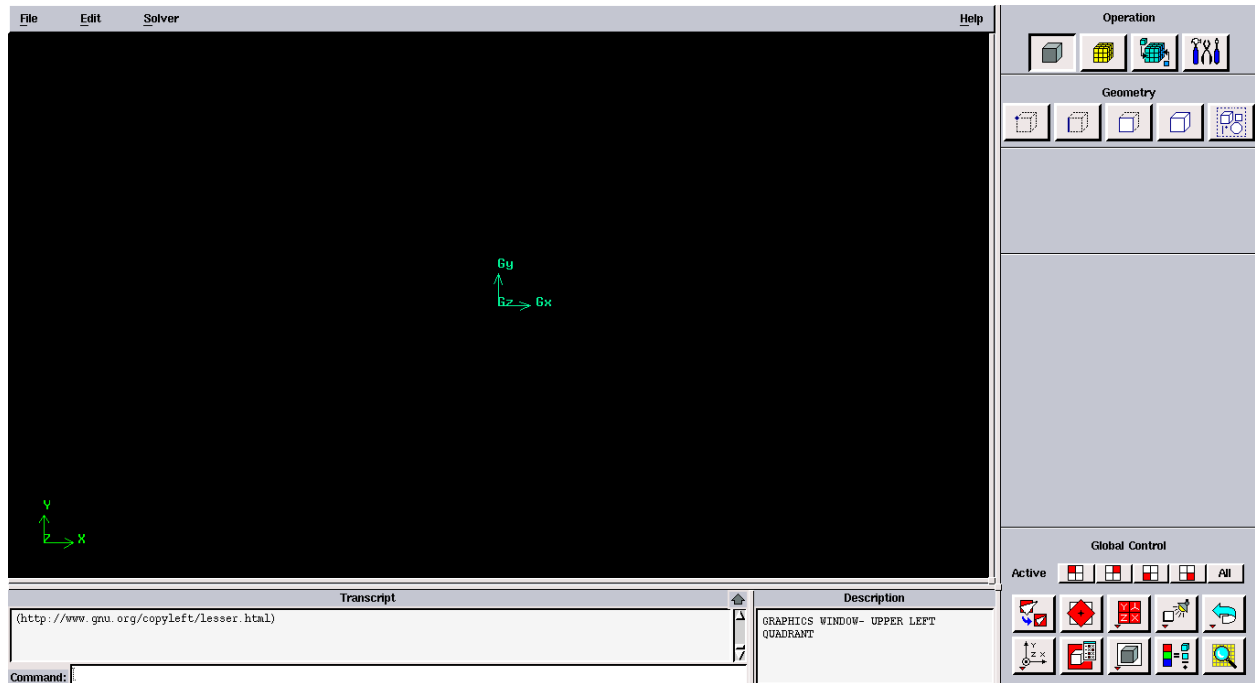
### III.11. Démarrage de Gambit:

Le chemin de l'application de Gambit est le suivant :

**/Fluent.Inc/ntbin/ntx86/Gambit.exe**

Vous pouvez créer un raccourci dans la barre des tâches. S'il y a un problème d'exécution, supprimez tous les fichiers \*.lok dans le répertoire

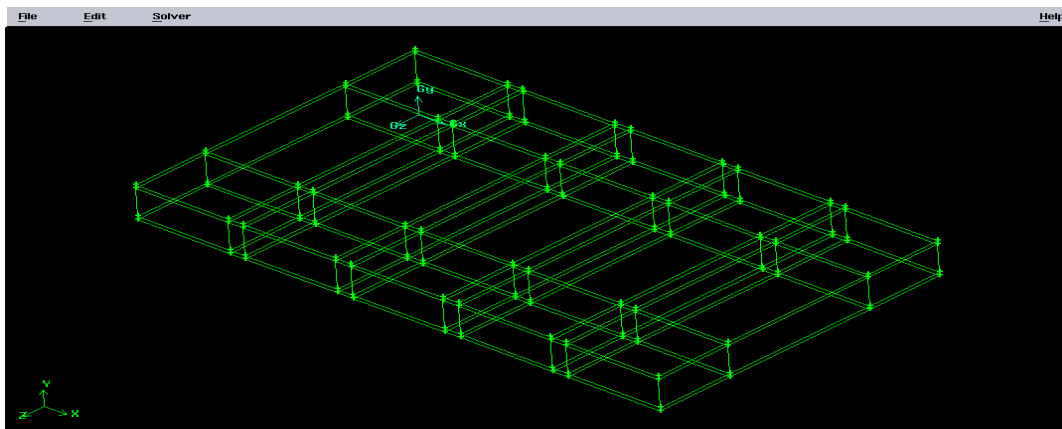
**/Fluent.Inc/ntbin/ntx86** et relancez **Gambit.exe**



**Figure III.2:** Lancement du Gambit

### III.11.1. Construction de la géométrie

La finalité de la construction de la géométrie est de définir les domaines de calcul qui seront des faces dans un problème 2D et des volumes dans un problème 3D.



**Figure III.3:** la Forme géométrique

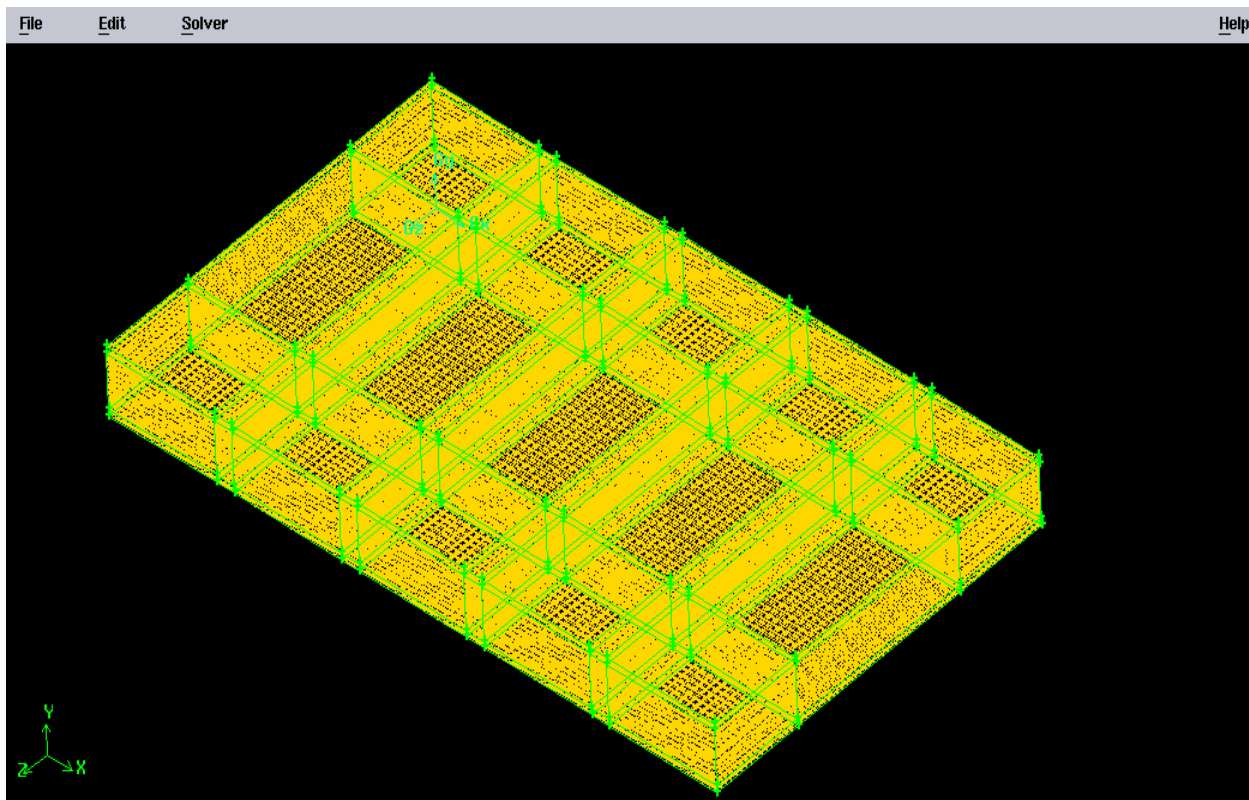


Figure III.4:Maillage de géométrie

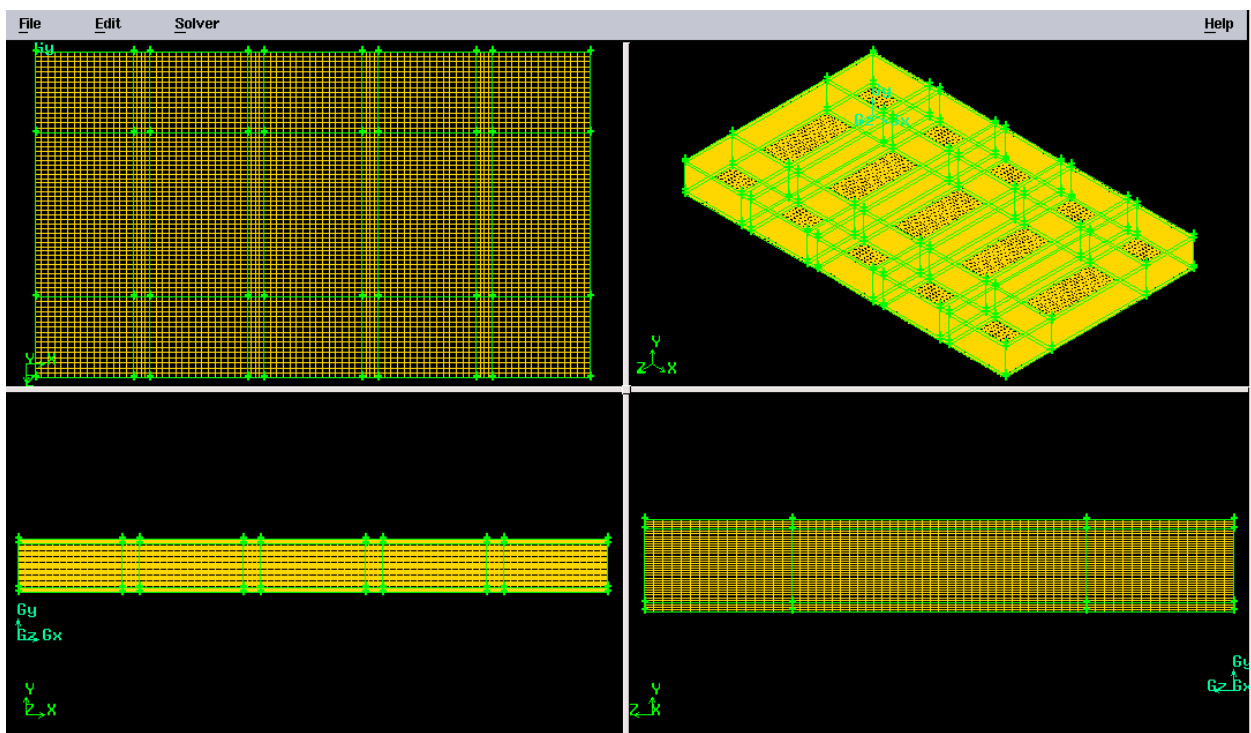


Figure III.5:Maillage de géométrie

### III.11.2. Conditions aux limites et définition des domaines

Le mailleur Gambit peut générer des maillages que beaucoup de solveurs peuvent utiliser, ainsi nous devons spécifier le logiciel solveur avec lequel on veut traiter le fichier maillage. Ce menu permet de définir les conditions physiques aux limites du domaine, à savoir si les lignes (en 2D) ou les faces (en 3D) sont des entrées, des sorties de fluide, des surfaces libres, des axes de symétries, des murs...

Ici on ne définit que la nature, les valeurs de ces conditions (vitesses, températures...) seront à définir sous Fluent.

Faces ou lignes définissant la limite. Ensembles des faces que comprend la limite Ensembles des limites définies

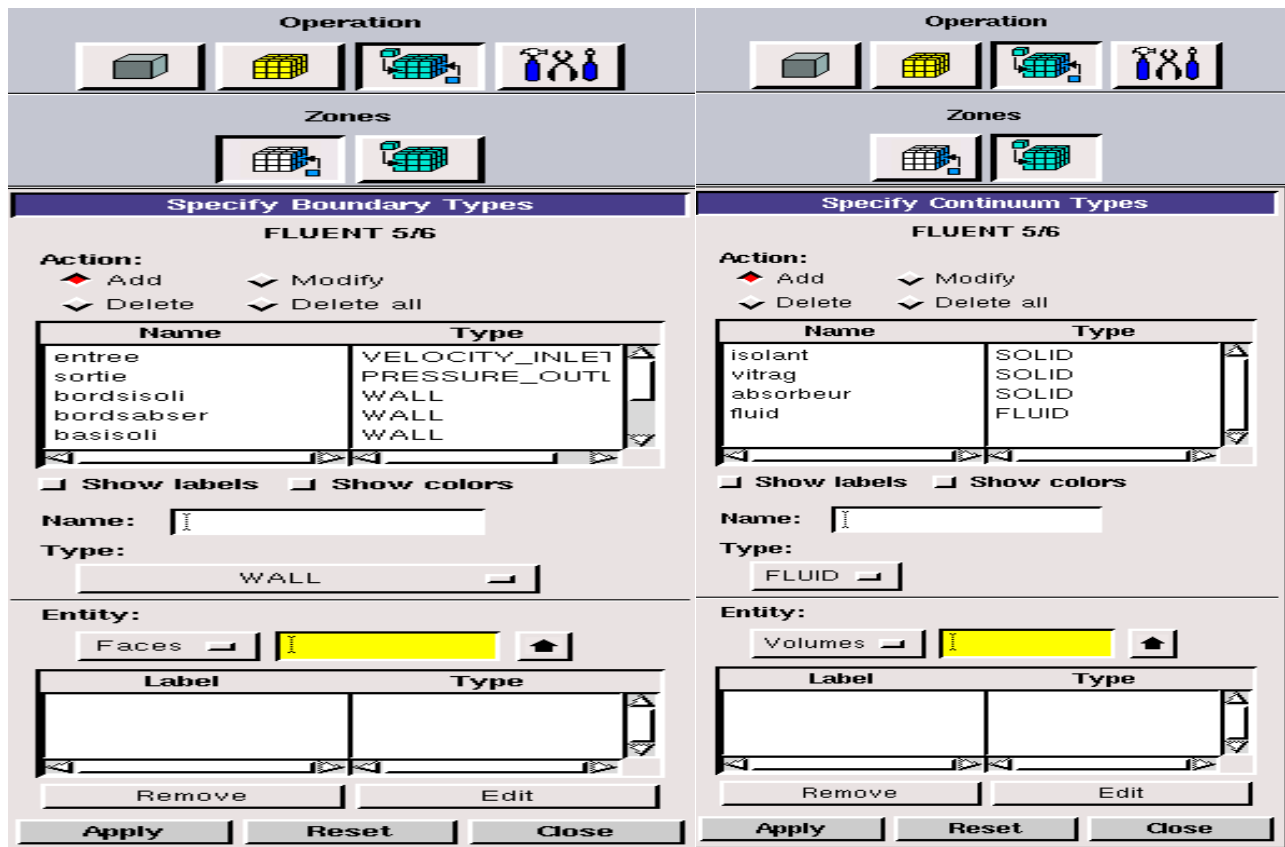


Figure III.6 : Conditions aux limites.

### III.11.3. Exportation du maillage de Gambit :

Une fois que la géométrie a été créée, que les conditions aux limites ont été définies, il faut exporter le maillage, en point. msh (mesh = maillage en anglais) pour que Fluent soit capable de le lire et de l'utiliser. On peut ensuite fermer Gambit en sauvegardant la session (si on

souhaite la rouvrir) et lancer

### III.11.4. Types des fichiers qui sont créés par gambit :

Quatre fichiers sont créés par défaut :

- **nom-fichier.dbs** : **data base** qui contient toutes les informations nécessaires à Gambit pour créer le maillage.
- **nom-fichier.jou** : journal file qui contient les commandes que l'on a effectuées.
- **nom-fichier.trn** : transcript file qui contient les messages donnés dans la fenêtre de dialogue Transcript.
- **nom-fichier.lok** : pour l'utilisation. Le fichier le plus important crée par l'utilisateur prend l'extension nom-fichier. Msh

## III.12.Simulation sousFLUENT

### III.12.1. Démarrage de Fluent

La première chose à faire quand vous entrez sous fluent est de choisir le type de résolution que Fluent va avoir à faire : résolution 2D ou 3D.

Les étapes de simulation sous Fluent sont les suivantes

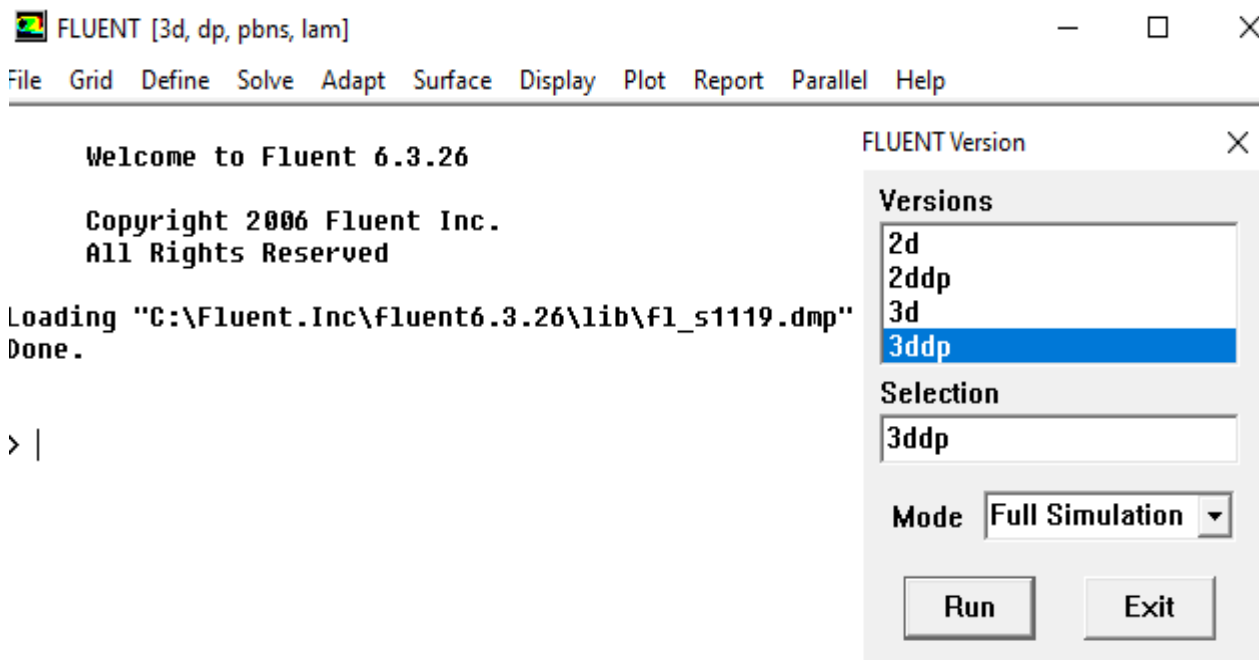


Figure. III.7: Vue globale de Fluent.

### III.12.2.Importation de la géométrie(\*.msh) :

Pour commencer la simulation il faut importer le fichier (\*.msh) généré sous Gambit.**File**→**Read**→**Case...**

### III.12.3.Vérification du maillage importé :

**Grid**→**Check**

Ceci permet de vérifier si le maillage importé ne contient pas d'erreurs sous de volumes négatifs.

### III.12.4.Lissage du maillage (Smooth and swap the grid) :

**Grid Smooth/Swap**

Pour s'assurer de la qualité du maillage, il est pratiqué de lisser le maillage, cliquez sur le bouton Smooth puis sur le bouton Swap. Répétez jusqu'à ce que FLUENT affiche que zéro faces

Sont swapped.

### III.12.5.Vérification de l'échelle :

**Grid**→**Scale**

Il faut toujours vérifier que les dimensions affichées correspondent aux dimensions physiques du problème.

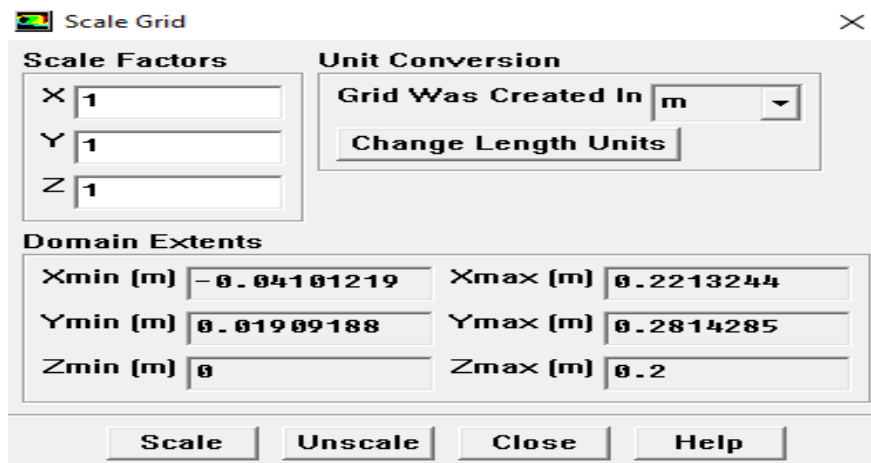


Figure. III.8: vérification de l'échelle

### III.12.6 Présentation de la géométrie :

**Display**→**grids**

Vous pouvez afficher le maillage et vérifier les conditions aux limites définies au préalable dans Gambit.

### III.12.7 Choix du solveur :

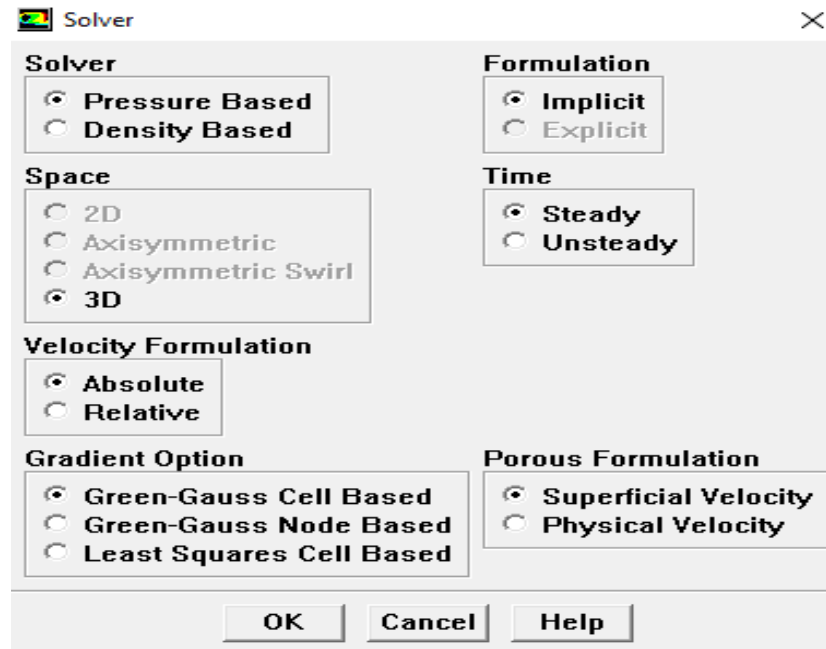


Figure. III.9 :Choix de solveur

### III.12.8 :Choix de solveur

Define → Models → Solver

### III.12.9. Autorisation du transfert de chaleur :

Define → Models → Energy

Formulation de l'équation d'énergie

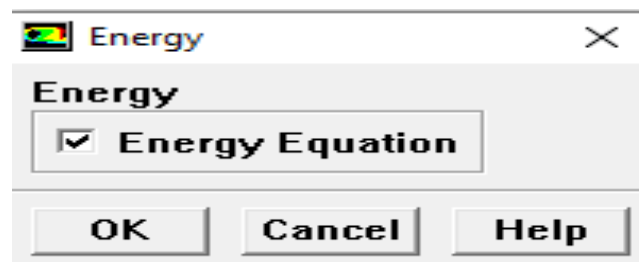


Figure. III.10: Autorisation l'équation de l'énergie

### III.12.10.Choix du type d'écoulement :

Define → Models → Viscous

À écoulement laminaire est l'option par défaut. Nous n'avons donc pas besoin de changer quoi que ce soit dans ce menu. Cliquez sur Cancel

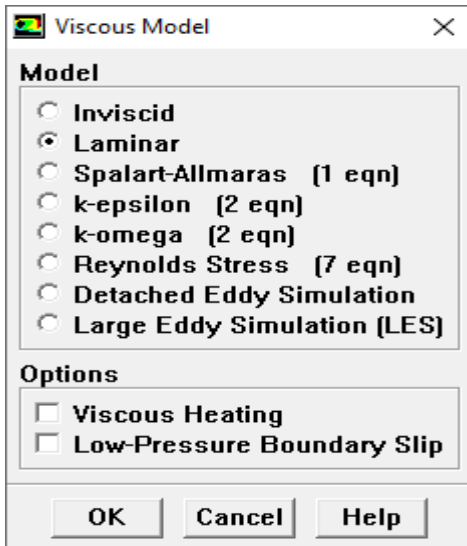


Figure. III.11: Choix du type d'écoulement

### III.12.11. Choix du modèle de rayonnement

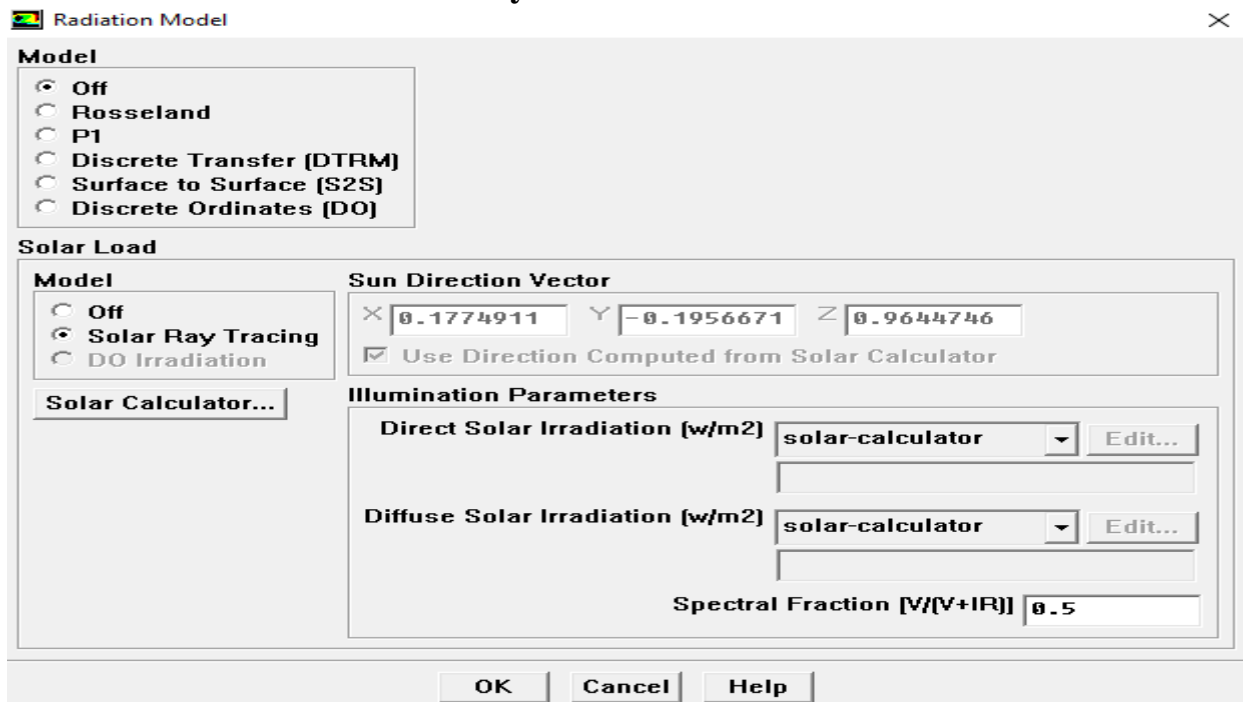


Figure. III.12: Choix du modèle de rayonnement

**Solar Calculator**

**Global Position**

Longitude (deg)

Latitude (deg)

Timezone (+-GMT)

**Grid Orientation**

North

X  Y  Z

East

X  Y  Z

**Date and Time**

Day of Year

Day  Month

Time of Day

Hour  Minute

**Solar Irradiation Method**

Theoretical Maximum

Fair Weather Conditions

**Options**

Sunshine Factor

Apply Close Help

Figure.

## III.13: Calculs solaires

## III.12.12 Définir les propriétés des matériaux :

Define → Materials...

C'est le choix du fluide ou solide utilisé avec l'introduction des données concernant les propriétés physiques.

**Materials**

Name

Material Type

Order Materials By

Name

Chemical Formula

Chemical Formula

Fluent Fluid Materials

Mixture

Fluent Database...

User-Defined Database...

**Properties**

Density (kg/m<sup>3</sup>)   Edit...

Cp (J/kg-K)   Edit...

Thermal Conductivity (W/m-K)   Edit...

Viscosity (kg/m-s)   Edit...

Change/Create Delete Close Help

Figure. III.14: propriétés physiques des matériaux

### III.12.13. Définir les conditions aux limites :

#### Define → Operating condition

Fluent prend par défaut la valeur de la pression atmosphérique comme opérating pressure, en défini la gravite suivant l'axe z.

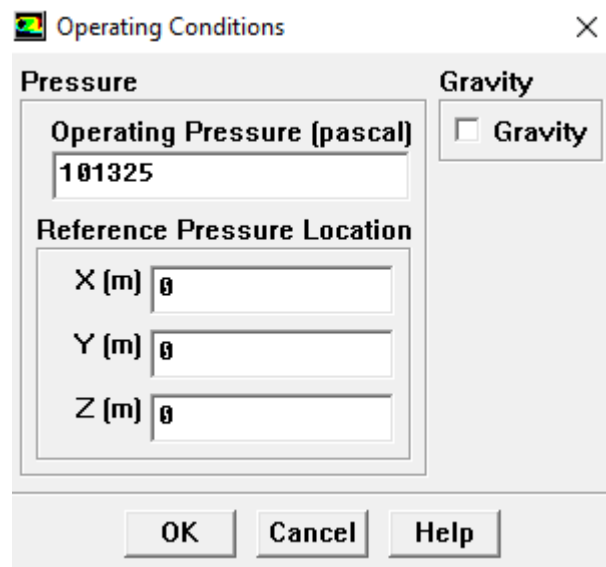


Fig. III.15: Choix de la pression de référence

Define → Boundary Conditions... Les conditions aux limites pour chaque frontière seront définies avec la fenêtre Boundary condition, après avoir sélectionné chaque fois, la frontière concernée et faire rentrer les conditions aux limites de cette dernière ensuite valider

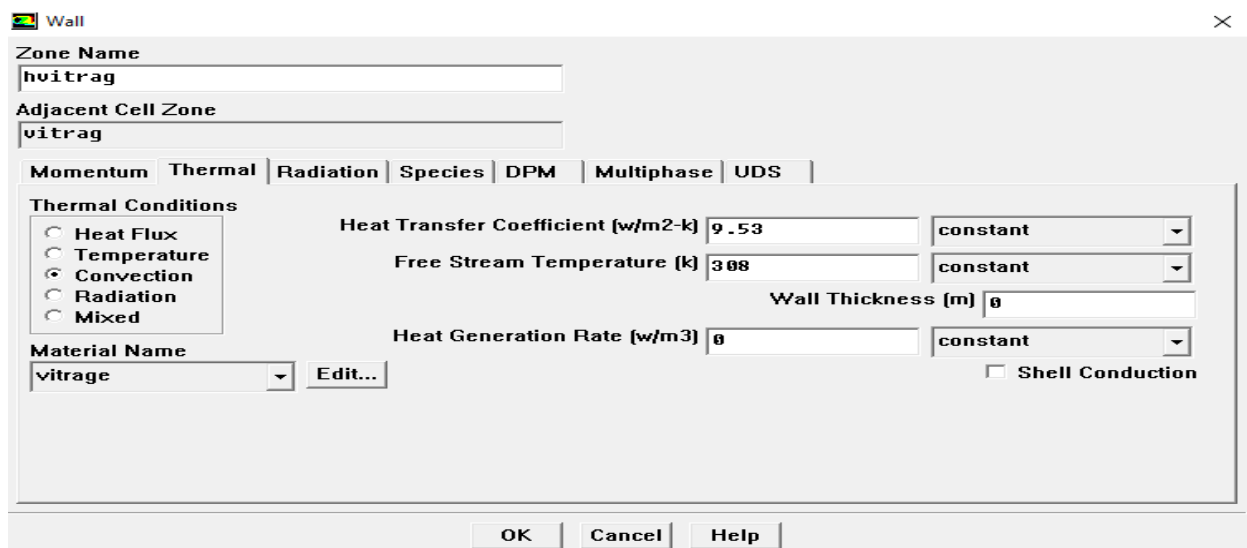


Figure. III.16: Valeurs des conditions aux limites

### III.12.14. Les facteurs de sous- relaxation :

Solve→Controls→ Solution

Le facteur de sous-relaxation  $\alpha$  est utilisé pour stabiliser le processus itératif et éviter la divergence dû à la forte variation de valeurs entre deux itération successive, définis en générale par :

$$\Phi_{\text{new}} = \Phi_{\text{old}} + \alpha \Delta \Phi$$

Les facteurs de sous relaxation sont compris entre 0 et 1.

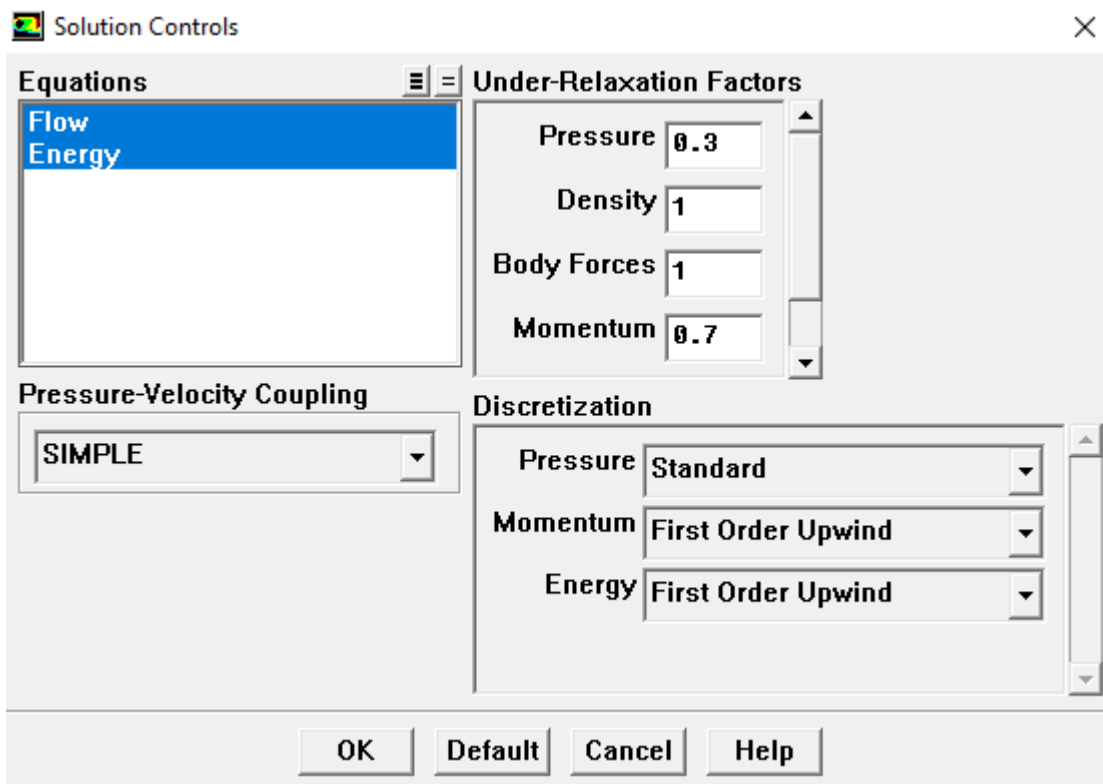


Figure.III.17: Choix des facteurs de sous relaxation et les schémas de discrétisation

### III.12.15 Initialisation du calcul :

Solve→Initialize→Initialize...

Initialiser le champ d'écoulement pour la valeur à l'entrée :

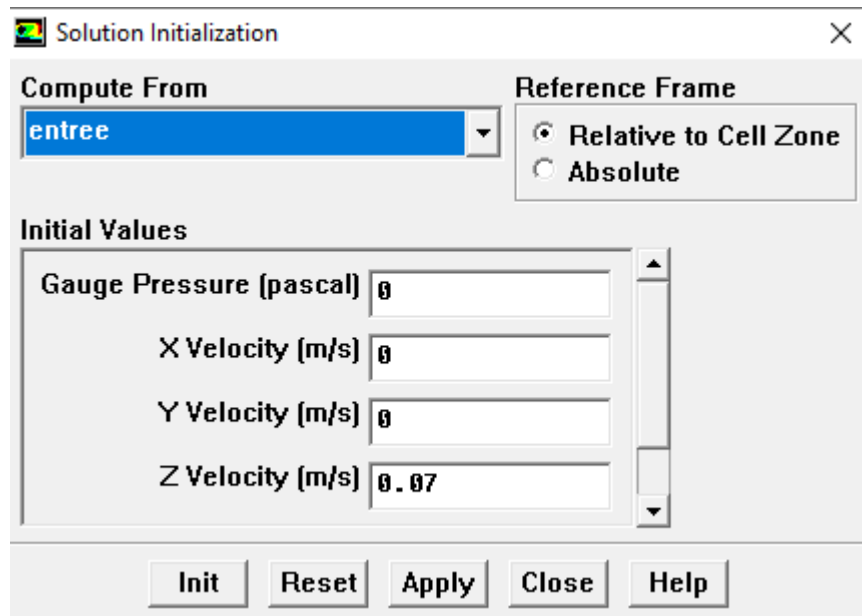


Figure. III.18: Initialisation de la solution.

### III.12.16. Choix du résidu :

Solve→Monitors→Residual

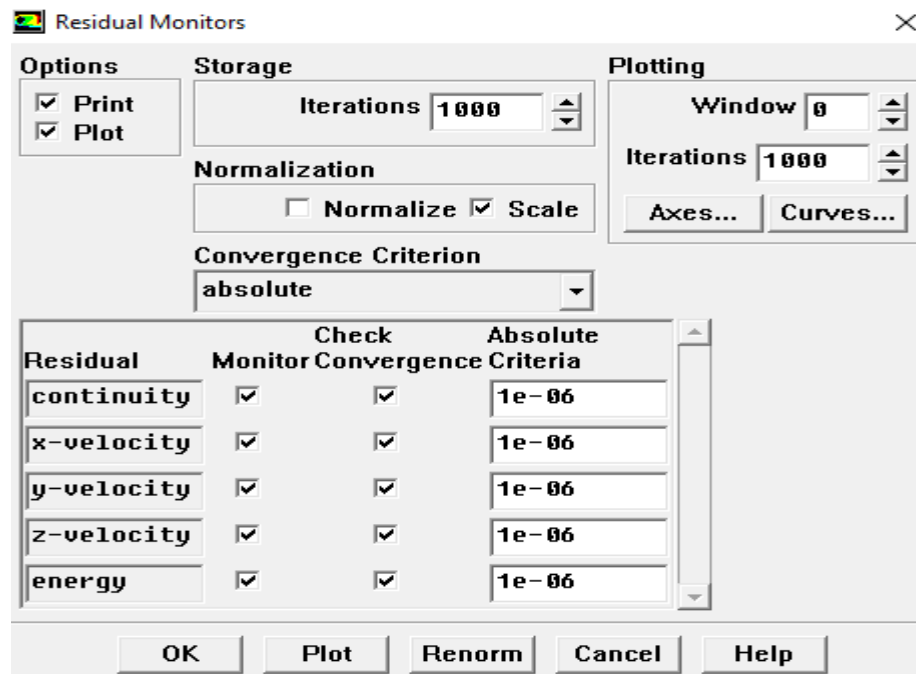
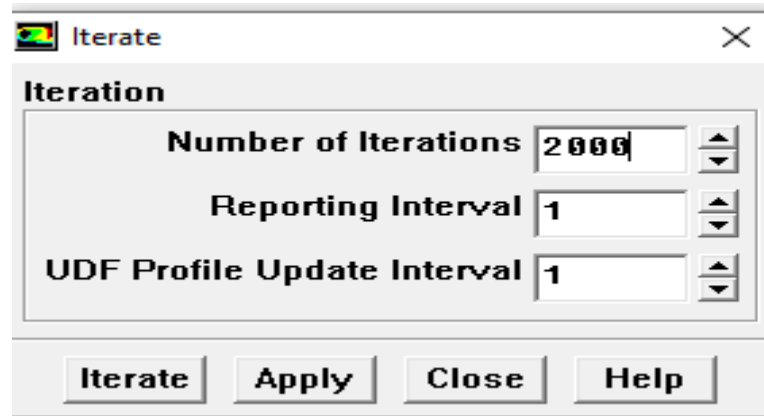
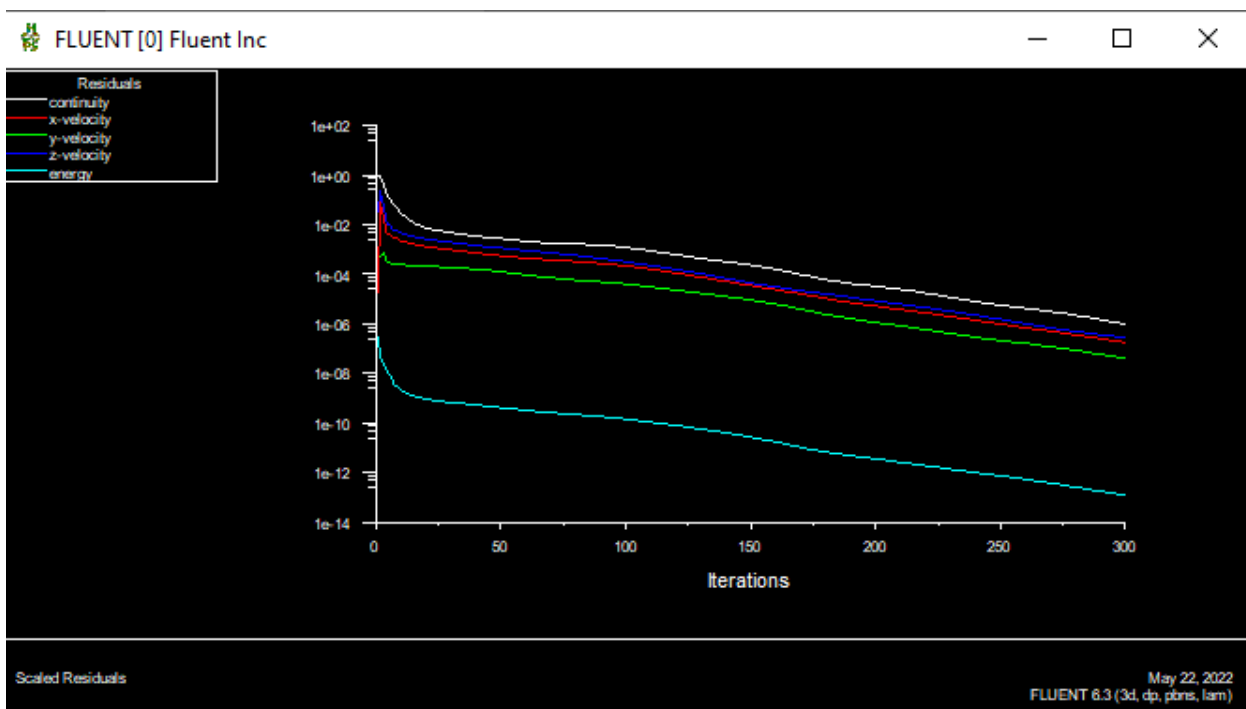


Figure.III.19 :Choix des résidus

**III.12.17 Calcul :**

Solve→Iterate :

**Figure. III. 20 :**Choix des nombres des itérations**Figure. III.21:** Allure de l'évolution des résidus de calcul.

On choisit un nombre d'itération et clique sur « iterate ». Vous recliquez sur « iterate » tant que vous ne voyez pas de plateau sur le graphique des résidus affiché par Fluent.

### III.12.18 Visualisation des résultats :

**Display** → **Contours** **Display** → **vectors**, **Display** → **contours** → **température**

Ces options permettent de déterminer les vecteurs des variables, les champs de températures, vitesse et de pression.

### III.12.19 Sauvegarde de fichier :

**File** → **Write** → **Case & Dat**

### III.13 Conclusion :

A travers ce chapitre, nous avons présenté Gambit et le code calcul Fluent ainsi que les étapes de simulation en utilisant le préprocesseur Gambit pour créer la géométrie et maillage et le code Fluent pour la résolution des équations gouvernantes. Les résultats de ces simulations seront présentés dans le chapitre suivant.

## Chapitre IV

### Résultats et discussions

#### IV.1.Introduction

Dans ce chapitre nous présentons les résultats de simulations d'un panneau solaire plan à air dont l'absorbeur est muni d'ailettes. Notre travail a porté sur l'étude du transfert de chaleur entre les éléments du panneau solaire (vitrage et absorbeur) et le fluide caloporteur (air).

Les calculs sont effectués dans la ville de M'sila de coordonnées géographiques sont :

Latitude de  $35^{\circ}18'N$  et une Longitude de  $4^{\circ}14'E$  et un décalage horaire de 1heure. Pour une date le 20 Juin à 13h dans les conditions normales.

Le fluide air est porté à la température ambiante  $T_a=300K$ , le panneau thermique est soumis à un rayonnement incident IG sur la face supérieur du panneau qui est le vitrage est soumise à une température  $T_v=308K$  et un coefficient de transfert de chaleur convectif  $h_v=9.53w/m^2K$ .

L'objectif de ce travail est de déterminer le taux de transfert de chaleur du fluide dans le tube en variant le débit de ce dernier c'est-à-dire pour des nombres de Reynolds  $Re=100, 150, 227, 300, 500$  et 800 ainsi que le rendement pour des angles d'inclinaisons du capteur  $\alpha=0^{\circ}, 30^{\circ}$  et  $45^{\circ}$

Nous présentons pour notre configuration, les contours de la température en fonction du nombre de Reynolds et l'angle d'inclinaison ainsi que le nombre de Nusselt et le rendement. Pour présenter les résultats de simulation, on a utilisé le logiciel Origin version 6 pour tracer les courbes.

#### IV.2. Les paramètres utilisés :

- ❖ Les propriétés physiques de l'air à la température ambiante  $T_a=300K$ :
  - Masse volumique :  $\rho= 1.225 \text{ kg/m}^3$ .
  - La capacité calorifique :  $C_p = 1006.43 \text{ J/kg.K}$ .
  - Conductivité thermique  $\lambda =0.0242 \text{ W/m.K}$ .
  - Viscosité dynamique  $\mu =1.7894 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$ .

Paramètres	Vitrage	Plaque absorbeur	Isolant
Coefficient d'absorption	$\alpha_v=0.01$	$\alpha_p=0.94$	-
Coefficient de transmission	$\tau_v=0.9$	-	-
Emissivité	$\varepsilon_v=0.97$	$\varepsilon_p=0.7$	$\varepsilon_I=0.7$
Épaisseur (mm)	3mm	2.7cm	3mm
Conductivité thermique (W.m-1.K-1)	$k_v=0.7$	$k_p=481$	$k_I=0,036$
Densité (kg.m-3)	$\rho_v=2800$	$\rho_p=8933$	$\rho_I=40$
Chaleur spécifique (J.kg.K)	$Cp_v=750$	$Cp_p=385$	$Cp_I=840$

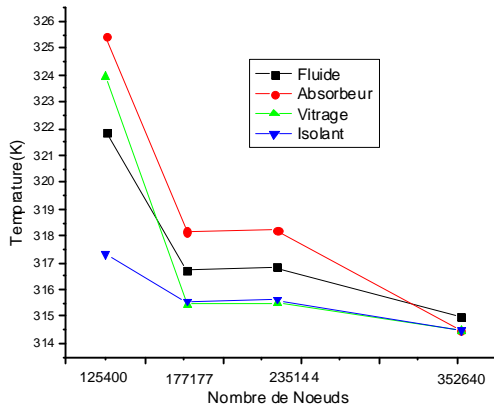
**Tableau IV.1** : Paramètres utilisés dans les simulations.

### IV.3. Influence du maillage

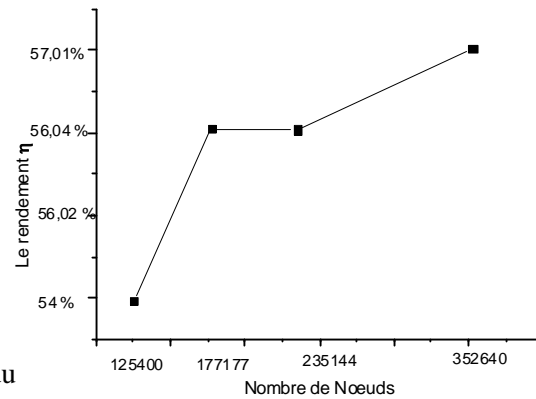
Le choix du maillage a une grande influence sur la précision des résultats et le temps de calcul. Nous avons effectués plusieurs essais numériques avec des différentes grilles de maillage, à savoir (352640) nœuds, (235144) nœuds, (177177) nœuds et (125400) nœuds pour un nombre de Reynolds  $Re=227$  pour la date 19 Mai à 12h30.

Les figures (IV.1, IV.2 et IV.3) montrent respectivement les variations de la température des composants du panneau solaire, le rendement et le nombre de Nusselt en fonction des nombres de nœuds de chacune des grilles.

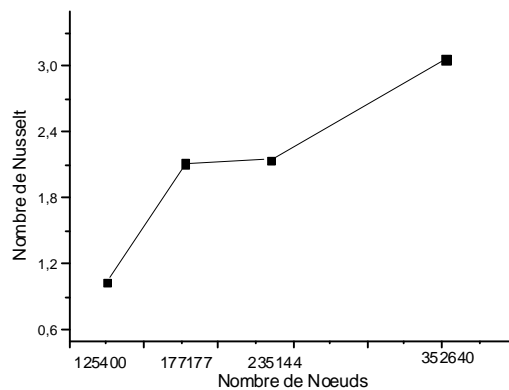
Notre choix s'est orienté vers la grille(235144) nœuds qui a donné des résultats et un temps de calcul acceptables.



**Figure IV.1 :** Variation de la température en fonction du maillage



**Figure IV.2** Variation du rendement en fonction du maillage



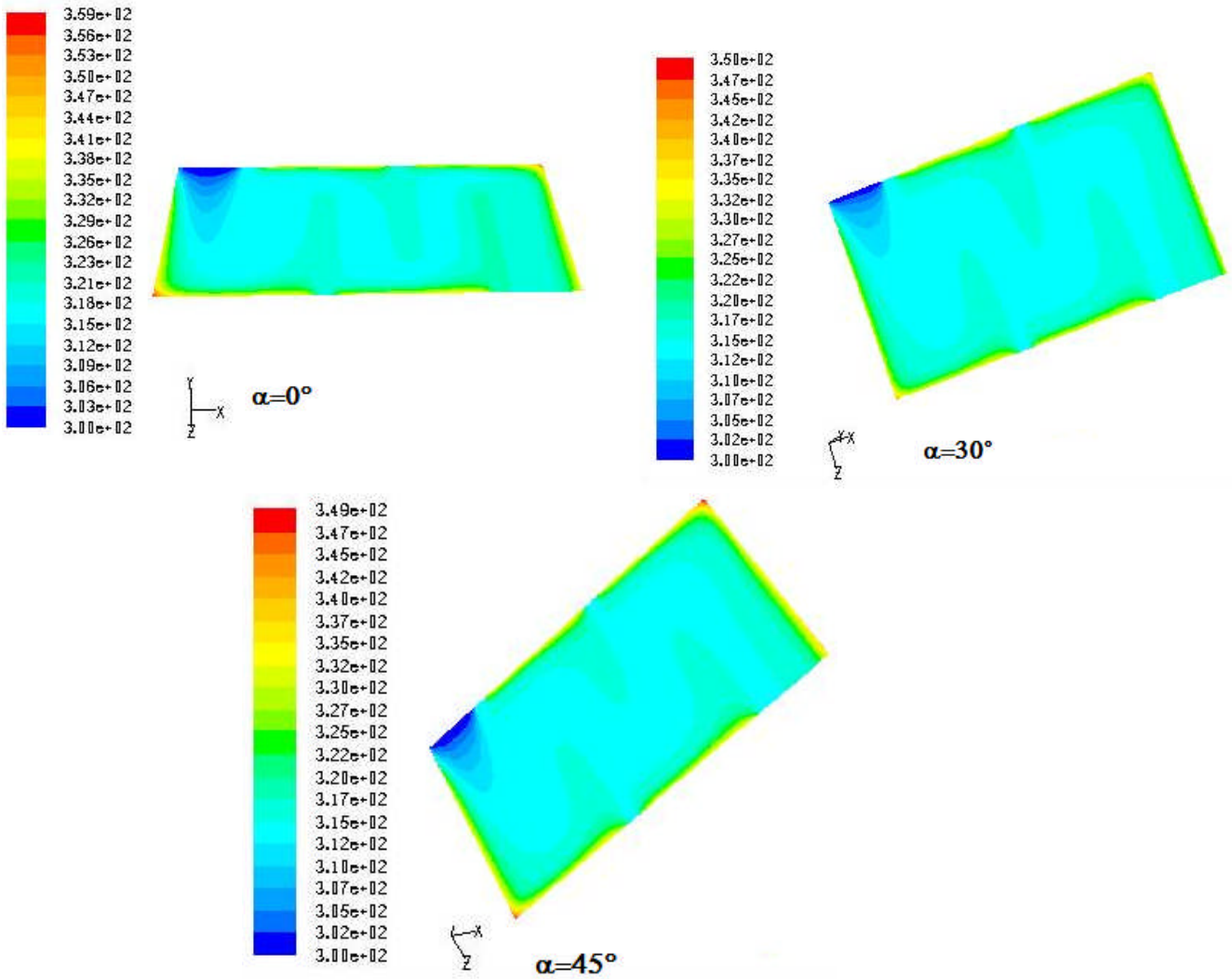
**Figure IV.3** Variation du nombre de Nusselt en fonction du maillage

#### IV.4. Influence du nombre de Reynolds

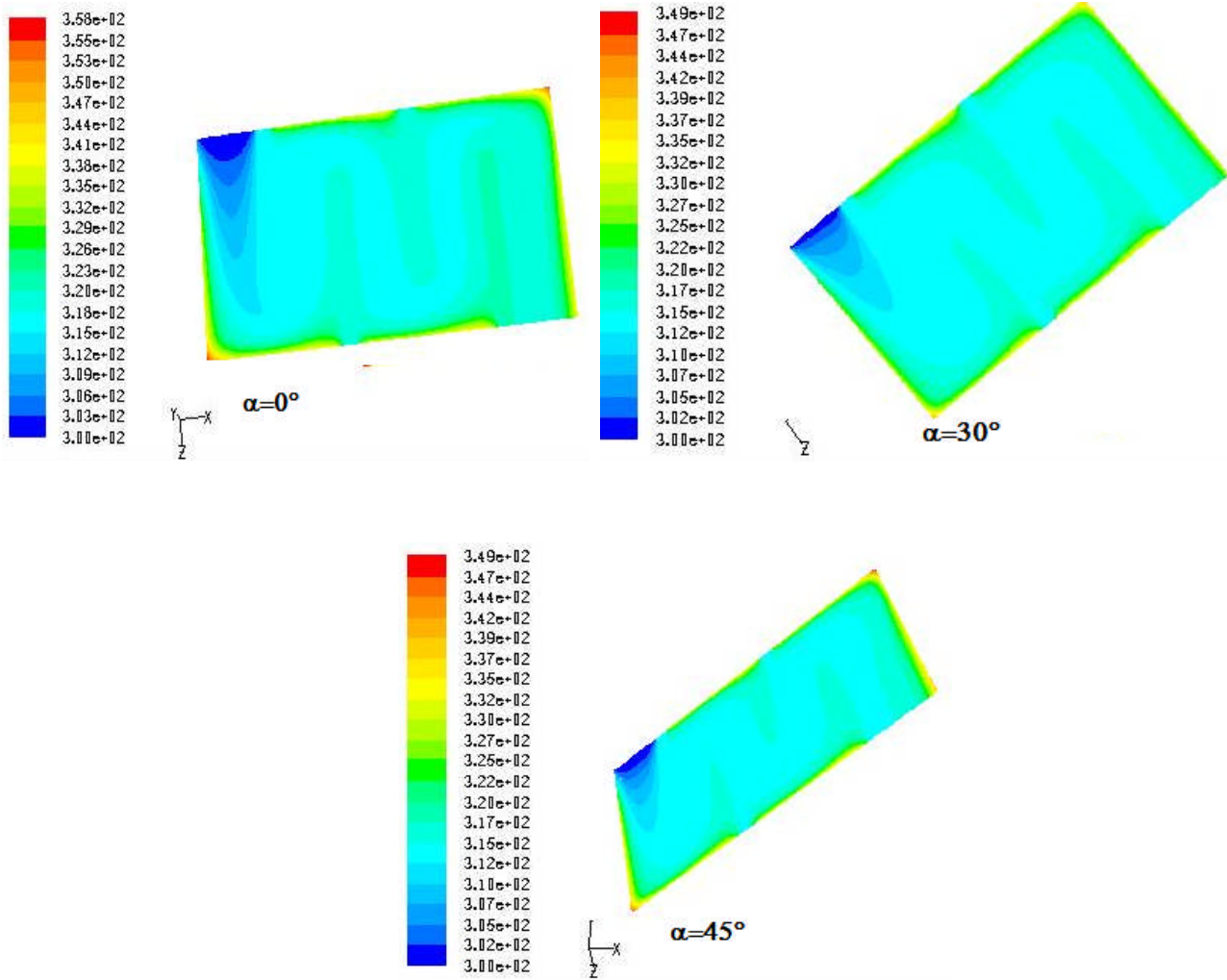
Pour voir l'influence du nombre de Reynolds sur le transfert de chaleur entre l'absorbeur et le fluide caloporteur, les simulations ont été faites pour des nombres de Reynolds  $Re=100, 150, 500$  et  $800$  pour un panneau thermique horizontal c'est-à-dire  $\alpha=0^\circ$  ensuite  $\alpha=30^\circ$  et  $\alpha=45^\circ$ .

##### IV.4.1 Contours de température

Les Figures (IV.4, IV.5, IV.6 et IV.7), montrent les contours de température pour les nombres de Reynolds cités ci-dessus. Nous constatons d'après ces figures que la température du fluide à l'entrée est plus faible qu'à la sortie et cette température diminue à la sortie quand le nombre de Reynolds augmente.



**Figure IV.4** Variation des contours de la température pour  $Re=100$



**Figure IV. 5** Variation des contours de la température pour  $Re=150$

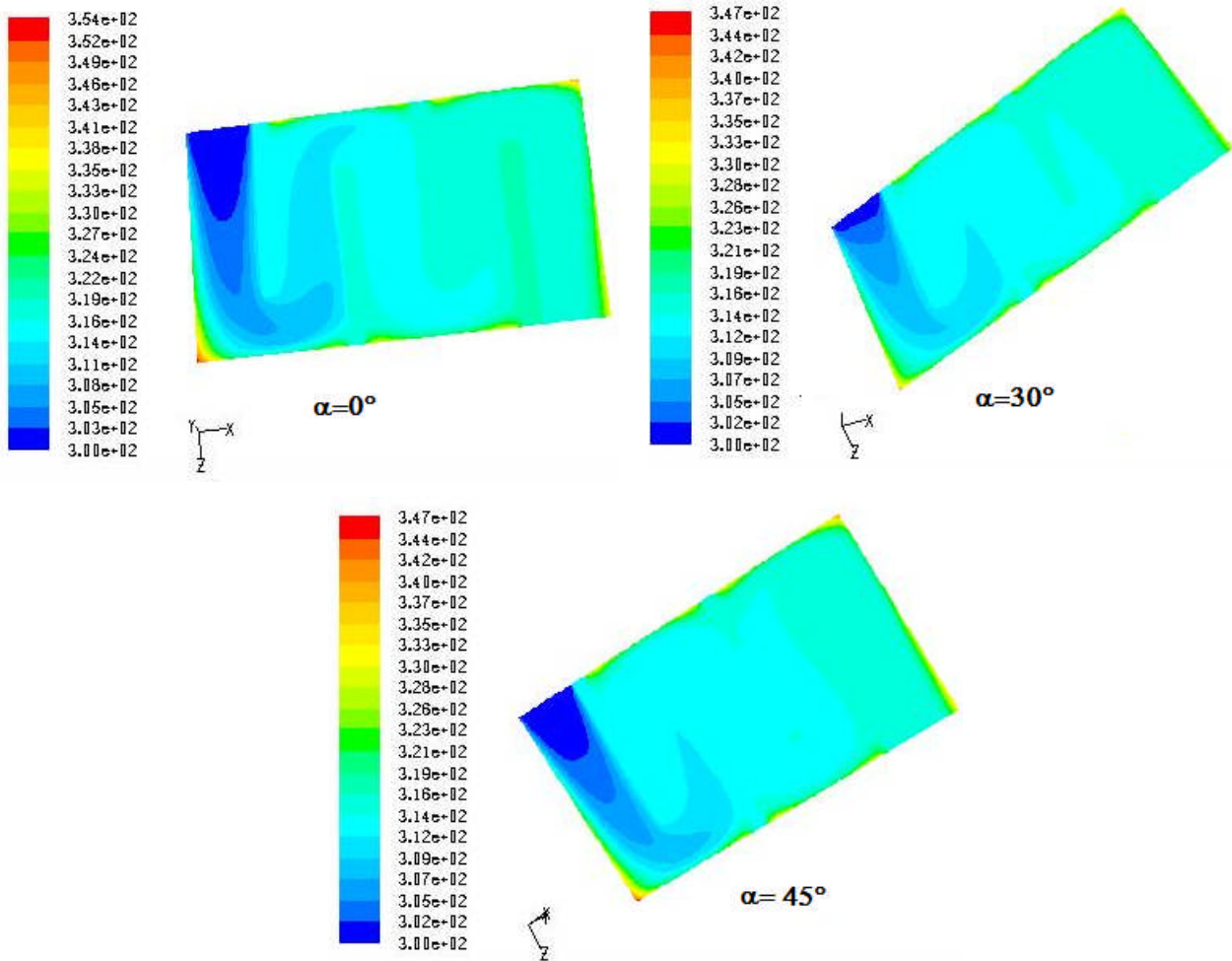


Figure IV. 6 Variation des contours de la température pour  $Re=500$

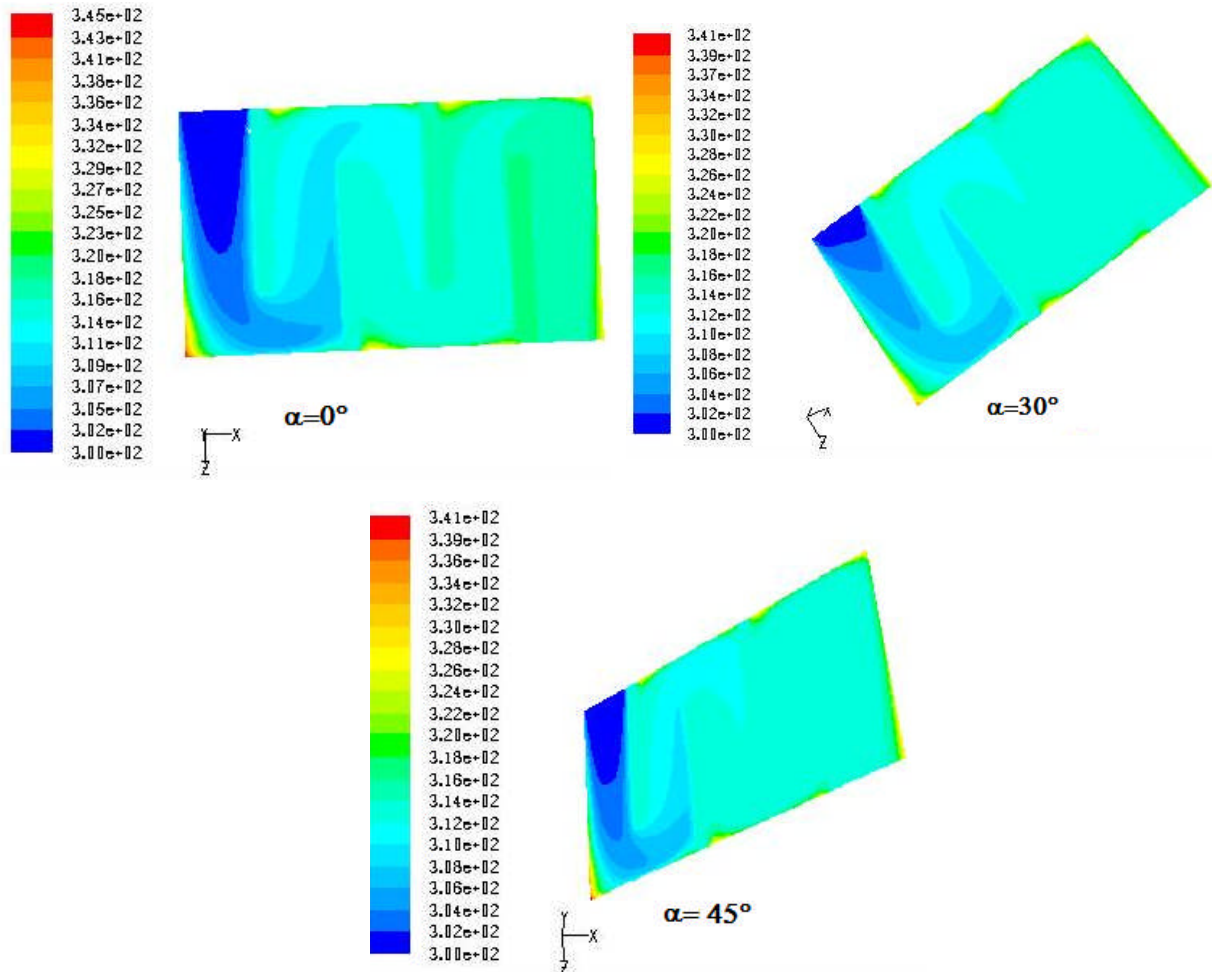


Figure IV. 7 Variation des contours de la température pour  $Re=800$

#### IV.4.2 Contours de vitesse

Les Figures (IV.8, à IV.11), montrent les contours de vitesse pour les nombres de Reynolds cités ci-dessus. D'après ces figures, nous ne constatons que pour un même nombre de Reynolds la vitesse augmente à la sortie du fait de l'échauffement de l'absorbeur et du fluide caloporteur il ya accélération des particules de fluide. Aussi quand le nombre de Reynolds augmente la vitesse augmente puisque le débit a augmenté.

La figure(IV.12), montre l'allure des vecteurs de vitesse du fluide dans l'absorbeur, qui montre que le fluide a tendance à se dévier par la présence des ailettes et le maximum de vitesse se localise au milieu entre les ailettes et s'annule au niveau des parois, on a à l'entrée une vitesse constante et à la sortie une vitesse de forme paraboliques.

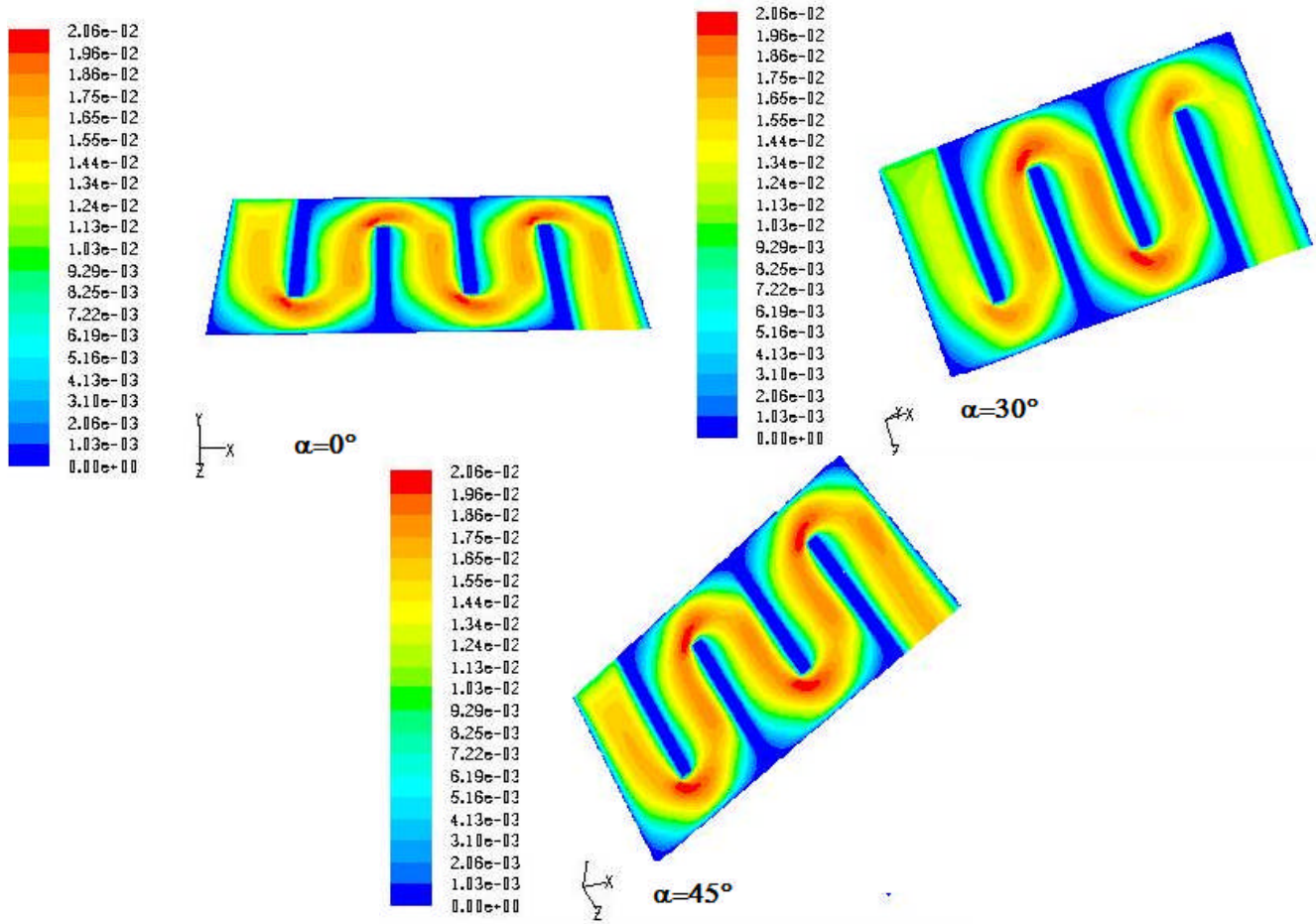


Figure IV.8 Variation des contours de Vitesse pour  $Re=100$

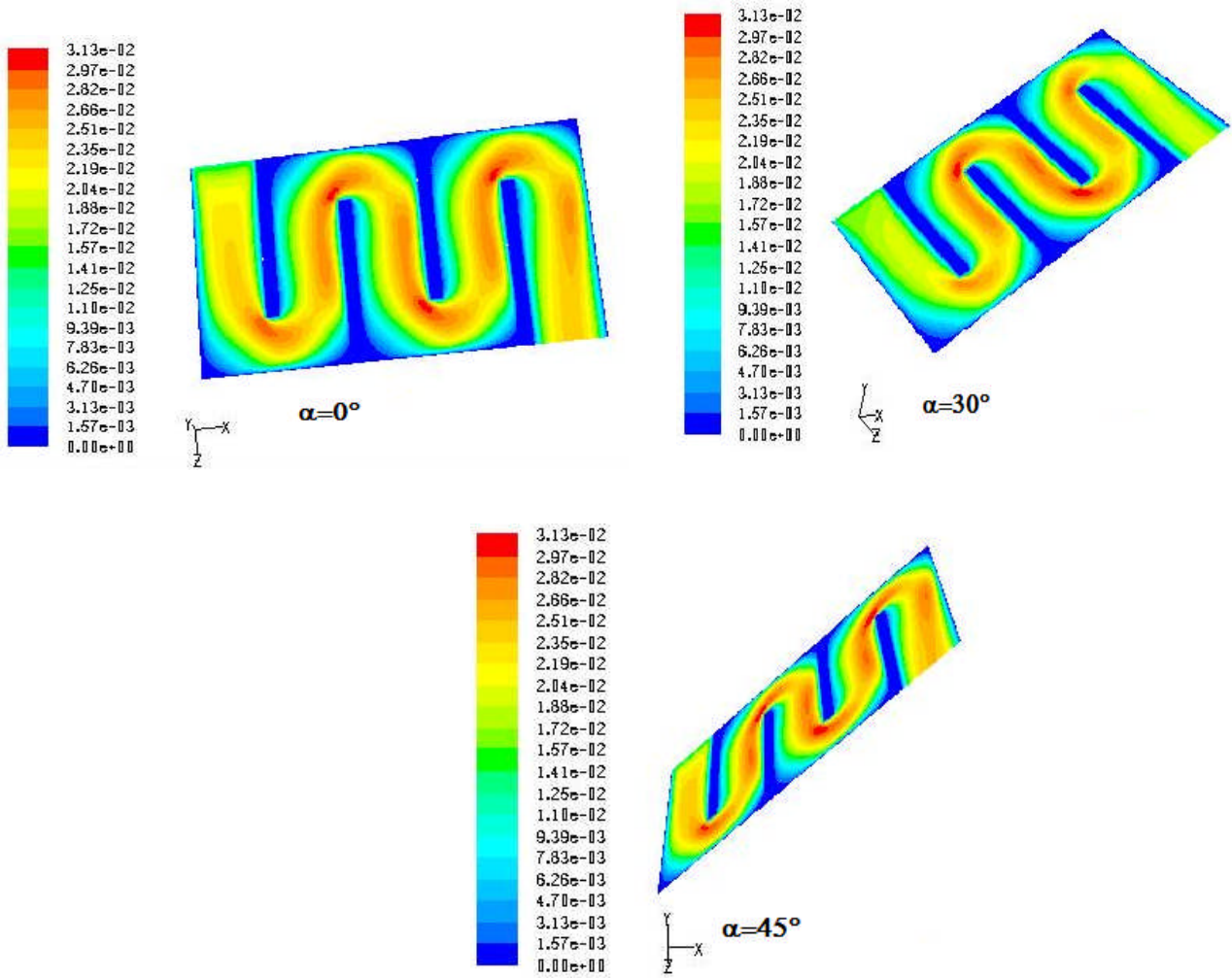
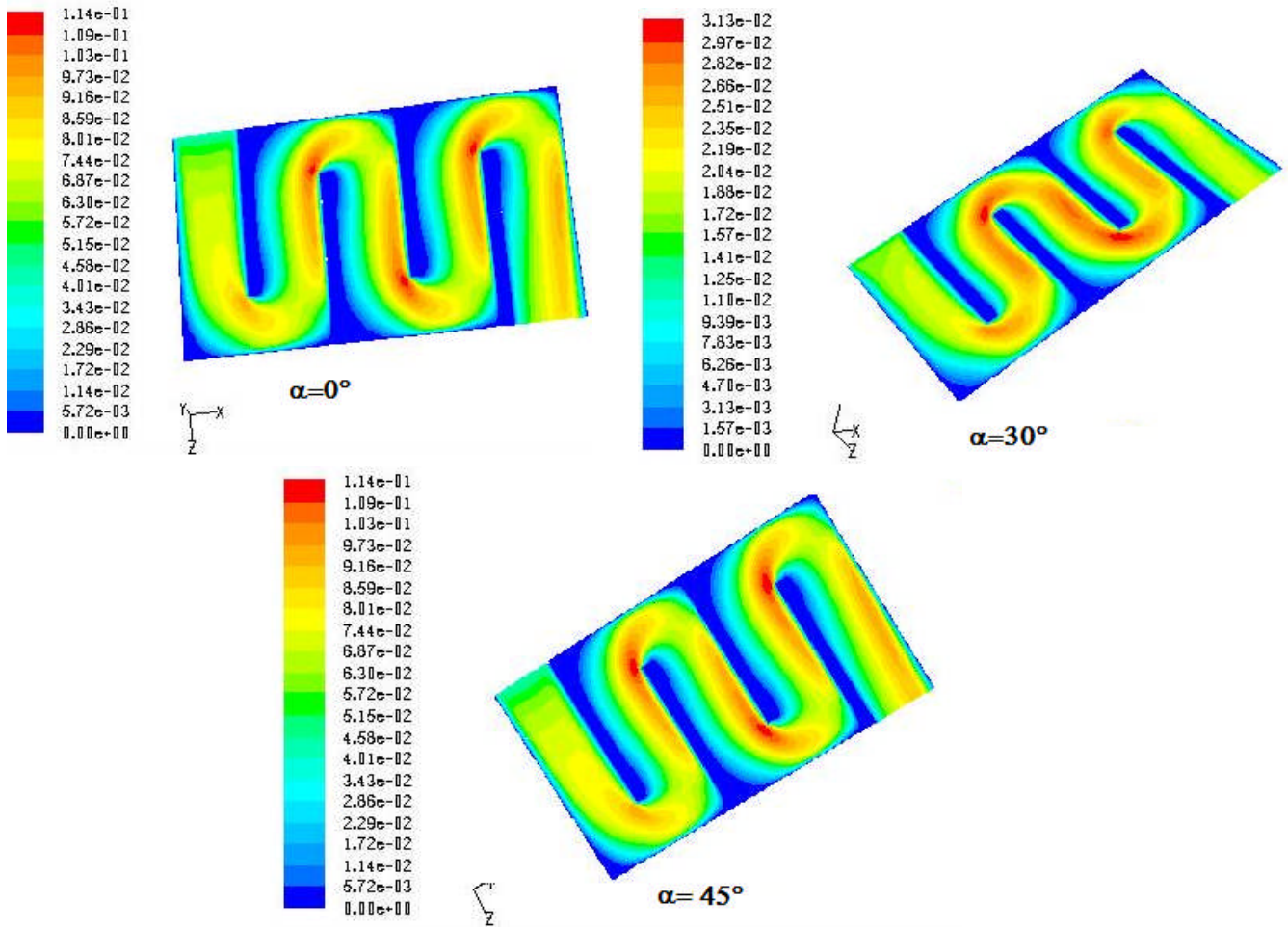
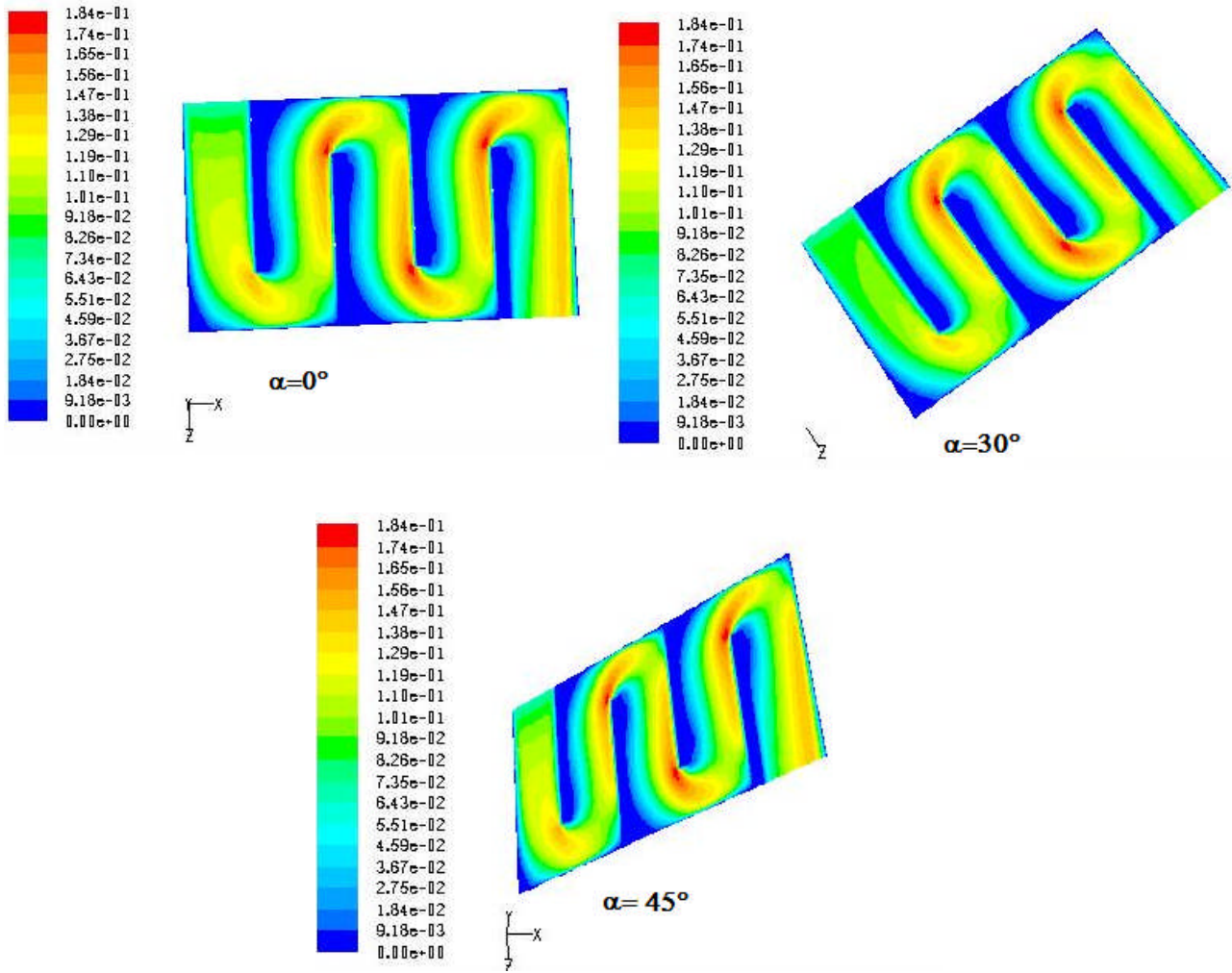


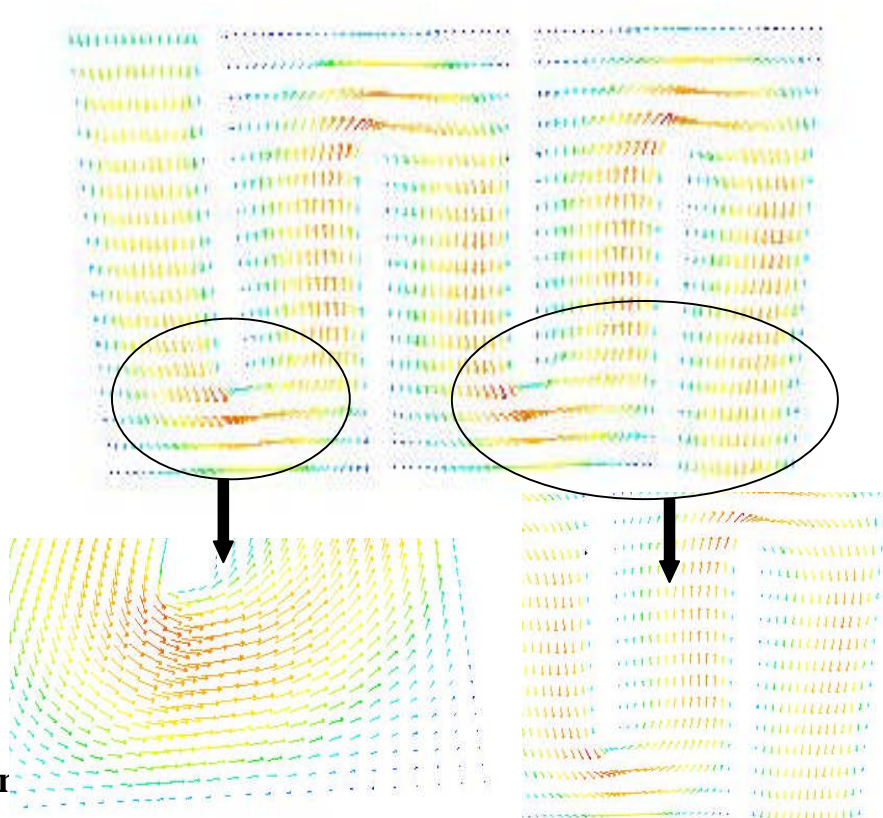
Figure IV 9 Variation des contours de vitesse pour  $Re=150$



**Figure IV.10** Variation des contours de vitesse pour  $Re=500$

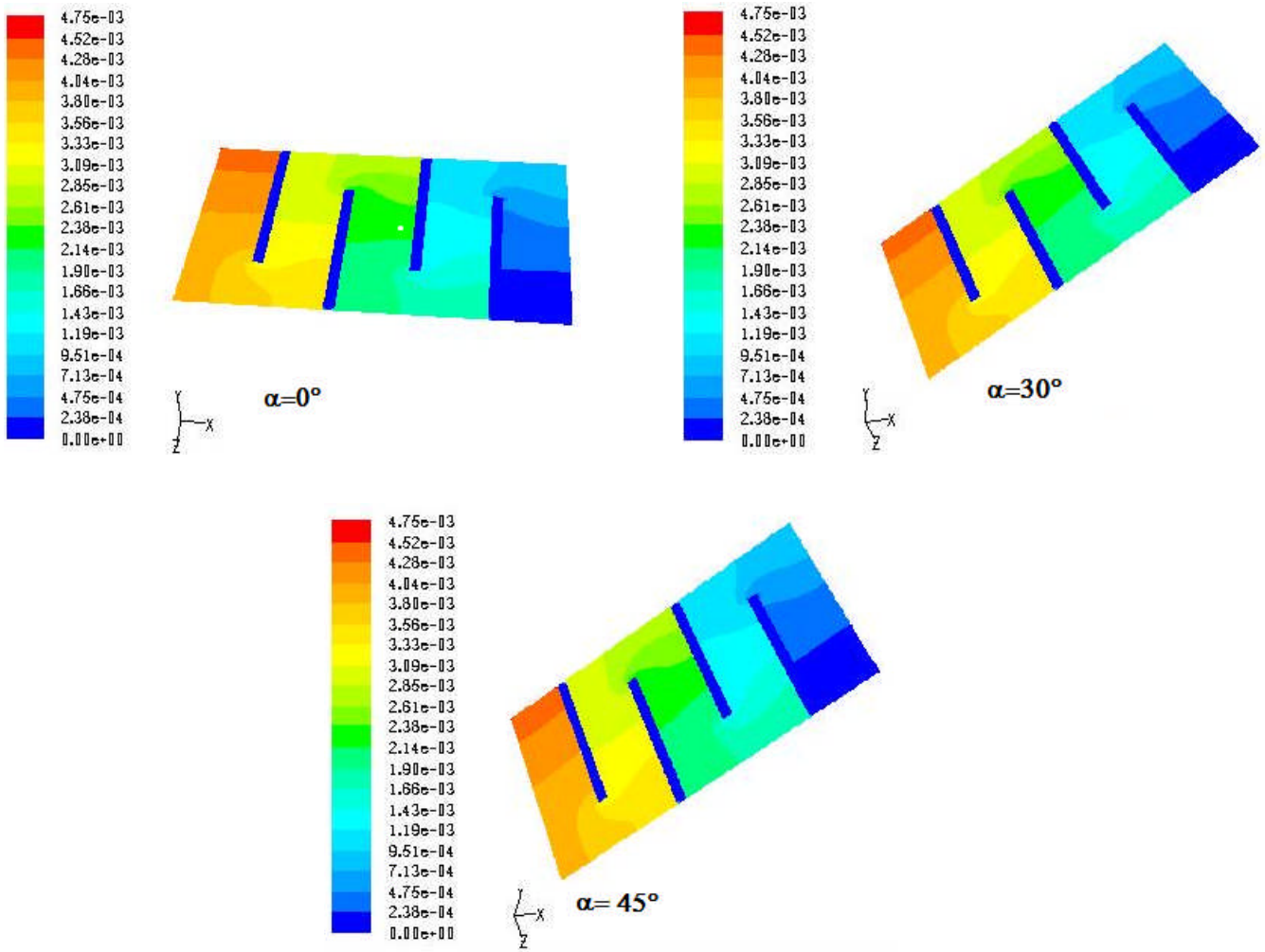


**Figure IV.11** Variation des contours de la température pour **Re=800**



#### IV.4.3 Cor

Les Figures (IV.13 à,IV 16,) montrent les contours de pression pour les nombres de Reynolds cités ci-dessus. D'après ces **Figure IV.12** Allure des vecteurs de vitesse pour  $Re=150$ , Reynolds la pression est plus élevée à l'entrée est nulle à la sortie pour vérifier la condition aux limites (pressure outlet), et lorsque le nombre de Reynolds augmente la pression augmente.



**Figure IV.13** Variation des contours de pression pour  $Re=100$

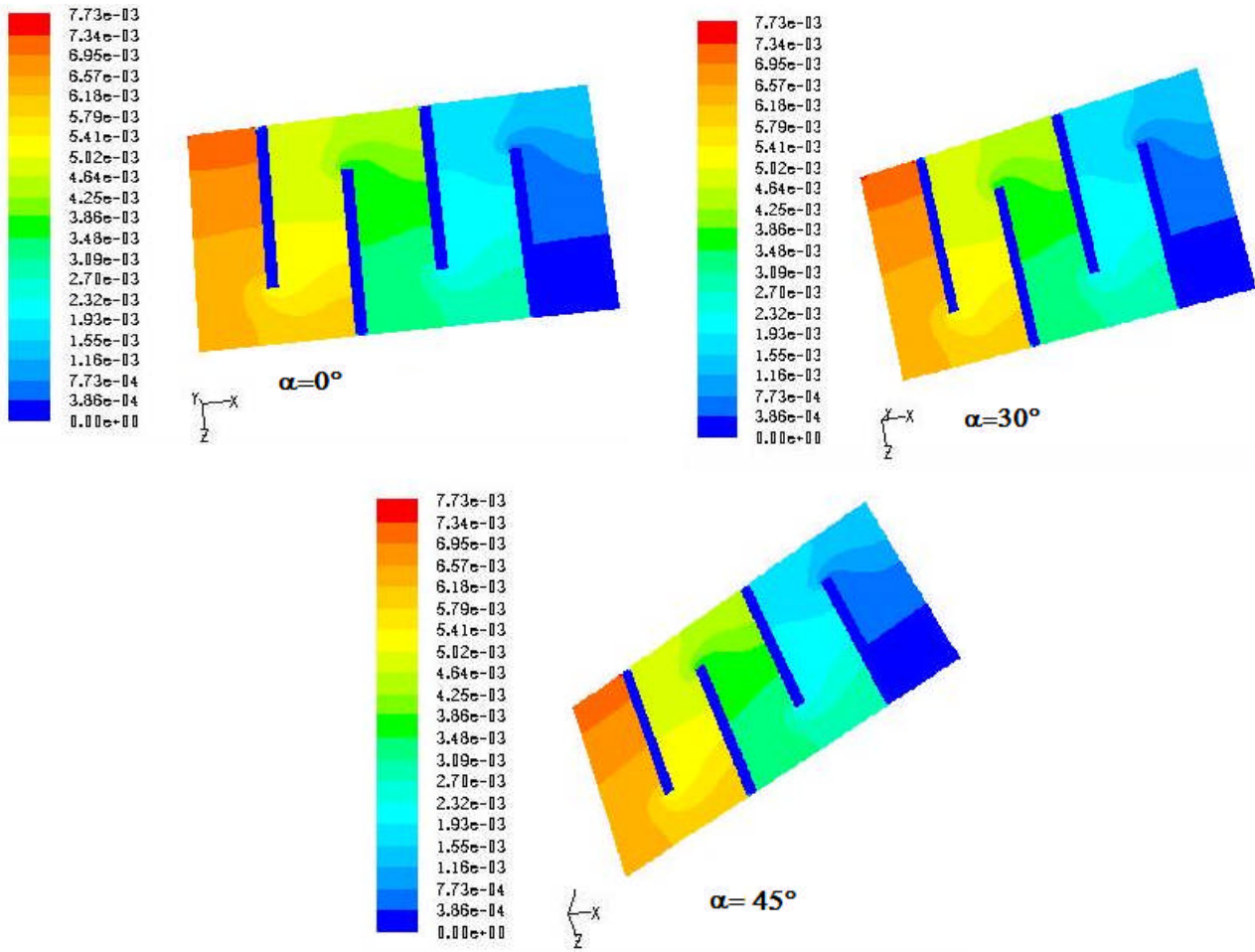


Figure IV.14 Variation des contours de pression pour  $Re=150$

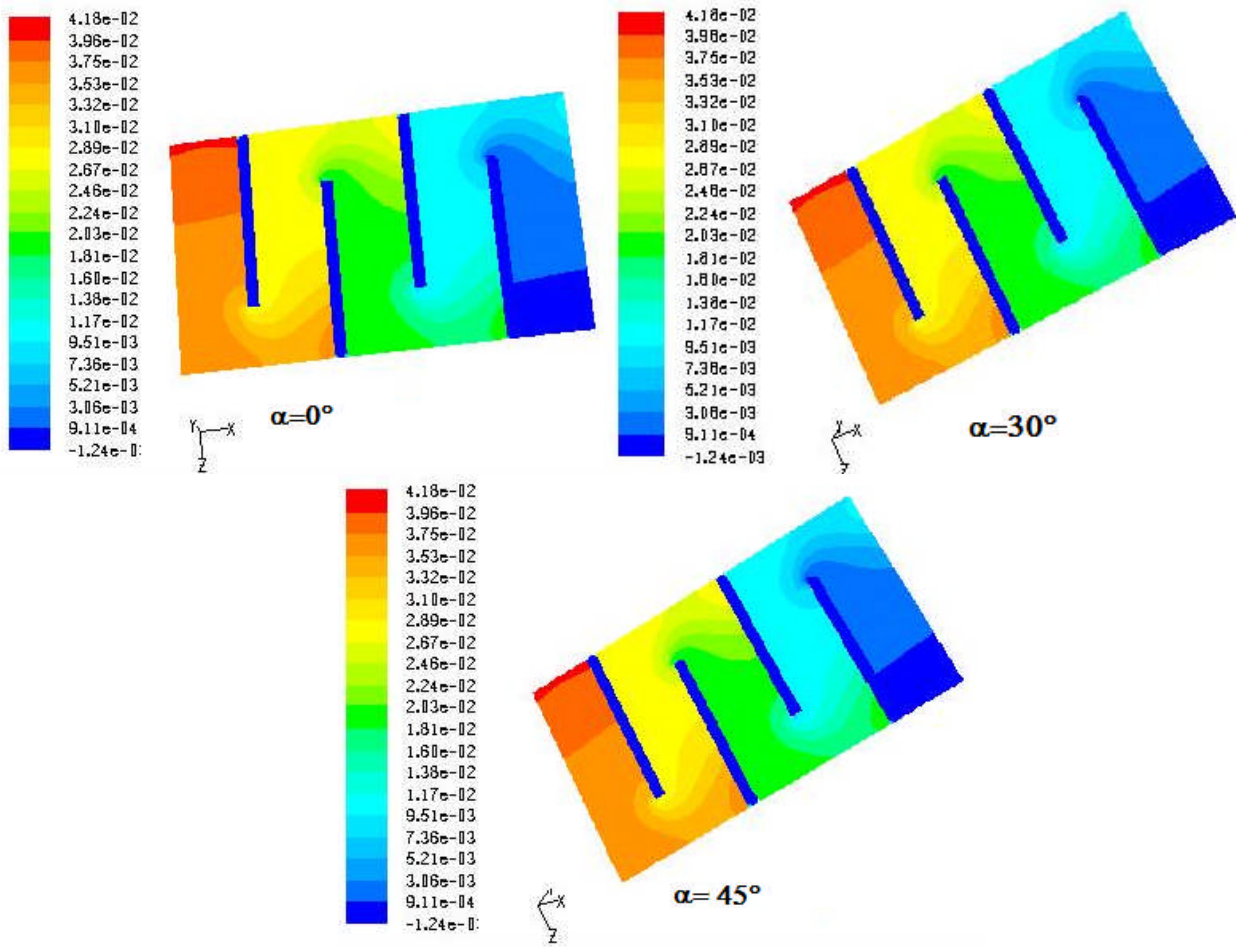
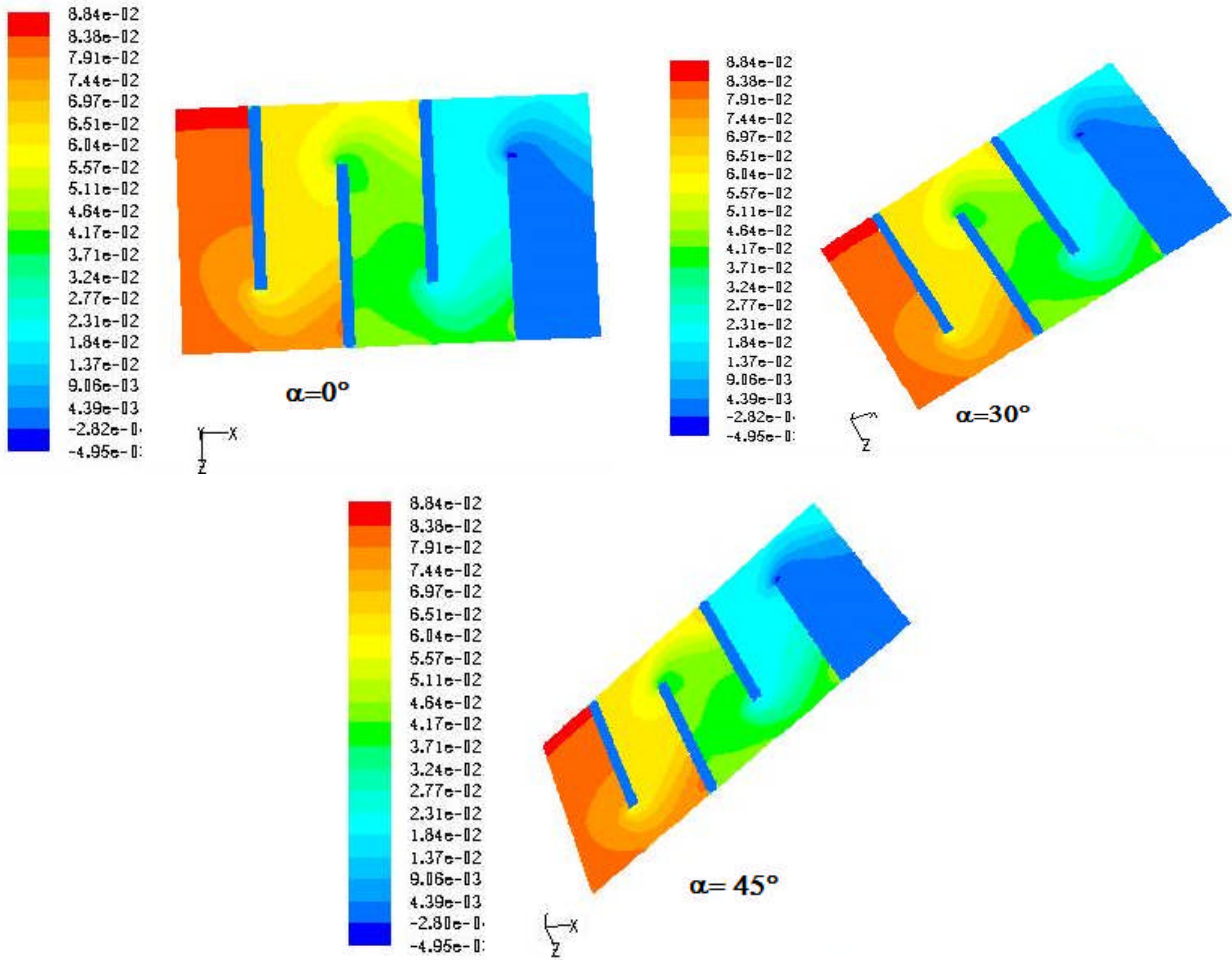


Figure IV.15 Variation des contours de pression pour  $Re=500$



**Figure IV.16** Variation des contours de pression pour  $Re=800$

### IV.5. Influence de l'angle d'inclinaison

Pour voir l'influence de l'inclinaison du panneau, nous avons fait les simulations pour les nombres de Reynolds  $Re=100, 150, 300, 500$  et  $800$  pour des angles d'inclinaison du panneau  $\alpha=0^\circ, \alpha=30^\circ$  et  $\alpha=45^\circ$  pour lesquels nous avons calculé le taux de transfert de chaleur et le rendement. La figure(IV.17) montre la variation du nombre de Nusselt en fonction du nombre de Reynolds pour les angles d'inclinaisons cités ci-dessus. D'après ces courbes nous constatons que le taux de transfert de chaleur augmente quand le nombre de Reynolds augmente et on voit une légère augmentation du taux de transfert de chaleur pour l'inclinaison  $\alpha=45^\circ$  du panneau par rapport à celle de  $30^\circ$  et  $0^\circ$ .

La figure(IV.18) montre la variation du rendement  $\eta$  en fonction du nombre de Reynolds pour les angles d'inclinaisons  $\alpha=0^\circ, \alpha=30^\circ$  et  $\alpha=45^\circ$ . D'après ces courbes, nous constatons que le rendement augmente quand le nombre de Reynolds et l'angle d'inclinaison augmente. L'angle d'inclinaison  $\alpha=45^\circ$  admet un rendement environs de  $57.2\%$  pour  $Re=800$ .

Les figures( IV.19 et IV.20) montrent l'évolution de la température en fonction du nombre de Reynolds pour les angles d'inclinaisons cités plus haut de l'absorbeur et du fluide à la sortie. Nous remarquons que pour  $\alpha=0^\circ$ , les températures du fluide à la sortie et celle de l'absorbeur sont les plus élevées par rapport à ceux de  $\alpha=30^\circ$  et  $\alpha=45^\circ$ . Cette température a tendance à diminuer quand le nombre de Reynolds augmente.

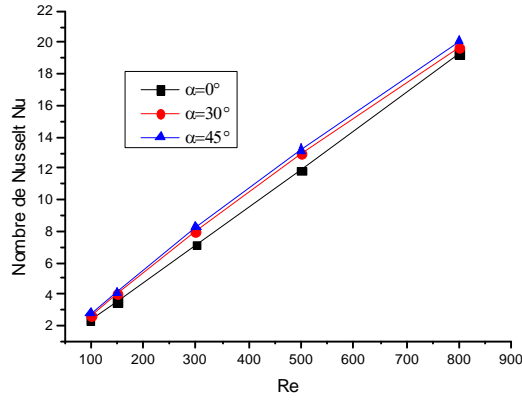


Figure IV.17 Variation du nombre de Nusselt Nu en fonction de Re

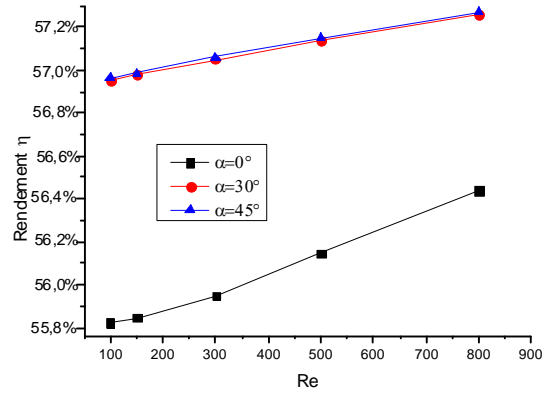


Figure IV.18 Variation du rendement en fonction de Re

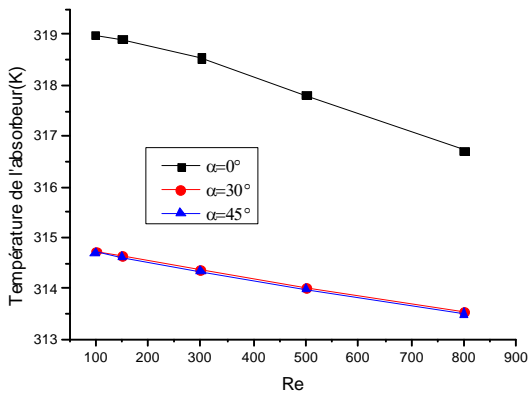


Figure IV.19 Variation de la température de l'absorbeur en fonction de Re

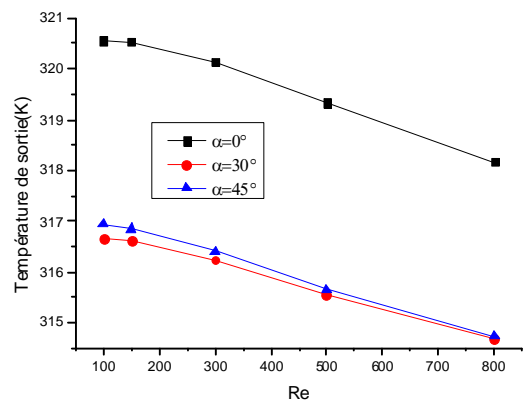


Figure IV.20 Variation de la température de en fonction de Re

## Conclusion Générale

L'étude numérique d'un panneau solaire thermique à ailettes menée dans le cadre de ce travail a permis de déterminer les performances de ce dernier et de préciser l'effet de différents paramètres (l'inclinaison et le débit du fluide) sur ces performances.

Les logiciels Gambit et Fluent 6.3.26 ont été utilisés pour la construction de la géométrie et les simulations numériques.

Le travail présenté a pour les objectifs suivants :

Comprendre le processus de transfert de chaleur avec rayonnement dans un capteur solaire à air et à ailettes.

Des simulations ont été effectuées pour des inclinaisons du capteur ( $\alpha = 0^\circ$ ,  $\alpha = 30^\circ$  et  $\alpha = 45^\circ$ ) et des nombres de Reynolds ( $Re = 100$  à  $800$ ) correspondant à la convection forcée.

Les résultats obtenus représentent les variations du rendement ; des contours de température ; de vitesse ; de pression ainsi que le nombre de Nusselt relatifs à l'écoulement en fonction des nombres de Reynolds.

D'après les résultats nous pouvons conclure que :

- La température du fluide est plus élevée dans la face supérieure du panneau qui est le vitrage, ensuite cette chaleur est transmise vers les autres éléments du panneau à savoir la plaque absorbante ensuite le fluide.
- La température du fluide diminue quand le nombre de Reynolds augmente.
- La vitesse du fluide augmente quand le nombre de Reynolds augmente, et pour un même nombre de Reynolds la vitesse augmente à la sortie du fait de l'échauffement de l'absorbeur et du fluide caloporteur il ya accélération des particules de fluide.
- Pour un même nombre de Reynolds la pression est plus élevée à l'entrée est nulle à la sortie pour vérifier la condition aux limites (pressure outlet), et lorsque le nombre de Reynolds augmente la pression augmente.
- le taux de transfert de chaleur augmente quand le nombre de Reynolds augmente et on voit une légère augmentation du taux de transfert de chaleur pour l'inclinaison  $\alpha = 45^\circ$  du panneau par rapport à celle de  $30^\circ$  et  $0^\circ$ .
- le rendement augmente quand le nombre de Reynolds et l'angle d'inclinaison augmente. L'angle d'inclinaison  $\alpha = 45^\circ$  admet un rendement environs de 57.2% pour  $Re = 800$ .

## Références

- [1] F.A. peuser, K.H.remmers, M.schanauss, installations solaires thermiques conception et mise en œuvre, (2005).
- [2] J. bernard, énergie solaire calculs et optimisation, nouvelle édition, (2011).
- [3] O.gergaud, modélisation énergétique et optimisation économique d'un système de production éolien et photovoltaïque couplé au réseau et associé à un accumulateur, école normale supérieure de Cachan, France, (2002).
- [4] <http://www.sonelgaz.dz/?page=article&id=34>.
- [5] M.adouane, étude de la fiabilité des systèmes solaires hybrides dans le sahara, thèse de doctorat, école nationale polytechnique, (2014).
- [6] V. quaschnig, renewable energy and climate, (2010).
- [7] A.soteris, kalogirou, solar thermal collectors and applications, progress in energy and combustion science, (30) 231–295 (2004).
- [8] R.foster, M.ghassemi,A.cota, solar energy, renewable energy and the environment,(2009).
- [9] Brian Norton, solar energy thermal technology, (1991).
- [10] G.iordanou, flat-plate solar collectors for water heating with improved heat transfer for application in climatic, thesis, university of durham, (2009).
- [11] M.S.hossainb, R.saidur,H.fayaz, review on solar water heater collector and thermal energy performance of circulating pipe, renewable and sustainable energy reviews, (15) 3801– 3812 (2011).
- [12] <http://uved.univ-perp.fr/module2/co/2-1-2-1-1-capteurs-solaires-thermiques.htm>.
- [13] F.struckmann, analysis of a flat-plate solar collector, (2008).New Delhi, India,(1986).
- [14] Hollands KGT, Shewan EC, Optimization of flow passage geometry for air heating plate type solar collectors Trans of ASME, Journal of Solar Energy and Engineering 1981; 103: 323-330
- [15] Choudhury C, Garg HP Design analysis of corrugated and flat plate solar air heaters. Renewable Energy, 1991;1(5/6):595-607
- [16] Mohamad C. High efficiency solar air heater Solar Energy Vol. 60, No. 2, pp. 717-727
- [17] Mokhtari F., Semmar D. Influence de la configuration de l'absorbeur sur les performances thermique d'un capteur solaire à air. Revue des Energies renouvelables : Journée de thermique, 2001, pp. 159-162
- [18] D. Semmar, S. Betrouni, D. Lafri, Etude et Réalisation d'un capteur solaire à air. Revue des Energies Renouvelables
- [19] Gupta D, Solanki SC, Saini JS Heat and fluid flow in rectangular solar air heater ducts having transverse rib roughness on absorber plates. Solar Energy 1993; 51(1): 31-37.
- [20] Karwa R. Experimental studies of augmented heat transfer and friction in

- asymmetrically heated rectangular ducts with ribs on heated wall in transverse, inclined, v-continuous and v-discrete pattern. *Int Commun Heat Mass Transfer* 2003;30:241–5
- [21] N.Moummi ,S.Youcef-Ali ,A.Moummi ,J.Y.Desmons ,Energy analysis of a solar aircollector with rows of fins ,*Renewable Energy* ,Vol.29,(2053-2064),2004.
- [22] A. Zaïd, A. Moulla, M.S. Hantala, 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.* 4 (2001) 69-78.*Energ. Ren.* 4 (2001) 69-78.
- [23] S.Y. Ali., Study and optimization of the thermal performances of the offset rectangular plate fin absorber plates, with various glazing. *Renewable Energy*, 30 (2005), pp. 271–280.
- [24] A.A. Zaïd, Optimisation des capteurs solaires plans à air : application au séchage de produits agricoles et de la pêche .Thèse de doctorat, Valenciennes (1999)
- [25] H. P. garg, M. dayal, G. furlan, A. A. M. Sayigh, physics and technology of solar energy volume 1 ,solar thermal applications, proceedings of the international workshop on physics of solar energy,
- [26] R .pasquetti, chauffage de fluides par capteurs solaires à concentration, dossier technique d'ingénieur, (1987).
- [27] A.jelali, interconnexion d'un système photovoltaïque sur le réseau électrique, thèse université de Québec, (2012).
- [28] A. labouret, M.villoz, energie solaire photovoltaïque, 2<sup>e</sup> édition,
- [29] C.cabal,optimisation énergétique de l'étage d'adaptation électronique dédié à la conversion photovoltaïque, thèse doctorat, université Toulouse, (2008).
- [30] Y.wu,thermal management of concentrator photovoltaics, thesis, university of warwick, (2009).
- [31] N.enteria, A.Akbarzadeh, solar energy sciences and engineering applications, taylor & francis group, London, UK, (2014).
- [32] Y.B.assoa, performances de capteurs solaires PV/T hybrides bi-fluides intégrales à l'enveloppe des bâtiments, étude expérimentale et modélisation adaptée, thèse de doctorat, institut national des sciences appliquées de Lyon, (2008).
- [33] Saffa,B. riffat,and E.Cuce, a review on hybrid photovoltaic/thermal collectors and systems, *international journal of low-carbon technologies*,(6)212 – 241 (2011).
- [34] X.zhang, X.zhao, S.Smith, J.Xu, X.Yu, review of R&D progress and practical application of the solar photovoltaic/thermal (PV/T) technologies, *renewable and sustainable energy reviews*,(2011).
- [35] S. M. khairnasov, analyzing the efficiency of a photovoltaic thermal solar collector based on heat pipes, *applied solar energy*, (50) (1)10–15 (2014).
- [36] P.gang, F.huide, Z.tao, J.jie, a numerical and experimental study on a heat pipe PV/T system, *solar energy*, (85) 911–921 (2011).
- [37] R. R. avezov, J. S. akhatov, and N. R. Avezova, a review on photovoltaic thermal (PV–T) air and water collectors, *applied solar energy*, (47) (3) 169–183 (2011).

## Résumé

Dans ce mémoire, nous avons étudié numériquement le transfert de chaleur par rayonnement dans un capteur solaire à 3D dont l'absorbeur est muni d'ailettes longitudinales. Nous avons utilisé comme outils de simulation les logiciels **Gambit** pour la création de géométrie et **Fluent** pour les calculs numériques. L'objectif principal de ce travail est de déterminer le taux de transfert de chaleur du fluide dans l'absorbeur et le rendement du capteur pour des angles d'inclinaisons  $\alpha=0^\circ$  (capteur horizontal),  $\alpha=30^\circ$  et  $\alpha=45^\circ$  pour des nombres de **Reynolds** dans le cas de l'écoulement laminaire **Re=100 à 800**.

Les conclusions qu'on a pu tirer de ce travail sont :

La température est plus élevée dans la face supérieure du panneau qui est le vitrage, ensuite cette chaleur est transmise vers les autres éléments du panneau à savoir la plaque absorbante ensuite le fluide. La température du fluide diminue quand le nombre de **Reynolds** augmente. Pour un même nombre de **Reynolds** la vitesse et la température du fluide augmentent à la sortie du panneau du fait de l'échauffement de l'absorbeur il ya accélération des particules.

Le taux de transfert de chaleur augmente quand le nombre de **Reynolds** augmente et on voit une légère augmentation du taux de transfert de chaleur pour l'inclinaison  $\alpha=45^\circ$  du panneau par rapport à celle de  $30^\circ$  et  $0^\circ$ . Le rendement augmente quand le nombre de Reynolds et l'angle d'inclinaison augmentent. L'angle d'inclinaison  $\alpha=45^\circ$  admet un rendement convenable pour **Re=800**.

**Mots clés:** Panneaux solaires thermiques, convection forcée, CFD Fluent.

## ملخص

في هذه الأطروحة ، درسنا عدديًا انتقال الحرارة عن طريق الإشعاع لوحة شمسية ثلاثية الأبعاد مُجهزة بزعانف طولية. استخدمنا برنامج **Gambit** لإنشاء الهندسة و **Fluent** للحسابات الرقمية كأدوات محاكاة. الهدف الرئيسي من هذا العمل هو تحديد معدل انتقال الحرارة للسائل في جهاز الامتصاص وكفاءة اللوحة لزوايا الميل  $\alpha = 0^\circ$  (المجمع الأفقي  $\alpha = 45^\circ$  و  $\alpha = 30^\circ$  ولأعداد **Reynolds** في حالة التدفق الصفحي **Re=100 إلى 800** . الاستنتاجات التي استخلصنا ها من هذا العمل هي:

ارتفاع في درجة الحرارة في السطح العلوي للوحة وهو الزجاج ، ثم تنتقل هذه الحرارة إلى العناصر الأخرى للوحة ، وهي اللوحة التي تمتص ثم بعد ذلك السائل. إنخفاض في درجة حرارة السائل عندما يزيد عدد **Reynolds**. لنفس رقم **Reynolds** ، تزداد سرعة ودرجة حرارة السائل عند مخرج اللوحة بسبب تسخين الماص ، هناك تسارع للجسيمات. يزداد معدل نقل الحرارة عندما يزداد رقم **Reynolds** ونلاحظ زيادة طفيفة في معدل نقل الحرارة لميل  $45^\circ$  مقارنةً بالميل  $30^\circ$  و  $0^\circ$ . تزداد الكفاءة عندما يزداد رقم **Reynolds** وزاوية الميل. تسمح زاوية الميل  $\alpha = 45^\circ$  بإنتاج مناسب **Re= 800**

**الكلمات المفتاحية:** الألواح الشمسية الحرارية، الحمل الحراري الجبري

CFD Fluent ,