



Département de Génie Mécanique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER

En Génie Mécanique

Option : Energetique

Présenté par :

REBHAOUI Abdel Aziz & MEDDAH Younes

Thème

Simulation numérique d'un capteur solaire plan muni d'un collecteur équipé d'un ruban torsadé

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Qualité
BECHANE Leila	MCB	Président
BAKHTI Fatima Zohra	MCA	Encadreur
BOUAOUINA Lalouani	MCB	Examineur

Année Universitaire : 2022 / 2023

N° d'ordre : GM/...../2022



Remerciement

On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et terminer ce mémoire.

On vous remercie, Madame la Dr. Bakhti Fatima Zahra d'avoir accepté de diriger notre travail de thèse. On lui témoigne toute notre reconnaissance, entres autres, pour son appui efficaces dont l'ensemble des démarches administratives

On ne peut oublier de remercier tous les enseignants d'avoir contribuer à notre formation, ainsi a tous l'équipe du département de Génie mécanique.

En fin a tous les amis et toute la promotion de 2022/2023

Dédicace

Loué soit Dieu, par la grâce duquel les bonnes oeuvres sont faites et accorde-moi le succès J'offre cet humble travail.

A mes chers parents qui ont consacré leurs vies pour mes études, toutes mes remerciements et ma gratitude pour m'avoir élevé et poussée vers mon succès.

A mes sœurs et frères qui ont été mes supporteurs toute ma vie sans vous je n'irai nulle part.

A mes amis Salah Abdelkrim Nadir Abdullah Mohamed Hamid Abdelwahab Abubaker Younes Anwar Akram et mes coéquipiers qui m'ont donné la confiance pour avancer a ce point.

A mon professeur Bakhti fatima al-zahra, qui supervise mon travail, me guide et m'enseigne toutes les informations sans ennui.

REBHAOUI Abdel Aziz

Dédicace

Je dédie ce mémoire à :

mes parents :

Ma chère mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien tous les sacrifices qu'elle a faits pour moi et ses précieux conseils, pour toute son aide et sa présence dans ma vie.

Mon cher père, qui peut se vanter a trouver ici à la suite de nombreuses années de sacrifices et de difficultés pour m'aider à aller de l'avant dans la vie, Merci mon Père.

A mes chers frères et sœurs.

A tous les membres de ma famille, surtout mes tantes Torki.

A mes très chers amis.

MEDDAH Younes

Sommaire

Remerciments	i
Dédicace	ii
Sommaire	iii
Nomenclature	iv
Liste des figures	v
Liste des tableaux	vi
Introduction Générale	vii

Chapitre I : Recherche bibliographique

I.1. Introduction	3
I.2. Le gisement solaire	3
I.2.2. Le soleil	4
I.2.3. La sphere céleste	4
I.2.4. Les coordonnées célestes	5
I.2.4.1. Les coordonnées géographiques	5
I.2.4.2. Les coordonnées équatoriales	5
I.2.4.3. Les coordonnées horizontales	6
I.2.5. Paramètre du temps	7
I.2.5.1. Le temps solaire vrai	7
I.2.5.2. Le temps solaire moyen	7
I.2.5.3. L'équation du temps	8
I.2.5.4. Le temps universel	8
I.2.5.5. Le temps légal	9
I.2.5.6. Le temps civil	9
I.3. Généralités sur les capteurs solaires	9
I.3.1. Les capteurs photovoltaïques	9
I.3.2. Principe de fonctionnement	9
I.3.3. Définitions sur les capteurs thermiques	10
I.3.4. Les principaux composants d'un capteur plan	12

1.3.4.1. Le fluide de travail utilisé	13
1.3.4.2. L'orientation des capteurs	14
1.3.4.3. Les types des composants	14
I.4. Transfert de chaleur	16
I.4.1. Définition	16
I.4.2. Les modes de transferts thermiques dans un capteur solaire	17
I.4.2.1. La conduction	18
I.4.2.2. La convection	19
I.4.2.3. Le rayonnement	19
I.5. La conclusion	20

Chapitre II : Formulation mathématique

II.1. Introduction	21
II.2. Les géométries du problème étudié	21
II.3. Hypothèses simplificatrices	26
II.4. Les équations gouvernantes du problème étudié	26
II.4.1. Equation de continuité	26
II.4.2. Equation de la conservation de la quantité de mouvement	27
II.4.3. Equation d'énergie	27
II.5. Modèle de radiation	27
II.6. Equation de transfert radiatif	28
II.7. Les équations du modèle Rosseland	29
II.8. Les conditions aux limites	30
II.9. Calcul des grandeurs hydrodynamiques et thermiques	31
II.9.1. Nombre de Reynolds	31
II.9.2. Coefficient d'échange convectif	31
II.9.3. Nombre de Nusselt	32
II.10. Conclusion	32

Chapitre III : Procédures de simulation Numérique

III.1.Introduction	33
III.2.Présentation des logiciels Solidworks et Ansys fluent	33
III.3.Etapes principales de simulation	35
III.3.1.Création de la géométrie sur solidworks	37
III.4.Les étapes de simulation avec Ansys Fluent	41
III.4.1.Vue globale du système	41
III.4.2.Importation de la géométrie et le maillage	42
III.4.3.Lancement de simulation avec Ansys Fluent	43
III.4.4.Choix du solveur	43
III.4.5.Activation d'équation d'énergie	44
III.4.6.Choix du modele de turbulence	44
III.4.7.Choix du modele de radiation	45
III.4.8.Définition des caractéristiques des matériaux	46
III.4.9.Définitions des conditions aux limites	47
III.4.10.Choix des méthodes de resolution	48
III.4.11.Choix des facteurs de sous-relaxation	48
III.4.12.L'initialisation	49
III.4.13.Choix de résiduel	49
III.4.13.Convergence des calculs	50
III.5..Calcul de la température à la sortie	51
III.6. Calcul de la température moyenne de l'air	51
III.7.Conclusion	52

Chapitre IV : Résultats et Discussions

IV.1.Introduction	53
IV.2.Les paramètres utilisés	53
IV.3.Résultats et Discussions	54
IV.3.1. Cas du tube plein	54
IV.3.1.1. Contour de températures	54
IV.3.1.2.Vecteur de vitesse	57

IV.3.1.3. Les lignes de courant	57
IV.3.1.4. Variation du nombre de Nusselt et du coefficient de convection h en fonction du nombre du Reynolds	61
IV.3.2. Cas d'un tube équipé d'un ruban torsadé	63
IV.3.2.1. Contour de température	63
IV.3.2.2. Vecteur de vitesse	65
IV.3.2.3. Les lignes de courant	67
IV.3.2.4. Variation du coefficient de convection h et le nombre du Nusselt en fonction du nombre du Reynolds	69
IV.4. Conclusion	71
Conclusion Générale	72
Références bibliographiques	

Nomenclature

Symboles Latins

A	Surface d'échange thermique	(m ²)
C_p	Capacité calorifique massique à pression constante	J/kg.k
h	Coefficient de transfert de chaleur par convection	(W m ⁻² °C ⁻¹)
h_m	Coefficient de convection moyen	(W/m ² K)
K	Coefficient d'échange global	(W m ⁻² °C ⁻¹)
k	La conductivité thermique	(W m ⁻¹ °C ⁻¹)
k_f	Conductivité thermique du fluide	(W m ⁻¹ °C ⁻¹)
T_p	Température de la paroi solide	K
T_f	Température du fluide	K
T	Température absolue du corps	K
S	Surface de la paroi solide en contact avec le fluide	m ²
q	La génération de chaleur par unité de volume	W/m ³
U₀	Vitesse d'entrée du fluide	(m/s)
D_h	Diamètre hydraulique	m
V_f	Volume totale du fluide a l'intérieur du dissipateur	L
A_f	La surface de transfert de chaleur par convection	m ²
T_{out}	Température moyenne de sortie	K
T₀	Température d'entrée	K
\dot{m}	Débit massique	Kg/s
T_w	Température moyenne de la surface	K
T_m	Température moyenne du mélange basé sur la masse volumique	K

Symboles Grecs

β	Coefficient de la dilatation thermique	1/K
λ	Conductivité thermique du milieu	(W m ⁻¹ °C ⁻¹)
σ	Constante de Stefan	(W m ⁻² K ⁴)
ρ	La masse volumique	Kg/m ³

φ	Flux de chaleur transmis par conduction	W
μ	La viscosité dynamique	Kg/m.s
ν	La viscosité cinématique	m ² /s
Φ	La dissipation visqueuse	

Les nombres adimensionnels :

Re Nombre de Reynolds ($Re = \frac{Dh u_0}{\nu}$)

Nu Nombre de Nusselt ($Nu = \frac{hm Dh}{Kf}$)

Chapitre I

Fig I.1	La sphère céleste.	4
Fig I.2	Les coordonnées géographiques	5
Fig I.3	La déclinaison solaire en fonction du mois	6
Fig I.4	Graphe des variations annuelles de l'équation du temps	8
Fig I.5	Installation photovoltaïque	10
Fig I.6	Capteur cylindro-parabolique	11
Fig I.7	Capteur parabolique	11
Fig I.8	Capteurs solaires plan	12
Fig I.9	Les composantes d'un capteur plan	13
Fig I.10	Capteur plan	13
Fig I.11	Capteur solaire plan vitré	15
Fig I.12	Capteur solaire plan non vitré	15
Fig I.13	Les différents échanges thermiques dans un capteur plan	16
Fig I.14	Le phénomène de conduction	17
Fig I.15	Le phénomène de convection	18
Fig I.16	Le phénomène de rayonnement	19

Chapitre II

Fig II.1	La géométrie étudiée (tube lisse)	23
Fig II.2	Les dimensions de la géométrie étudiée	23
Fig II.3	Section prise de la géométrie originale	24
Fig II.4	Nouvelle géométrie étudié	24
Fig II.5	Un diagramme schématique des tubes montants équipés avec des rubans torsadés	25
Fig II.6	Rapport de tensions pour créer le ruban torsadé (Ratio 4)	25

Chapitre III

Fig III.1	Création des surfaces de bases pour les collecteurs	37
Fig III.2	Fonction 'extrude' pour allonger les collecteurs	38

Fig III.3	Création des surfaces de bases pour les tubes montants	38
Fig III.4	Fonction ‘‘extrude’’ sur les tubes montants	39
Fig III.5	Création de l’absorbeur à partir des tubes	39
Fig III.6	Création du boîtier	40
Fig III.7	Dimensionnement et création de la vitre	40
Fig III.8	Exportation de la géométrie	40
Fig III.9	La section prise de la géométrie originale	41
Fig III.10	Importation de la géométrie	41
Fig III.11	Importation de la géométrie	42
Fig III.12	Génération du maillage	42
Fig III.13	Lancement de la simulation	43
Fig III.14	Choix du solveur	43
Fig III.15	Activation d’équation d’énergie	44
Fig III.16	Choix de modele de turbulence	44
Fig III.17	Choix de model de radiation	45
Fig III.18	Prise des données de « M’sila »	45
Fig III.19	Caractéristiques des fluides	46
Fig III.20	Caractéristiques des solides	46
Fig III.21	Définitions des cell zones	47
Fig III.22	Définitions des conditions aux limites imposées	47
Fig III.23	Choix des méthode de résolution	48
Fig III.24	Choix des facteurs de sous relaxation	48
Fig III.25	L’initialisation	49
Fig III.26	Choix de nombre des itérations	49
Fig III.27	Allure de résidue	50
Fig III.28	Convergence des calculs	50
Fig III.29	Calcule de la température à la sortie	51
Fig III.30	Calcule de la température moyenne	51

Chapitre IV

Fig IV.1	Les contours de la température dans le tube plein pour $Re=400$.	55
Fig IV.2	Contour de la température dans le tube plein pour $Re=1000$	55
Fig IV.3	Contour de température dans un tube plein pour $Re=1800$	56
Fig IV.4	Variation de la différence de la température ΔT en fonction de nombre de Reynolds	56
Fig IV.5	Vecteur de vitesse pour $Re=400$	58
Fig IV.6	Vecteur de vitesse pour $Re=1000$	58
Fig IV.7	Vecteur de vitesse pour $Re=1800$	59
Fig IV.8	Lignes de courant pour $Re=400$	60
Fig IV.9	Lignes de courant pour $Re=1000$	60
Fig IV.10	Lignes de courant pour $Re=1800$	61
Fig IV.11	Variation de Nu en fonction de Re	62
Fig IV.12	Variation du coefficient de convection h en fonction de Re	62
Fig IV.13	Contour de température $Re=400$	63
Fig IV.14	Contour de température $Re=1000$	64
Fig IV.15	Contour de température $Re=1800$	64
Fig IV.16	La différence des températures dans les deux cas en fonction de Re	65
Fig IV.17	Vecteur de vitesse $Re=400$	66
Fig IV.18	Vecteur de vitesse $Re=1000$	66
Fig IV.19	Vecteur de vitesse $Re=1800$	67
Fig IV.20	Lignes de courant $Re=400$	68
Fig IV.21	Lignes de courant $Re=1000$	68
Fig IV.22	Lignes de courant $Re=1800$	69
Fig IV.23	Variation du Nu en fonction de Re	70
Fig IV.24	Variation du coefficient de convection h en fonction de Re	70

Liste des tableaux :

Tableau II.1 Les dimensions de la géométrie étudié

22

Introduction générale

Introduction générale

Au cours des dernières années, l'utilisation de l'énergie a augmenté en raison de l'accroissement de la population, de l'industrialisation et de l'urbanisation, par conséquent, les chercheurs ont été engagés pour développer des stratégies d'économie d'énergie ainsi que de nouvelles sources d'énergie. Classiquement, l'énergie est produite au moyen de combustibles fossiles tels que le charbon, le pétrole, le gaz naturel et le nucléaire, etc. Ces combustibles sont épuisables par nature est-on un effet négatif sur l'environnement. Bien que, les chercheurs ont essayé de minimiser ses effets.

Les capteurs solaires sont des dispositifs qui convertissent l'énergie solaire en énergie thermique pour chauffer l'eau, l'air ou d'autres fluides dépendant sur le classement de capteur, ce qui peut être utilisé pour alimenter des systèmes de chauffage ou de climatisation.

L'intensification du transfert convectif dans les capteurs solaires peut entraîner des augmentations des pertes hydrauliques. Cela est souvent observé lorsque des techniques faisant intervenir des obstacles sont utilisées, tels que les ailettes et les turbulateurs. Cependant, il existe des moyens d'atténuer ces inconvénients ou de trouver un compromis entre l'amélioration du transfert thermique et les pertes hydrauliques accrues. Voici quelques approches possibles :

- Optimisation du choix du fluide caloporteur : Sélectionner un fluide ayant des propriétés thermophysiques favorables, telles qu'une conductivité thermique élevée ou une capacité thermique élevée, peut améliorer le transfert de chaleur sans augmenter nécessairement les pertes hydrauliques.
- Conception et optimisation de la géométrie des ailettes : Lorsque des ailettes sont utilisées pour augmenter la surface d'échange fluide-paroi, il est possible d'optimiser leur géométrie pour réduire les pertes de pression associées. Par exemple, la forme, l'espacement et l'orientation des ailettes peuvent être ajustés pour minimiser les perturbations de l'écoulement et les turbulences excessives.
- Utilisation de turbulateurs appropriés : Les turbulateurs, tels que les rubans torsadés ou les bobines de fil, peuvent être efficaces pour augmenter le transfert convectif.

Cependant, le choix d'un turbulateur approprié est important pour minimiser les pertes de pression.

C'est dans ce contexte que nous avons mené notre étude intitulée :

Simulation numérique d'un capteur solaire plan muni d'un collecteur équipé d'un ruban torsadé.

Dans ce travail, nous allons utiliser des techniques numériques pour modéliser et simuler le fonctionnement du capteur solaire plan muni d'un collecteur équipé d'un ruban torsadé. Nous allons explorer l'effet de la configuration du collecteur à ruban torsadé sur les performances thermiques de l'appareil, en utilisant des outils de simulation et de modélisation avancés.

Pour atteindre nos objectifs, ce mémoire est organisé en quatre chapitres, répartis comme de suit :

Le premier chapitre présente quelques généralités dans lequel ce mémoire s'inscrit, gisement solaire, généralités sur les capteurs solaires et sur les modes de transfert de chaleur. Une attention particulière sera effectuée sur les capteurs solaires plans.

Le deuxième chapitre présente les configurations géométriques du problème étudié ainsi que les modèles mathématiques gouvernant le phénomène l'écoulement du fluide et le transfert de chaleur dans le collecteur du capteur plan

Le troisième chapitre présente des définitions des logiciels utilisés et une description des étapes de la conception de la géométrie étudiée en utilisant le logiciel Solidworks et les étapes de la simulation numérique en utilisant le logiciel Ansysfluent.

Le dernier chapitre est consacré à la présentation des résultats numériques obtenus, ainsi que leur interprétations, mettant en évidence le comportement thermique et dynamique du système étudié.

Enfin, note travail est achevé par une conclusion générale qui résume les principaux résultats trouvés par simulation numérique.

Chapitre I

"Recherche Bibliographique"

Chapitre I

Recherche Bibliographique

I.1. Introduction :

Le soleil est à l'origine de la vie sur terre due à l'énergie considérable qui nous éclaire, réchauffe, photosynthèse des plantes, l'origine du cycle de l'eau et les vents. Ceci s'applique aussi pour les énergies fossiles que nous utilisons abondamment ont également pour origine l'énergie de photosynthèse accumulée durant tous ces années.

Cette énergie traverse les différentes couches du soleil avant l'émission dans l'espace sous forme de rayonnements électromagnétiques qui porte une petite fraction de l'énergie du soleil.

L'énergie solaire rayonnante peut se transformer sous deux autres formes qu'on utilise au ce moment : l'énergie thermique et l'énergie électrique

A travers ce chapitre on s'intéresse à présenter une synthèse bibliographique du gisement solaire et des généralités sur les capteurs solaires en concentrant sur les capteurs solaires plans et les différent modes de transfert de chaleur.

I.2. Le gisement solaire :

I.2.1. Définition :

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. Il est utilisé dans des domaines aussi variés que l'agriculture, la météorologie, les applications énergétiques et la sécurité publique. Dans les systèmes d'exploitation de l'énergie solaire, le besoin de données d'insolation est d'une importance capitale aussi bien dans la conception et le développement de ces systèmes que dans l'évaluation de leurs performances.

I.2.4. Les coordonnées célestes :

I.2.4.1. Les coordonnées géographiques :

Ce sont les coordonnées angulaires qui permettent le repérage d'un point sur la terre.

- ✚ 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 (Φ) : 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° à 90° dans l'hémisphère nord et de 0° à -90° dans l'hémisphère sud.
- ✚ L'altitude (Z) : 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.

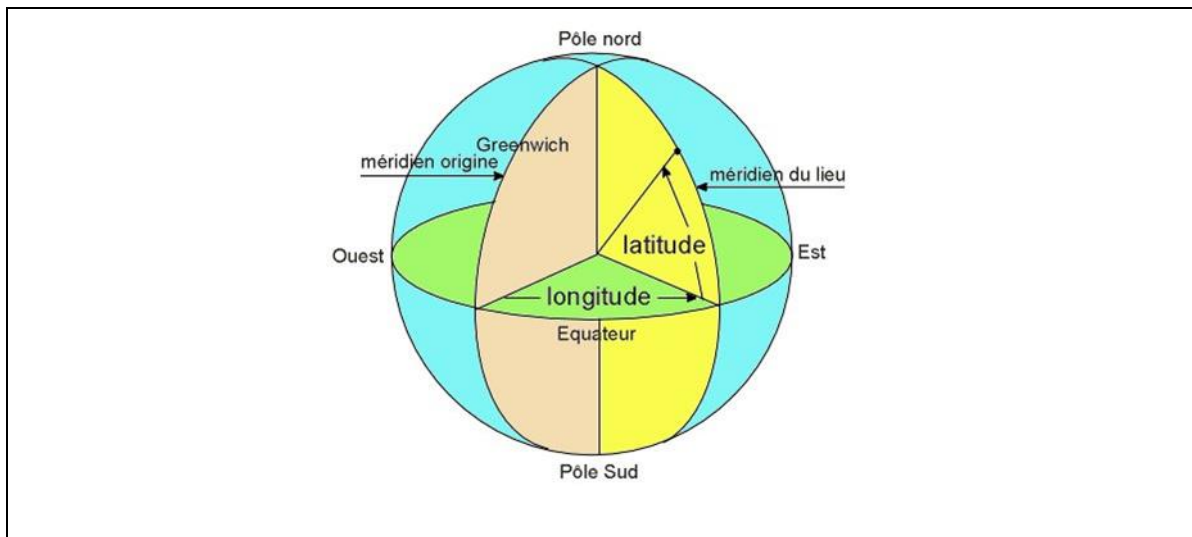


Figure I.2. Les coordonnées géographiques.[4]

I.2.4.2. Les coordonnées équatoriales :

Elles sont indépendantes de la position de l'observateur sur la terre, mais elles sont liées à l'heure de l'observation. La position du soleil est exprimée par deux angles qui sont les suivants

- ✚ La déclinaison (δ) : C'est l'angle formé par la direction du terre-soleil et le plan équatorial terrestre, il est dû à l'inclinaison de l'axe des pôles terrestres par rapport au plan écliptique, ce qui est traduit par les différentes saisons. Cet angle varie au cours de l'année de $+23^\circ 27'$ à $-23^\circ 27'$. Il s'obtient à partir de la formule suivante :

$$\delta = 23.45 \sin [(284.n)/365 \times 360] \quad (I.1)$$

n : Le numéro du jour dans l'année compté à partir du 1er Janvier.

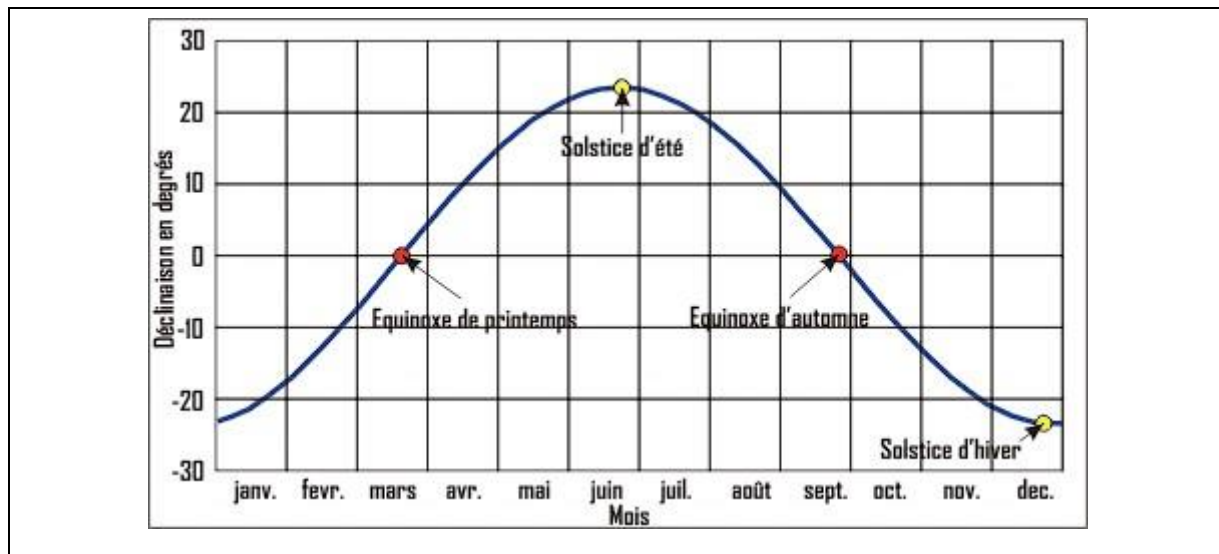


Figure I.3. La déclinaison solaire en fonction du mois.[5]

- ✚ L'angle horaire (ω) : C'est l'angle formé par le méridien céleste et la projection de la direction terre / soleil sur le plan de l'équateur céleste, ou encore le déplacement angulaire du soleil autour de l'axe polaire dans sa course d'est en ouest par rapport au méridien local. Il est nul à midi solaire, négatif le matin et positif l'après-midi. Il est donné par :

$$\omega = \frac{\pi}{12} (\text{TSV} - 12) \quad (\text{I.2})$$

ω : en radians.

TSV : temps solaire vrai en heures.

I.2.4.3. Les coordonnées horizontales :

La position d'un astre dans l'espace peut être repérée par ses coordonnées horizontales définies sur la sphère céleste. Ces coordonnées dépendent du lieu d'observation et c'est pour cela qu'elles sont appelées aussi coordonnées locales. Le plan de référence est l'horizon astronomique.

- ✚ Hauteur angulaire (h) : c'est l'angle que fait la direction de l'astre avec le plan horizontal, il est compté positivement de 0 à -90° vers le nadir.

- $h > 0$ le jour
- $h < 0$ la nuit

➤ **$h = 0$ aux lever et coucher**

✚ L'azimut (a) : c'est l'angle entre la direction de soleil et la direction de Sud. On peut le compter positivement de 0° à $+180^\circ$ vers l'Ouest est négativement 0° à -180° vers l'Est.

➤ **$a > 0$ vers l'ouest.**

➤ **$a < 0$ vers l'est.**

➤ **$a = 0$ direction vers le sud.**

$$\sin az = \frac{\cos\delta \cos\omega \sin\varphi - \sin\delta \cos\varphi}{\cos\gamma} \quad (\text{I.3})$$

I.2.5. Paramètre du temps :

I.2.5.1. Le temps solaire vrai :

La position de soleil dans le ciel nous renseigne sur le temps solaire vrai. C'est le temps donné par les cadrans solaires. Il traduit à la fois le mouvement de rotation de la terre sur elle même et son mouvement autour de soleil. Il est donné par la relation suivante :

$$\text{TSV} = \text{TSM} + \text{ET} \quad (\text{I.4})$$

TSM : temps solaire moyen.

ET : équation du temps.

Il existe une relation entre l'heure solaire TSV et l'angle horaire ω :

$$\text{TSV} = 12 + \omega/15 \quad (\text{I.5})$$

I.2.5.2. Le temps solaire moyen :

On définit le temps solaire moyen en supposant un mouvement uniforme de la terre autour de son axe, et donc le jour solaire moyen dure 24heures.

Le temps solaire moyen est appelé aussi temps local.

$$\text{TSM} = \text{TSV} - \text{ET} \quad (\text{I.6})$$

I.2.5.3. L'équation du temps :

C'est l'écart entre le temps solaire moyen TSM et le temps solaire vrai TSV selon le jour de l'année considéré :

$$ET = 9.87 \sin \left[2 \times \frac{360}{365} (n - 81) \right] - 7.53 \cos \left[\frac{360}{365} (n - 81) \right] - 1.5 \sin \left[\frac{360}{365} (n - 81) \right] \quad (\text{I.7})$$

n : est le numéro du jour dans l'année.

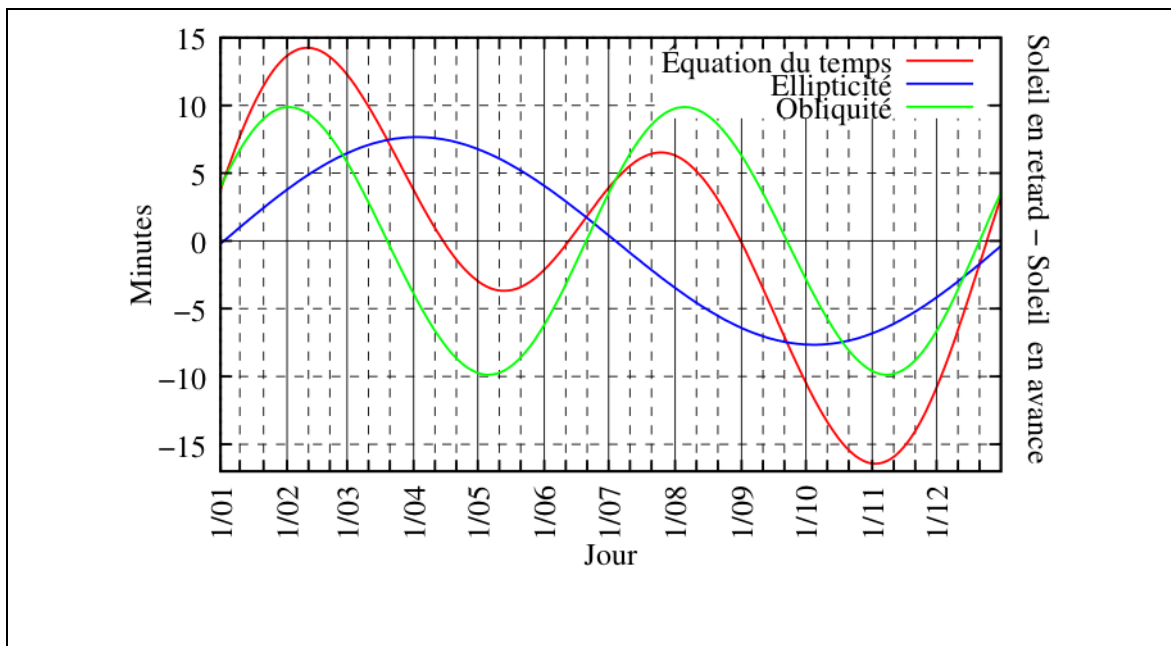


Figure I.4. Graphe des variations annuelles de l'équation du temps.[6]

I.2.5.4. Le temps universel :

Le temps universel est défini par l'heure de passage du soleil au méridien (origine) Greenwich, appelé encore GMT (Greenwich Mean Time) est donné par la relation suivante :

$$TU = TSM - \frac{L}{15} \quad (\text{I.8})$$

Avec L la longitude exprimée en degré et le temps en heures.

$L < 0$: pour les sites situés à l'Est de Greenwich.

$L > 0$: pour les sites situés à l'Ouest de Greenwich.

$L = 0$: pour les sites situés au méridien de Greenwich.

I.2.5.5. Le temps légal :

Le temps légal est une heure liée au TU par une différence fixe exprimée en un nombre entier d'heures qui dépend de longitude et des coutumes de chaque pays. Elle est donnée par la relation suivante :

$$\mathbf{TL = TU + \Delta H} \quad \mathbf{(I.9)}$$

ΔH : est le décalage horaire entre le méridien de Greenwich et l'état considéré. Il est positif à l'est de Greenwich et négatif à l'ouest.

I.2.5.6. Le temps civil :

C'est le temps civil et le temps moyen avec l'origine à minuit.

I.3. Généralités sur les capteurs solaires :

La nécessité d'énergie solaire donne la chance de naissance de plusieurs technologies des capteurs solaires. Il existe principalement deux types qui utilisent directement l'énergie solaire : les capteurs thermiques et photovoltaïques. [7]

I.3.1. Les capteurs photovoltaïques :

Les cellules photovoltaïques exploitent l'effet photoélectrique pour produire du courant continu par absorption du rayonnement solaire. Cet effet permet aux cellules de convertir directement l'énergie lumineuse des photons en électricité par le biais d'un matériau semi-conducteur transportant les charges électriques.

I.3.2. Principe de fonctionnement :

Cette cellule fait appel aux propriétés d'absorption du rayonnement lumineux par des matériaux semi-conducteurs. Ainsi, le choix des matériaux utilisés pour concevoir des cellules PV se fait en fonction des propriétés physiques de certains de leurs électrons susceptibles d'être libérés de leurs atomes lorsqu'ils sont excités par des photons provenant du spectre solaire et possédant une certaine quantité d'énergie selon leurs longueurs d'onde. Une fois libérés, ces charges se déplacent dans le matériau formant globalement un courant électrique de nature continu (DC).

La circulation de ce courant donne alors naissance à une force électromotrice (f_{em}) aux bornes du semi-conducteur correspondant ainsi au phénomène physique appelé effet

photovoltaïque. [8]

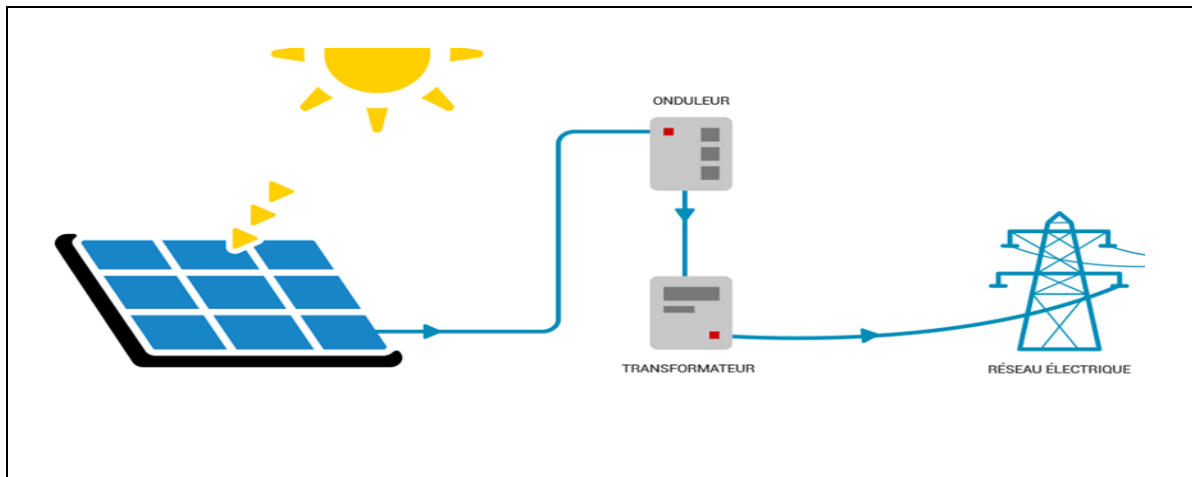


Figure I.5. Installation photovoltaïque.[9]

I.3.3. Définition et types des capteurs thermiques :

Les capteurs thermiques sont des systèmes fondamentaux de transformation d'énergies solaires en énergie thermique sous forme de chaleur et la transmettent à un fluide caloporteur (air ou liquide) [10], ces systèmes sont utilisés principalement pour le chauffage d'eau sanitaire, les piscines ou bien pour le chauffage des habitats. On peut citer :

✚ Capteurs à concentration

Ces capteurs utilisent des surfaces réfléchissantes (miroirs) paraboliques ou cylindro-paraboliques 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.[11]

✚ Capteur cylindro-parabolique

Le capteur solaire cylindro-parabolique est l'un des principales technologies utilisées actuellement dans les centrales solaires thermiques pour la production de l'énergie électrique (température de fonctionnement entre 300°C et 400°C), et utilisé aussi pour la production de chaleur pour l'industrie (température de fonctionnement entre 100°C et 250°C). L'élément important constituant le capteur solaire est le collecteur thermique qui est composé par l'absorbeur plus la vitre, son rôle est de transférer l'énergie solaire en énergie thermique. [12]



Figure I.6. Capteur cylindro-parabolique.[13]

✚ Capteur parabolique :

Ces capteurs utilisent des surfaces réfléchissantes paraboliques pour concentrer les rayons solaires dans le foyer où se trouve le récepteur (absorbeurs) qui capte la chaleur ainsi concentrée. Naturellement ces concentrateurs doivent suivre le mouvement du soleil. Les systèmes à réflecteur parabolique peuvent atteindre des températures plus élevées (jusqu'à 1500 °) sur le récepteur.[14]



Figure I.7. Capteur parabolique.[15]

✚ Capteurs solaires plan (non concentration) :

Le capteur plan est la pièce maîtresse d'une installation de chauffage de l'eau sanitaire ou de chauffage des locaux. Il est recommandé pour une plage de température comprise entre 30 et 80°C. De forme simple, il est chargé de transformer le rayonnement solaire en chaleur par la voie d'effet de serre qui consiste à piéger le rayonnement dans un absorbeur. En fonction de leurs utilisations. [16]

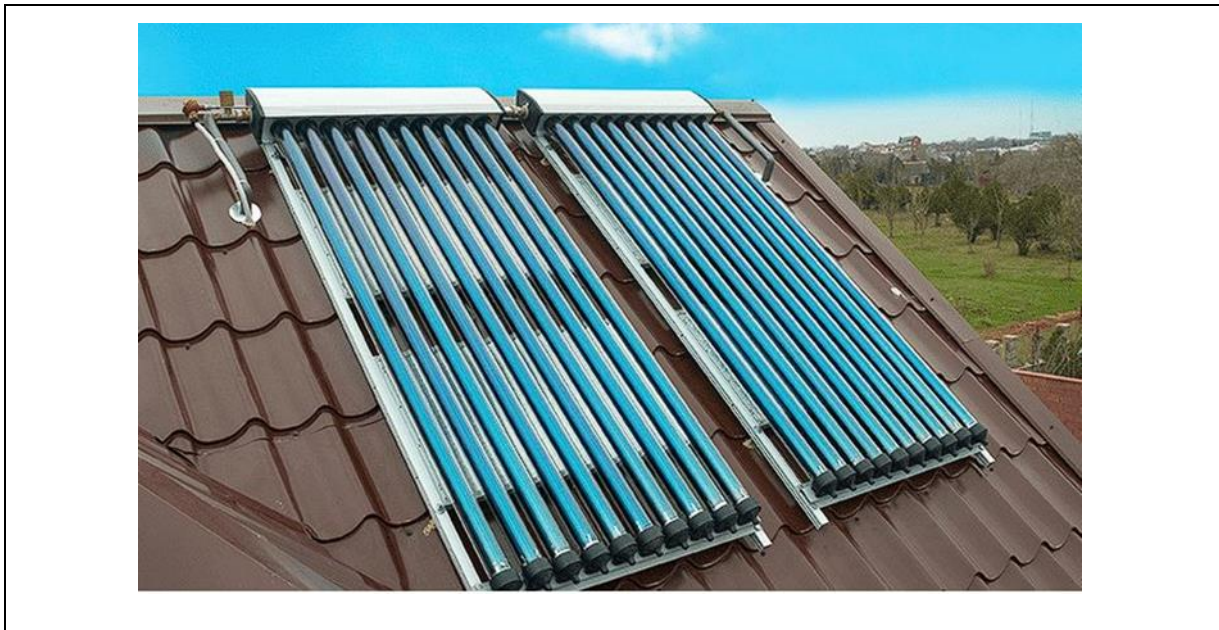


Figure I.8. Capteurs solaires plan.[17]

I.3.4. Les principaux composants d'un capteur plan : [18]

Le capteur solaire comprend les éléments suivants :

- ✚ Le corps opaque qui absorbe le rayonnement solaire en s'échauffant.
- ✚ Un système de refroidissement par le fluide caloporteur
- ✚ Un isolant thermique (dos et cotés non exposés)
- ✚ Une couverture transparente (face avant, exposés au rayonnement) qui assure l'effet de serre
- ✚ Un coffrage étanche à l'eau et un système de support mécanique de l'ensemble.

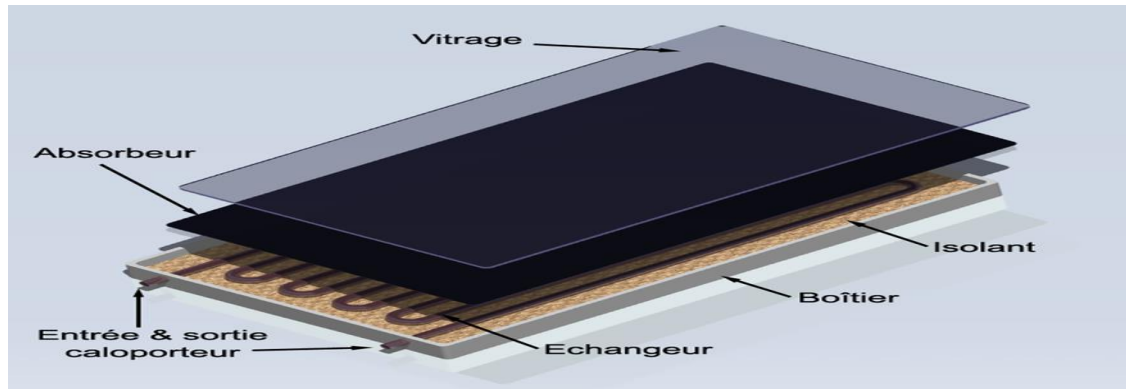


Figure I.9. Les composantes d'un capteur plan.[16]

On peut classer aussi les capteurs selon :

I.3.4.1. Le fluide de travail utilisé :

+ Des capteurs solaires à air :

Ce type de capteurs s'adapte aux appareils de chauffage à air pour le séchage des produits agro- alimentaires, et le chauffage des locaux.

+ Des capteurs solaires à eau :

Ils s'adaptent aux appareils de chauffage à liquide, y compris ceux dont le liquide entre en ébullition pendant le chauffage (la production de l'eau chaude sanitaire).

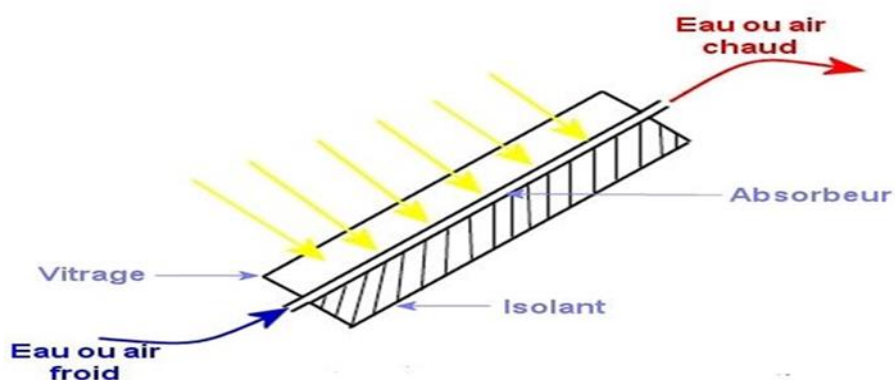


Figure I.10. Capteur plan plan.[19]

I.3.4.2. L'orientation des capteurs :

Les capteurs solaires peuvent être :

+ Des capteurs fixes

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

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

+ Des capteurs à poursuite

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

I.3.4.3. Les types des composants

Les composants des collecteurs diffèrent d'un capteur à un autre, on peut classer les capteurs suivants :

+ La couverture

+ Les capteurs solaires plans vitrés

Les capteurs vitrés sont équipés d'une couverture transparente qui permet de créer l'effet de serre pour optimiser leur rendement. Le phénomène de convection qui a été créé à cause de la lame de verre, pénalise la performance de ces capteurs. Ils sont constitués aussi par des tubes de cuivre servant d'absorbeurs de l'énergie solaire.

Ces capteurs sont isolés sur les autres faces dans le but de réduire au minimum les déperditions.

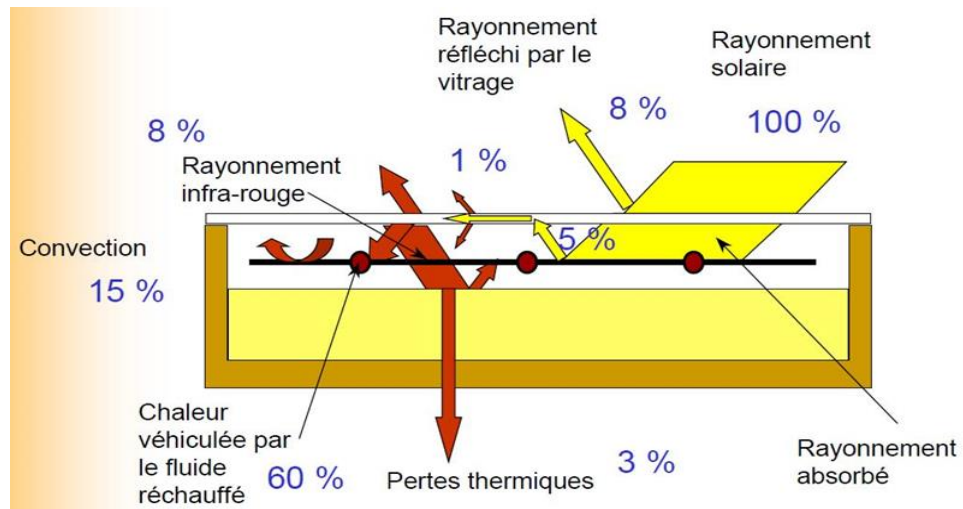


Figure I.11. Capteur solaire plan vitré plan.[20]

✚ Les capteurs solaires plans non vitrés :

C'est le modèle le plus simple, le plus économique mais le moins performant. Il est généralement constitué d'une simple plaque de métal ou de plastique sur laquelle repose plusieurs tubes absorbeurs porteurs du fluide calorifique. 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). Notamment, en présence du vent une grande partie de la chaleur absorbée sera perdue.[21]

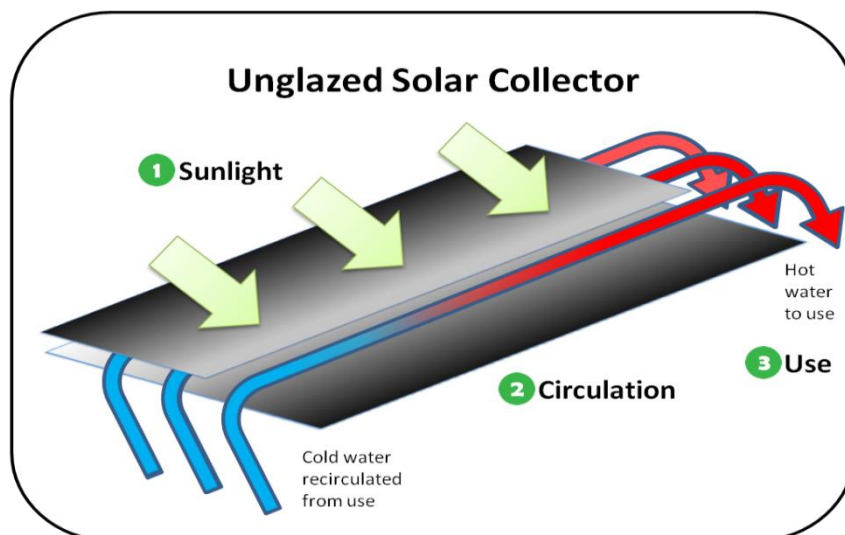


Figure I.12. Capteur solaire plan non vitré.[22]

✚ L'absorbeur :

L'absorbeur est l'élément central du capteur solaire, il absorbe le rayonnement solaire global de courtes longueurs d'onde et le convertit en chaleur [23]. L'absorbeur est constitué d'une plaque à laquelle sont intégrés des tubes à travers lesquels circule le fluide caloporteur. Le matériau constituant la plaque de l'absorbeur peut être soit métallique soit en matière plastique, cette dernière est utilisée uniquement dans le cas où un milieu agressif circule directement dans l'absorbeur tel est le cas de l'eau d'une piscine. L'emploi des matières plastiques entraîne des différences notables comparées aux métaux [24]. Dans le cas des métaux on utilise le cuivre, l'acier inoxydable, ou bien l'Aluminium, qui ont de bonnes conductibilités thermiques. Afin de maximiser l'absorption solaire, la surface de l'absorbeur est peinte en noir.

I.4. Transfert de chaleur :

I.4.1. Définition :

Le transfert de chaleur est l'une des méthodes d'échange d'énergie les plus connues. Il interfère spontanément entre deux systèmes dès qu'il y a une différence de température entre eux, quel que soit le milieu qui les sépare. Le principe de cet étude est basé sur la quantité de chaleur et la différence de température.

I.4.2. Les modes de transferts thermiques dans un capteur solaire:

Un capteur solaire met en jeu simultanément les trois modes de transfert thermique, la conduction, la convection et le rayonnement.[25]

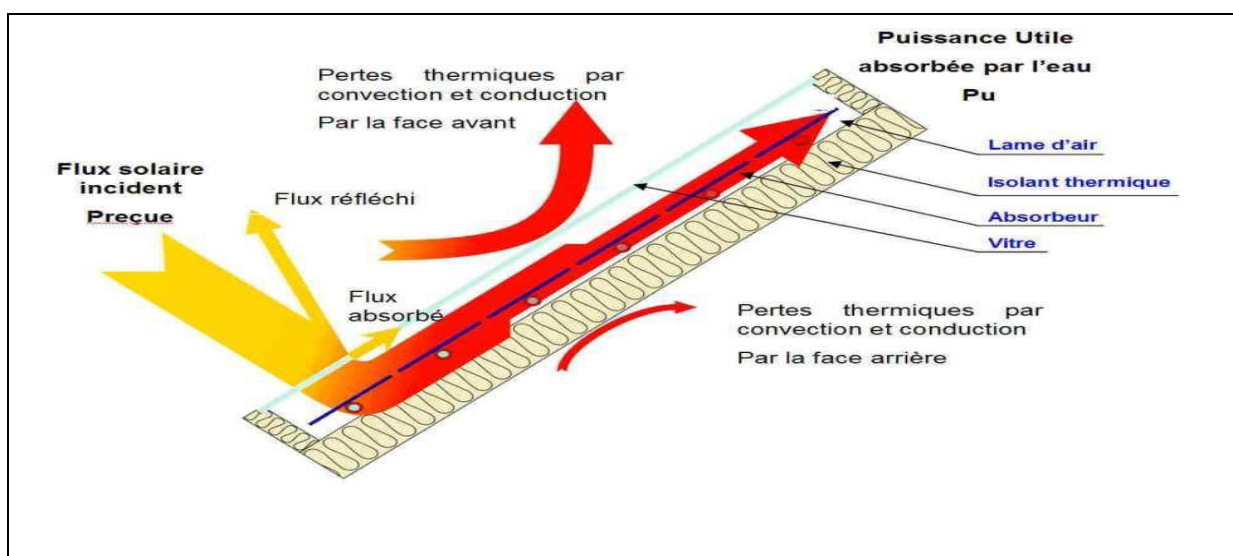


Figure I.13. Les différents échanges thermiques dans un capteur plan.[26]

I.4.2.1. La conduction :

La conduction est un mode d'échange qui tend à une distribution homogène par une propagation de la chaleur d'une molécule à une autre ou d'un corps ou plusieurs corps contigus sans qu'il y ait mouvement de ce milieu. Le mécanisme de transfert de chaleur à lieu à l'échelle microscopique ou ce mode est lié strictement à l'agitation des molécules ou les plus agitées communiquent avec les moins agitées une partie de leur énergie. La température après tend à devenir uniforme. [27]

La loi correspondant à ce processus de diffusion thermique est la loi de FOURIER, donnée par la relation suivante :

$$\vec{\phi} = -\lambda \cdot A \cdot \overrightarrow{\text{grad } T} \quad (\text{I.10})$$

$\vec{\phi}$: Flux de chaleur.

λ : Coefficient de conductivité thermique.

A : Surface d'échange

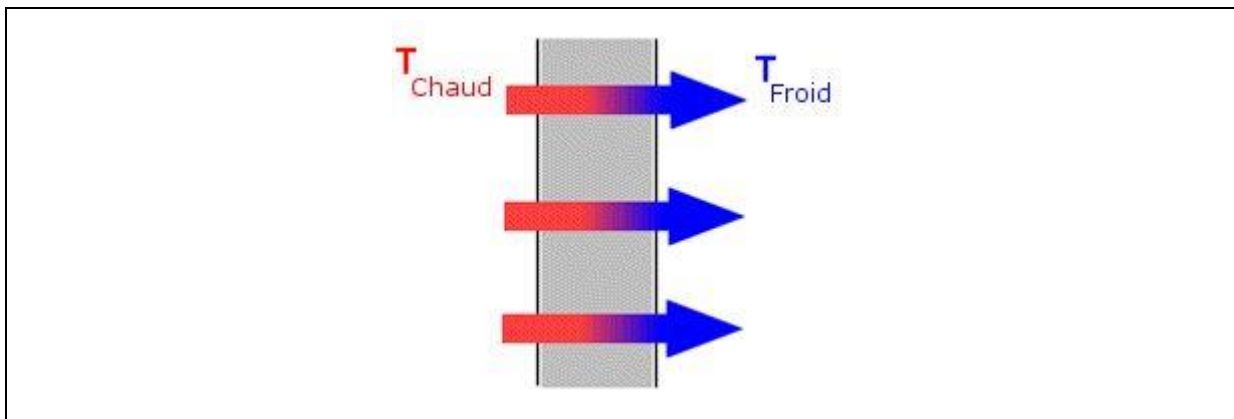


Figure I.14. le phénomène de conduction.

Dans le capteur plan les échanges par conduction existent principalement entre :

- Les faces supérieures et inférieure de la vitre hcv.
- Les faces supérieures et inférieure de l'isolant his.
- L'absorbeur et l'isolant hcvai.

I.4.2.2. La convection :

La convection est un mode de transmission qui implique le déplacement d'un fluide gazeux ou liquide (écoulement) et échange avec une surface qui est à une température différente.[29]

Le flux échangé est donné par la loi de NEWTON.

$$\phi = h \times S \times (T_p - T_f) \quad (\text{I.11})$$

ϕ : Le flux échangé par convection.

h : Coefficient de convection.

S : Surface de la paroi solide en contact avec le fluide.

T_p : Température de la paroi solide.

T_f : Température du fluide.

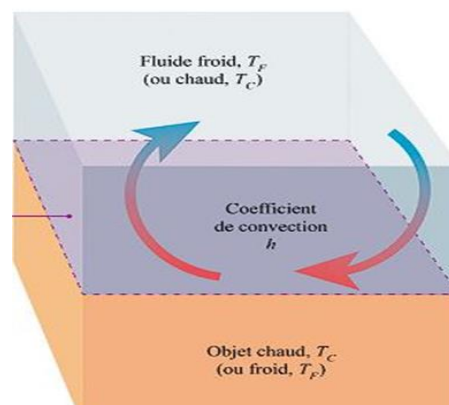


Figure I.15. Le phénomène de convection.[30]

On distingue deux types de convection :

- La convection forcée:** Ce type de convection se produit quand le mouvement du fluide impose une intervention extérieure indépendante de la différence de température.[31]
- La convection naturelle:** En ce type de convection les mouvements du fluide sont provoqués par des gradient densité due au non uniformité du champ de température.[32]

Dans un capteur plan l'échange par convection s'effectue entre :

- La vitre et l'ambiance, par convection libre ou forcée par le vent.
- La vitre et la plaque de l'absorbeur par convection libre.
- Le tube et le fluide par convection libre et forcée.
- Entre l'isolant et l'ambiance par convection libre ou forcée par le vent.

I.4.2.3. Le rayonnement :

Le rayonnement thermique, tout rayonnement capable de provoquer un effet purement thermique au moment de son absorption ou émission par une matière quelconque.

Le flux émis par un corps est donné par la loi de Stefan Boltzmann :

$$\phi = \varepsilon \times \delta \times T^4 \quad (\text{I.12})$$

ϕ : Densité de flux de chaleur émis par le corps.

ε : Émissivité thermique du matériau.

δ : Constante de Stefan-Boltzmann évaluée à $5,667 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$.

T : Température absolue du corps.

Dans un capteur solaire plan le transfert par rayonnement s'effectue entre :

- La vitre et le ciel.
- La vitre et la plaque chauffante.
- L'isolant et le sol.

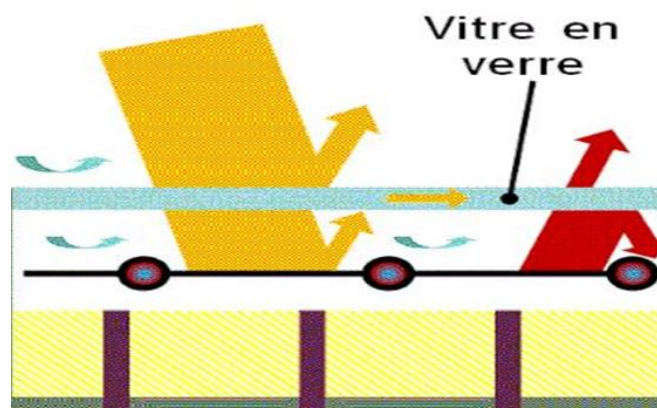


Figure I.16. Le phénomène de rayonnement.[26]

I.5. Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre une revue bibliographique sur le gisement solaire, les trois modes de transfert de chaleur et les différents types des capteurs solaires ainsi une étude détaillée sur le capteur solaire plan.



Chapitre II

"Formulation Mathématique"

Chapitre II

Formulation Mathématique

II.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter les configurations étudiées, les hypothèses simplificatrices, ainsi que les équations gouvernantes : de continuité et quantité de mouvement associées à l'équation d'énergie pour le fluide et les parois solides, utilisées pour résoudre numériquement le phénomène de l'écoulement avec transfert de chaleur dans la conception étudiée.

La solution complète du problème étudié revient à déterminer les quantités caractéristiques du fluide en tous points du domaine de calcul.

II.2. Les géométries du problème étudié

Les géométries du problème physique considérées sont schématisées sur les figures (II.1) & (II.2). Il s'agit d'un capteur plan d'une surface de 1m^2 appelé capteur à tubes simples. L'air entre dans le capteur par le collecteur inférieur et uniformément répartie dans les 09 tubes montants parallèles. Les tubes montants sont brasés au fond d'une plaque absorbante noire et l'énergie solaire absorbée est conduite vers les tubes montants. Enfin, l'air chaud est collectée par le collecteur supérieur et introduite dans un réservoir.

Le tableau (IV.1) résume les dimensions du capteur plan.

Le capteur plan à ruban torsadé a la même conception et les mêmes dimensions que celui du capteur à tube plein, seulement on a ajouté des rubans torsadés dans les tubes montants.

Les rubans torsadés sont fabriquées à partir de plaques fines de cuivre d'une épaisseur E et de largeur W et longueur L , les rubans sont torsadées sur 180 pour former des hélices avec un rapport de torsions de $\delta=4$ comme illustré sur la Fig (II.5) & (II.6)

Pour faciliter les calculs et minimiser le temps de calcul, on a pris une section qui est composé d'un seul tube (voir Fig (II.3) et Fig (II.4))

Vitrage	épaisseur	3mm	
Plaque absorbante	Longueur	1000mm	
	Largeur	120mm	
Surface du capteur	Surface	1m ²	
Collecteur supérieur et inférieur	Supérieur	Diamètre	25.4mm
	Inférieur	Diamètre	25.4mm
Tubes montants	Diamètre	Interne	11mm
		externe	12.5mm
	Longueur	1000mm	
	Nombre des tubes	9	
Ruban torsadé	épaisseur	0.3mm	
	longueur	1000mm	
	largeur	11mm	
Isolation	longueur	Laine de vert 100mm	
	Largeur	Laine de vert 50mm	

Tableau VI.1 Les dimensions de la géométrie étudié

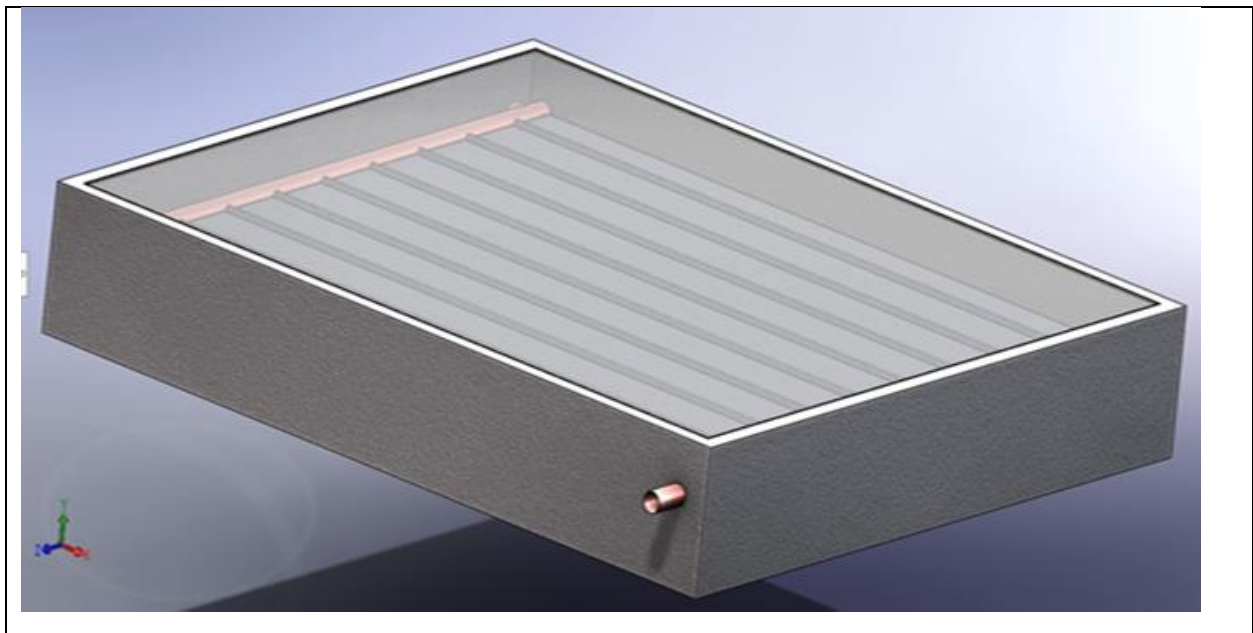


Fig II.1 La géométrie étudié (tube plein)

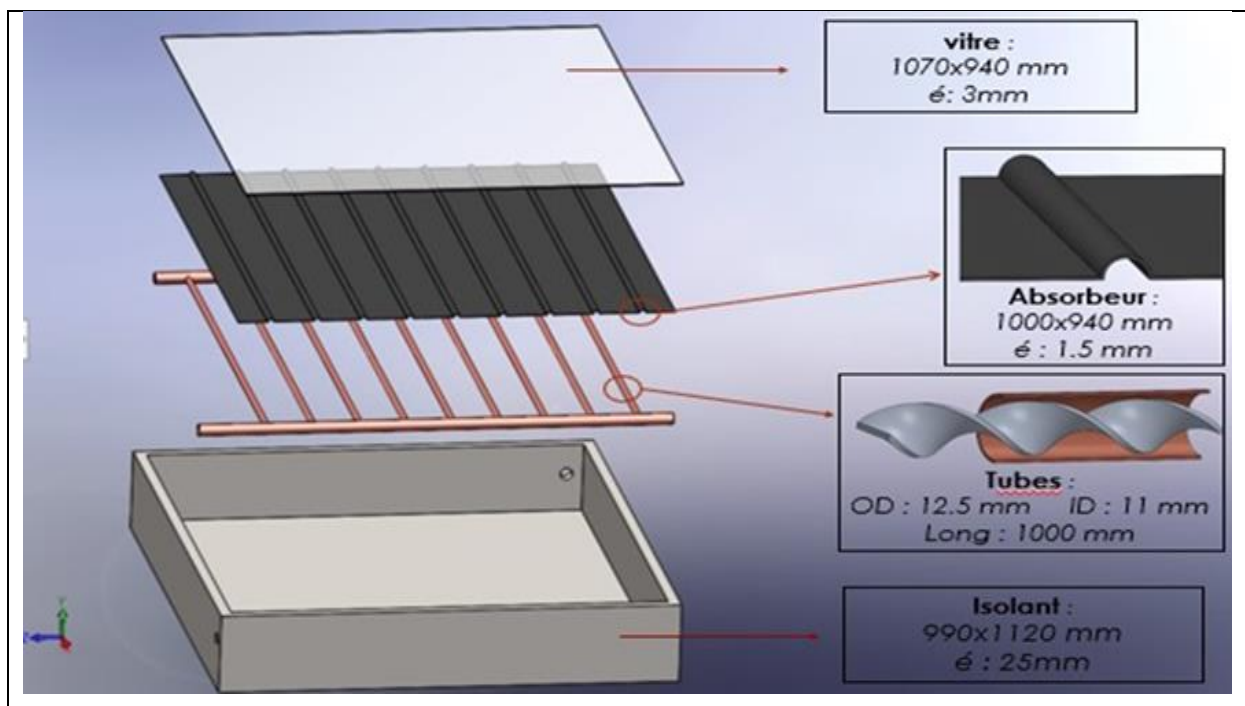


Fig II.2. Les dimensions de la géométrie étudiée

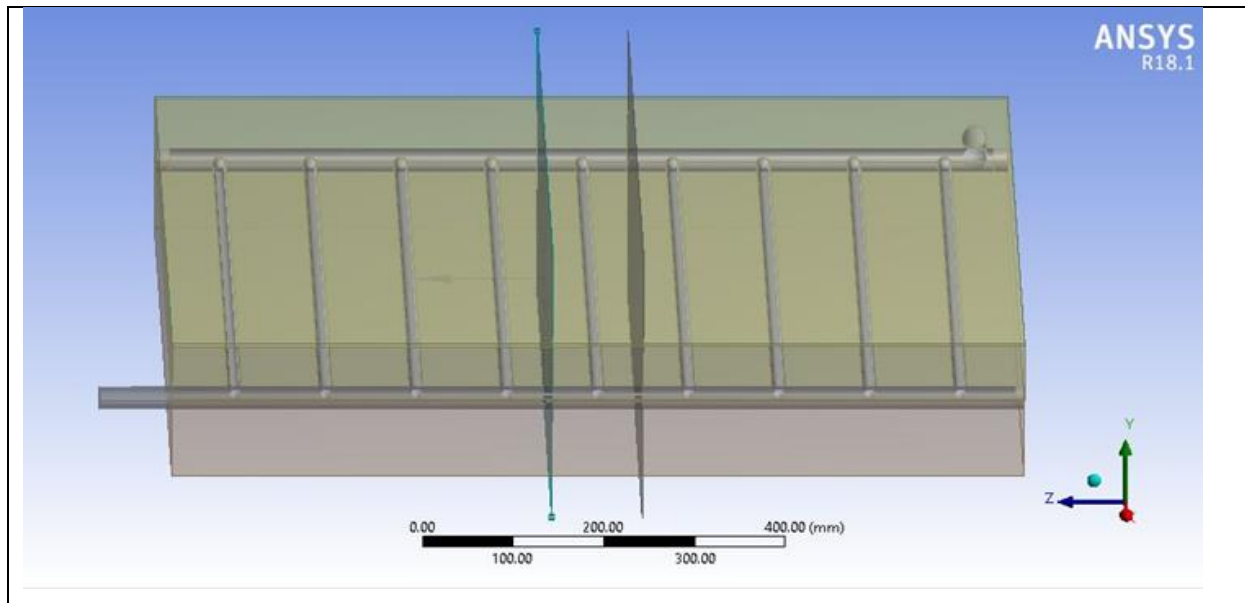


Fig II.3. Section prise de la géométrie originale

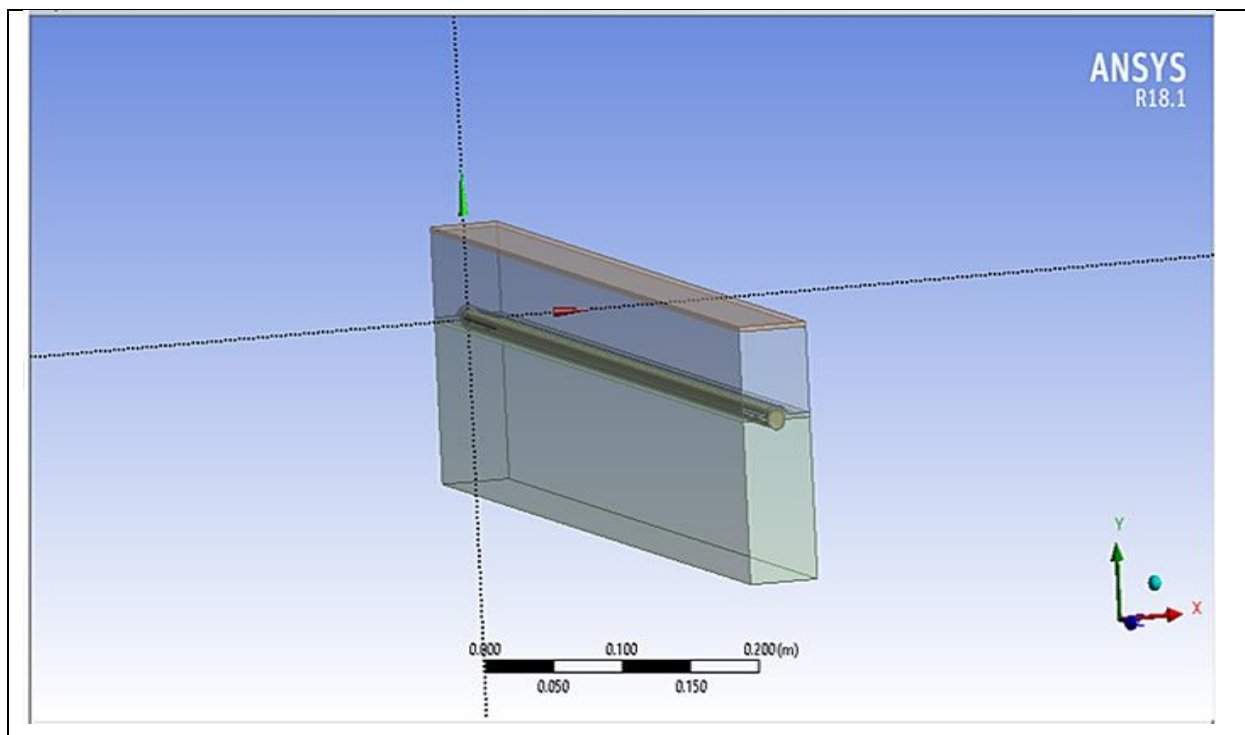


Fig II.4. Nouvelle géométrie étudié

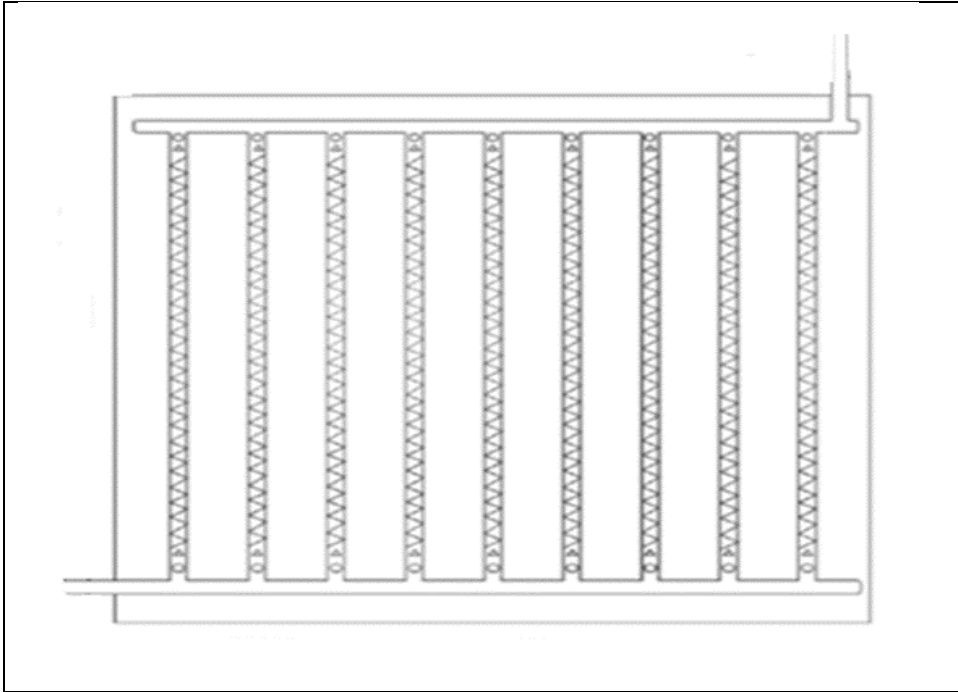


Fig II.5. Un diagramme schématique des tubes montants équipés des rubans torsadés



Fig II.6. Ruban torsadé avec un rapport de torsion $\delta=4$

II.3 Hypothèses simplificatrices

La modélisation du système étudié repose sur les hypothèses simplificatrices suivantes :

- L'écoulement du fluide et le transfert de chaleur sont permanent ($\frac{\partial}{\partial t} = 0$).
- Le régime est laminaire.
- Milieu continu.
- Ecoulement tridimensionnel (suivant les coordonnées x, y, z).
- Le fluide est newtonien et incompressible.
- Les propriétés physiques du fluide (ρ, C_p, μ, k) sont supposées constantes sauf pour la masse volumique dont l'approximation de Boussinesq étant adoptée, elle considère que les variations de la masse volumique sont négligeable au niveau de tous les termes des équations de quantité de mouvement ($\rho = \rho_0$), sauf au niveau du terme gravité. La variation de ρ en fonction de la température est donnée comme suit :

$$\rho = \rho_0 [1 - \beta (T - T_0)]$$

T_0 : Température de référence.

ρ_0 : Masse volumique du fluide.

β : le coefficient de dilatation à pression constante

$$\beta = -\frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)$$

II.4. Les équations gouvernantes du problème étudié

Après l'introduction des hypothèses données ci-dessus. On peut établir les différentes équations nécessaires à la résolution du problème considéré dans cette étude comme suit :

II.4. 1. Equation de continuité

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

II.4. 2. Equation de la conservation de la quantité de mouvement

Suivant x

$$\left[\frac{\partial uu}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial uw}{\partial z} \right] = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left[u \frac{\partial u}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[v \frac{\partial u}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[w \frac{\partial u}{\partial z} \right] \right\} \quad (\text{II.2})$$

Suivant y

$$\left[\frac{\partial vu}{\partial x} + \frac{\partial vv}{\partial y} + \frac{\partial vw}{\partial z} \right] = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left[u \frac{\partial v}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[v \frac{\partial v}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[w \frac{\partial v}{\partial z} \right] \right\} + g\beta(T-T_0) \quad (\text{II.3})$$

Suivant z

$$\left[\frac{\partial wu}{\partial x} + \frac{\partial wv}{\partial y} + \frac{\partial ww}{\partial z} \right] = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left[u \frac{\partial w}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[v \frac{\partial w}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[w \frac{\partial w}{\partial z} \right] \right\} \quad (\text{II.4})$$

II.4. 3. Equation de l'énergie :

$$\rho_0 C_p \left[u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right] = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right] \quad (\text{II.5})$$

Ou

λ : La conductivité thermique.

C_p : La chaleur spécifique à pression constante.

ρ : La masse volumique.

β : Le coefficient de dilatation isobare du fluide.

μ : Viscosité dynamique du fluide.

II.5. Modèle de radiation

Une des caractéristiques utiles d'ANSYS Fluent est le modèle de charge solaire. Cette capacité peut être utilisée pour calculer la charge de rayonnement effective en fonction de la

position sur la surface terrestre (latitude et longitude), l'orientation du modèle par rapport au nord, l'heure du jour, la saison et les conditions établies pour un temps clair ou nuageux.

Ansys Fluent fournit cinq modèles de rayonnement qui nous permettent d'inclure le rayonnement avec ou sans milieu participant dans les simulations de transfert de chaleur, les modèles sont:

- Discrete Transfer Radiation Model (DTRM),
- P-1 Radiation model,
- Rosseland radiation model,
- Surface to surface radiation model (S2S),
- Discrete Ordinate radiation model (DO).

Le modèle de rayonnement de Rosseland présente deux avantages par rapport au modèle P-1. Puisqu'il ne résout pas une équation de transport supplémentaire pour le rayonnement incident (comme le fait le modèle P-1), le modèle Rosseland est plus rapide que le modèle P-1 et nécessite moins de mémoire. Le modèle Rosseland ne peut être utilisé que pour les supports optiquement épais. Il est recommandé de l'utiliser lorsque l'épaisseur optique dépasse 3. Notez également que le modèle de Rosseland n'est pas disponible lorsque le solveur basé sur la densité est utilisé ; il est disponible uniquement avec le solveur basé sur la pression (pressure-based).

Pour toutes ces raisons on a choisit le modèle de rayonnement de Rosseland dans notre investigation numérique.

II.6. Equation de transfert radiatif

L'équation de transfert radiatif pour un milieu absorbant, émettant et diffusant à la position \vec{r} dans la direction \vec{s} est :

$$\frac{dI(\vec{r}, \vec{s})}{ds} + (a + \sigma_s) I(\vec{r}, \vec{s}) = an^2 \frac{\sigma T^4}{\pi} + \frac{\sigma_s}{4\pi} \int_0^{4\pi} I(\vec{r}, \vec{s}') \Phi(\vec{s} \cdot \vec{s}') d\Omega \quad (\text{II.6})$$

I : l'intensité de la radiation (elle dépend de la direction et la position du vecteur) ;

\vec{r} : La position de vecteur ;

\vec{s} : la direction du vecteur ;

\vec{s}' : la direction du vecteur de diffusion ;

a : le coefficient d'absorption ;

s : la longueur du trajet ;

n : l'indice de réfraction ;

σ_s : le coefficient de diffusion ;

σ : La constante de Stefan-Boltzmann ($5.672 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{K}^4$);

Φ : la fonction de phase ;

T : la température locale ;

Ω : l'angle solide.

II.7. Les équations du modèle Rosseland

Le flux de rayonnement q_r est donné par l'équation suivante:

$$q_r = -\frac{1}{3(a + \sigma_s) - C\sigma_s} \nabla G \quad (\text{II.7})$$

où

a est le coefficient d'absorption,

σ_s est le coefficient de diffusion,

G est le rayonnement incident,

C est le coefficient de la fonction de phase linéaire-anisotrope.

Après avoir introduit le paramètre :

$$\Gamma = \frac{1}{3(a + \sigma_s) - C\sigma_s} \quad (\text{II.8})$$

L'équation (II.7) se simplifie à

$$q_r = -\Gamma \nabla G \quad (\text{II.9})$$

L'équation de transport de G est :

$$\nabla \cdot (\Gamma \nabla G) - aG + 4a\sigma T^4 = S_G \quad (\text{II.10})$$

où σ est la constante de Stefan-Boltzmann et S_G est une source de rayonnement définie par l'utilisateur.

Ansys Fluent résout cette équation pour déterminer l'intensité du rayonnement local lorsque le modèle Rosseland est actif.

En combinant les Équations (II.9) et (II.10), on obtient l'équation suivante :

$$-\nabla \cdot q_r = aG - 4a\sigma T^4 \quad (\text{II.11})$$

II.8. Les conditions aux limites

La résolution du système d'équations obtenu précédemment nécessite l'incorporation des conditions aux limites pour l'ensemble d'équations régissant sont présentées ci-dessous :

❖ L'entrée :

Une vitesse et une température à l'entrée (Velocity inlet) :

$$u_0, T_0 = 293.16 \text{ K.}$$

$$Re = \frac{\rho \cdot u_0 \cdot D}{\mu} \Rightarrow u_0 = \frac{Re \cdot \mu}{\rho \cdot D}$$

❖ La sortie : (pressure outlet) :

$$P = P_{atm} \cdot \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{\partial T}{\partial z} = 0$$

❖ Les interfaces paroi –fluide sont couplées :

(paroi interne du verre et l'air) et (paroi interne du tube et le fluide (air))

$$k_s \left. \frac{\partial T}{\partial n} \right|_{\text{paroi}} = k_f \left. \frac{\partial T}{\partial n} \right|_{\text{paroi}}$$

❖ Pour la paroi extérieur en verre, une condition au limite mixte est utilisée pour tenir compte à la fois du rayonnement et du transfert de chaleur par convection. Il y a un échange de chaleur par rayonnement entre cette surface et le ciel.

-Le flux convectif a été calculé en utilisant la loi de Newton :

$$\varphi = h \cdot S \cdot (T_p - T_\infty)$$

-Le flux radiatif a été modélisé en utilisant (Solar load Model) pour la région de M'sila.

II.9. Calcul des grandeurs hydrodynamiques et thermiques

II.9.1 Nombre de Reynolds

Reynolds, un ingénieur Anglais spécialiste de l'hydrodynamique qui a introduit ce nombre qui porte son nom et qui est constamment utilisé dans les calculs.

Il est en fonction de 03 paramètres : le diamètre «D », la vitesse « u_0 » et la viscosité cinématique du fluide « ν ».

$$Re = \frac{u_0 D h}{\nu_f} \quad (\text{II.12})$$

u_0 = vitesse d'entrée du fluide [m/s].

D_h = diamètre hydraulique [m].

ν = viscosité cinématique du fluide [m^2/s].

$$D_h = \frac{4v_f}{A_f} \quad (\text{II.13})$$

Ou

V_f : est le volume total du fluide à l'intérieur du tube

A_f : est la surface mouillée, qui est définie comme la surface de transfert de chaleur par convection en contact avec le fluide.

II.9.2 Coefficient d'échange convectif :

Le coefficient d'échange thermique est un coefficient quantifiant le flux d'énergie traversant un milieu, par unité de surface, de volume ou de longueur. Il est exprimé en [W/m^2].

$$h = \frac{q_c}{A(T_w - T_m)} \quad (\text{II.14})$$

q_c : la quantité de chaleur définie par l'expression suivante :

$$q_c = \dot{m} C_p (T_{out} - T_0) \quad (\text{II.13})$$

T_{out} : Température moyenne de sortie [K].

T_0 : Température d'entrée [K].

\dot{m} : Débit massique [Kg/s].

C_p : Capacité calorifique massique à pression constante. J/kg.k

A : surface d'échange thermique [m^2].

T_w = Température moyenne de la surface d'échange.

T_m = Température moyenne du mélange basé sur la masse volumique.

II.9.3. Nombre de Nusselt

Le nombre de Nusselt est un nombre adimensionnel utilisé pour caractériser les transferts thermique entre un fluide et une paroi, appelé convectif.

Le nombre de Nusselt moyen a été défini comme suit :

$$Nu = \frac{h_m D_h}{K_f} \quad (II.15)$$

h_m : Coefficient de convection moyen [W/m^2k].

K_f : Conductivité thermique du fluide [W/m]

II.10. Conclusion :

Dans ce chapitre on a présenté les différentes géométries étudiées. Ainsi que les équations régissant notre problème, on a présenté aussi les conditions aux limites et les hypothèses simplificatrices. Pour la résolution des équations gouvernantes et le maillage on va utiliser Ansys fluent 2018 et pour la création de la géométrie on va utiliser le logiciel Solidworks. Les étapes de l'utilisation de ces logiciels sont détaillées dans le chapitre suivant.

Chapitre III

" Procédures de Simulation Numérique "

Chapitre III :

Procédures de simulation numérique

III.1. Introduction

Dans notre étude, nous avons effectué la résolution numérique des équations aux dérivées partielles sur une configuration tridimensionnelle par le logiciel CFD Ansys fluent R1 2018. La conception des géométries a été réalisé en utilisant le logiciel Solidworks 2013. Dans ce chapitre, on va exposer des généralités sur les deux logiciels Ansys fluent et solidworks après on va présenter les différent étapes principales de la création de la géométrie étudiée et le maillage choisi, ainsi les étapes de simulation par Ansys Fluent.

III.2. Présentation des logiciels Solidworks et Ansys Fluent

III.2.1. Le logiciel Solidworks

SolidWorks est un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) en 3D utilisé pour la modélisation, la simulation et la création de plans de fabrication. Il est largement utilisé dans les domaines de l'ingénierie mécanique, de la conception de produits, de l'architecture et d'autres industries connexes.

SolidWorks permet aux utilisateurs de créer des modèles 3D précis en utilisant une variété d'outils de modélisation, tels que la modélisation solide, la modélisation surfacique et la modélisation de pièces moulées. Le logiciel offre également des fonctionnalités avancées de simulation et d'analyse, qui permettent aux ingénieurs de tester la résistance, la rigidité et le comportement des pièces et des assemblages dans des conditions réelles.

En plus de la modélisation et de la simulation, SolidWorks permet de créer des plans détaillés et des dessins de fabrication à partir des modèles 3D. Les fonctionnalités de mise en plan du logiciel facilitent la création de vues orthographiques, de coupes transversales, de nomenclatures et d'autres éléments nécessaires à la fabrication.

SolidWorks est connu pour sa convivialité et son interface intuitive, ce qui en fait un outil populaire parmi les concepteurs et les ingénieurs. Il est largement utilisé dans l'industrie

manufacturière et est compatible avec une variété de formats de fichiers, permettant une intégration facile avec d'autres logiciels et systèmes de gestion de données.

III.2.2. Ansys

Ansys est un logiciel de simulation utilisé dans le domaine de l'ingénierie pour la modélisation, l'analyse et la résolution de problèmes complexes liés à la mécanique des structures, la dynamique des fluides, la thermique et d'autres phénomènes physiques. Le nom "ANSYS" est dérivé de "Analysis System". Il offre une suite complète d'outils de simulation qui permettent aux ingénieurs de tester virtuellement leurs conceptions avant de les fabriquer physiquement, ce qui permet d'économiser du temps et des coûts.

Ansys permet de créer des modèles numériques en utilisant des techniques de maillage pour représenter les géométries réelles, puis d'appliquer des conditions de frontière et des charges pour simuler le comportement du système. Il utilise des méthodes numériques avancées pour résoudre les équations mathématiques qui décrivent le comportement physique du système. Les résultats de la simulation peuvent inclure des données sur les contraintes, les déformations, les températures, les écoulements de fluides, les vibrations et d'autres propriétés physiques.

Ansys est utilisé dans de nombreux secteurs industriels tels que l'aérospatiale, l'automobile, l'énergie, l'électronique, le génie civil et bien d'autres encore. Il offre une large gamme de fonctionnalités et de modules spécialisés pour répondre aux besoins spécifiques de chaque application. La combinaison de la précision des résultats, de la flexibilité des modèles et de la capacité à résoudre des problèmes complexes a fait d'ANSYS l'un des logiciels de simulation les plus largement utilisés et respectés dans le domaine de l'ingénierie.

-ANSYS Fluent

Ansys Fluent est un logiciel de simulation numérique des fluides largement utilisé dans le domaine de l'ingénierie et des sciences. Il fait partie de la suite logicielle ANSYS, qui offre des outils avancés pour la modélisation, l'analyse et la résolution de problèmes complexes liés aux écoulements de fluides.

Ansys Fluent permet de simuler et d'analyser les écoulements de fluides, tels que l'écoulement des gaz, des liquides et des mélanges multiphasiques. Il est utilisé pour résoudre

une variété de problèmes, y compris la conception de systèmes de ventilation, les performances aérodynamiques des véhicules, les échanges thermiques, la combustion, les écoulements turbulents, les interactions fluides-structures, etc.

Le logiciel utilise des méthodes de résolution basées sur la méthode des volumes finis, qui permettent de discrétiser le domaine de simulation en un maillage tridimensionnel. Il résout ensuite les équations de conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie pour prédire le comportement des fluides.

Ansys Fluent propose une large gamme de fonctionnalités, notamment la modélisation de la turbulence, la combustion, les transferts de chaleur, la modélisation des phases multiples, la réaction chimique, la dynamique des particules, etc. Il permet également d'importer et d'exporter des géométries complexes à partir de logiciels de CAO (Conception Assistée par Ordinateur) et offre des outils de post-traitement pour analyser et visualiser les résultats des simulations.

III.3. Etapes principales de simulation

La simulation avec Ansys Fluent implique plusieurs étapes :

1. Préparation du modèle :

- ✓ Importez la géométrie dans Ansys Fluent à partir du logiciel Solidworks. Cela peut être fait à partir des fichiers au format .stp, .igs, .sat, etc.
- ✓ Nettoyez et réparez la géométrie si nécessaire.
- ✓ Définissez les conditions aux limites initiales et les matériaux du modèle.

2. Maillage :

- ✓ Générez le maillage du modèle géométrique. On peut choisir entre différents types de maillage, tels que les maillages structurés ou non structurés, en fonction de l'application.
- ✓ Vérifiez la qualité du maillage pour vous assurer qu'il est adapté à notre simulation.

3. Définition des modèles physiques :

- ✓ Spécifiez le type de fluide, les propriétés thermiques, les propriétés du fluide, les modèles de turbulence, etc.
- ✓ Si nécessaire, définissez d'autres modèles physiques spécifiques à votre application, tel que la radiation.

4. Définition des conditions aux limites :

- ✓ Définissez les conditions aux limites pour notre simulation, telles que les conditions d'entrée, les conditions de sortie, les conditions de paroi, etc.

5. Configuration de la solution :

- ✓ Configurez les options numériques, telles que la méthode de discrétisation, les schémas de résolution, etc.
- ✓ Sélectionnez les paramètres de convergence, tels que les critères d'arrêt, les tolérances, etc.

6. Résolution de la simulation :

- ✓ Lancez la simulation et laissez Ansys Fluent résoudre les équations physiques pour obtenir les résultats.
- ✓ Suivez la progression de la convergence et vérifiez les avertissements ou les erreurs éventuels.

7. Analyse des résultats :

- ✓ Analysez les résultats de la simulation, tels que les champs de vitesse, de pression, de température, etc.
- ✓ Utilisez les outils de post-traitement d'Ansys Fluent pour visualiser et extraire les données pertinentes.

III.3.1. Création de la géométrie sur Solidworks

Les figures suivantes présentent les étapes effectuées sur le logiciel Solidworks pour la conception de la géométrie, commençons par la création de la surface de base et l'allongement des tubes puis les vider à l'intérieur pour obtenir les deux collecteurs d'entrée et de sortie, puis créer les 09 tubes montants entre les collecteurs. Ensuite la conception des deux plaques de l'absorbeur qui couvrent les tubes, après la conception du boîtier et le vitre.

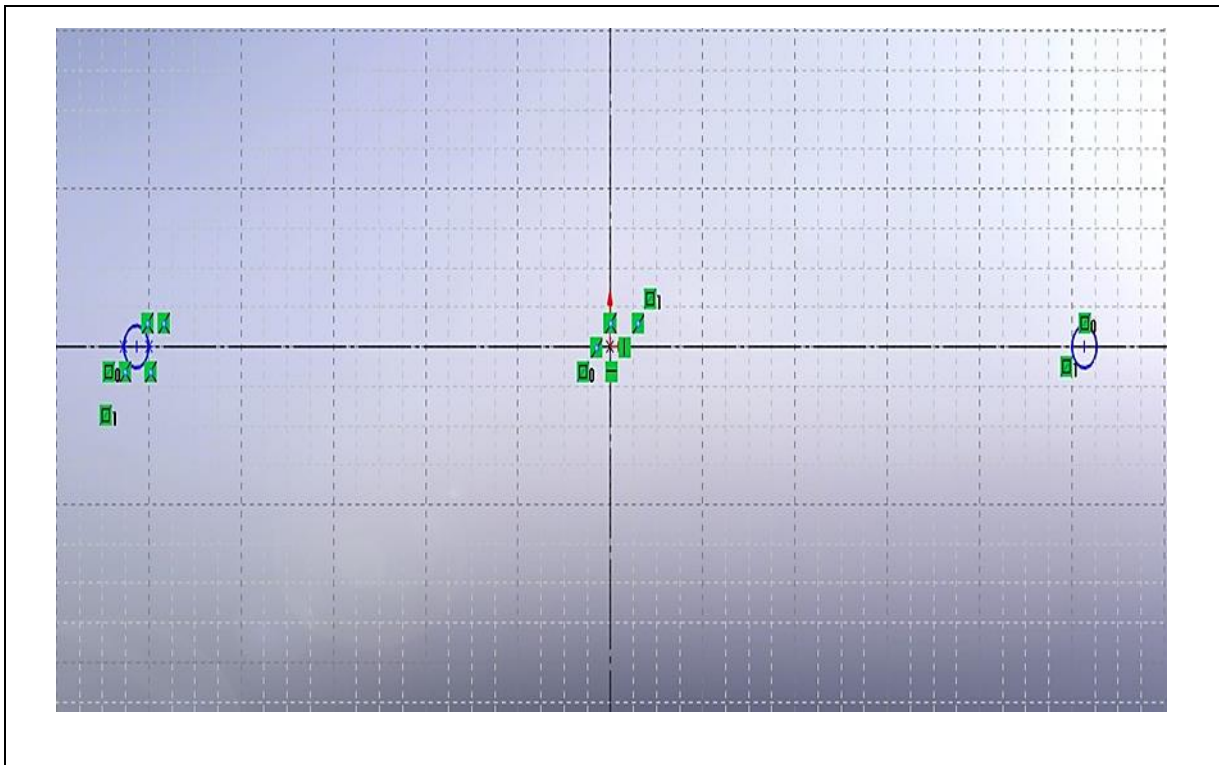


Fig.III.1. Création des surfaces de bases pour les collecteurs

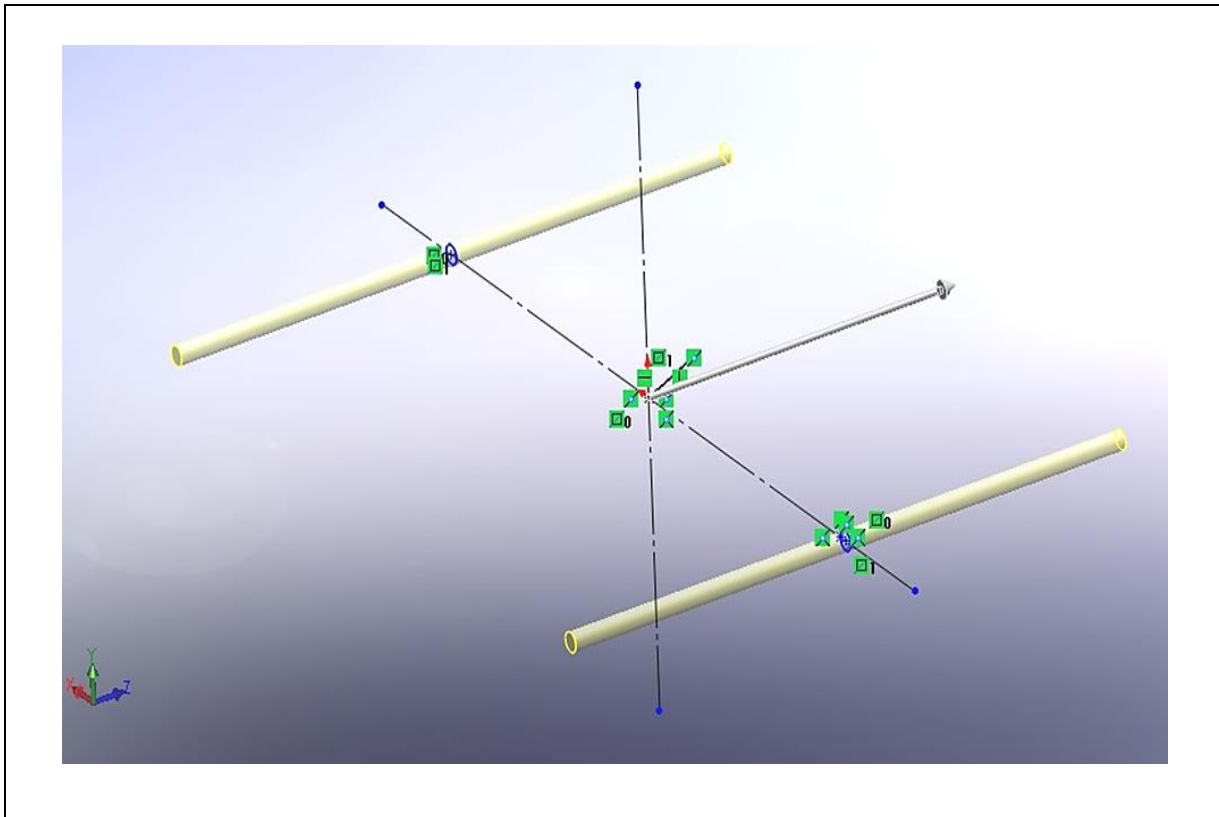


Fig.III.2. Fonction “Extrude “ pour allonger les collecteurs

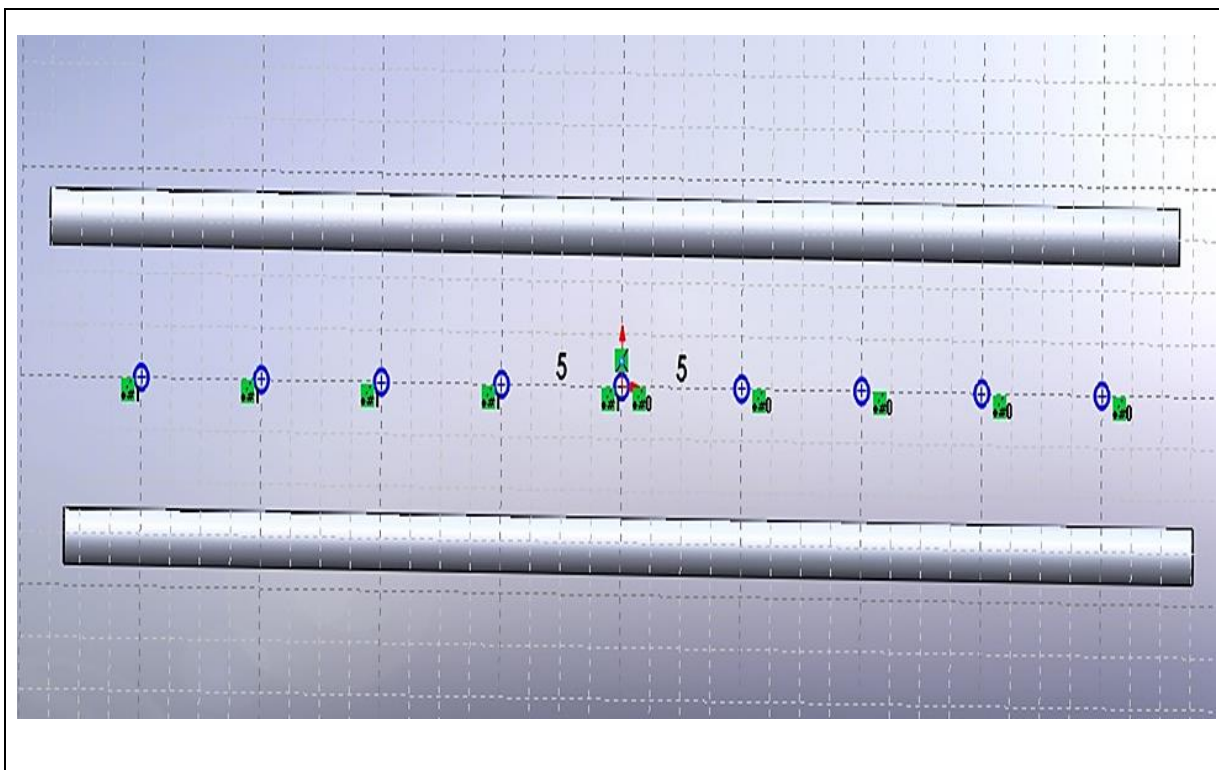


Fig.III.3. Création des surfaces de bases pour les tubes montants

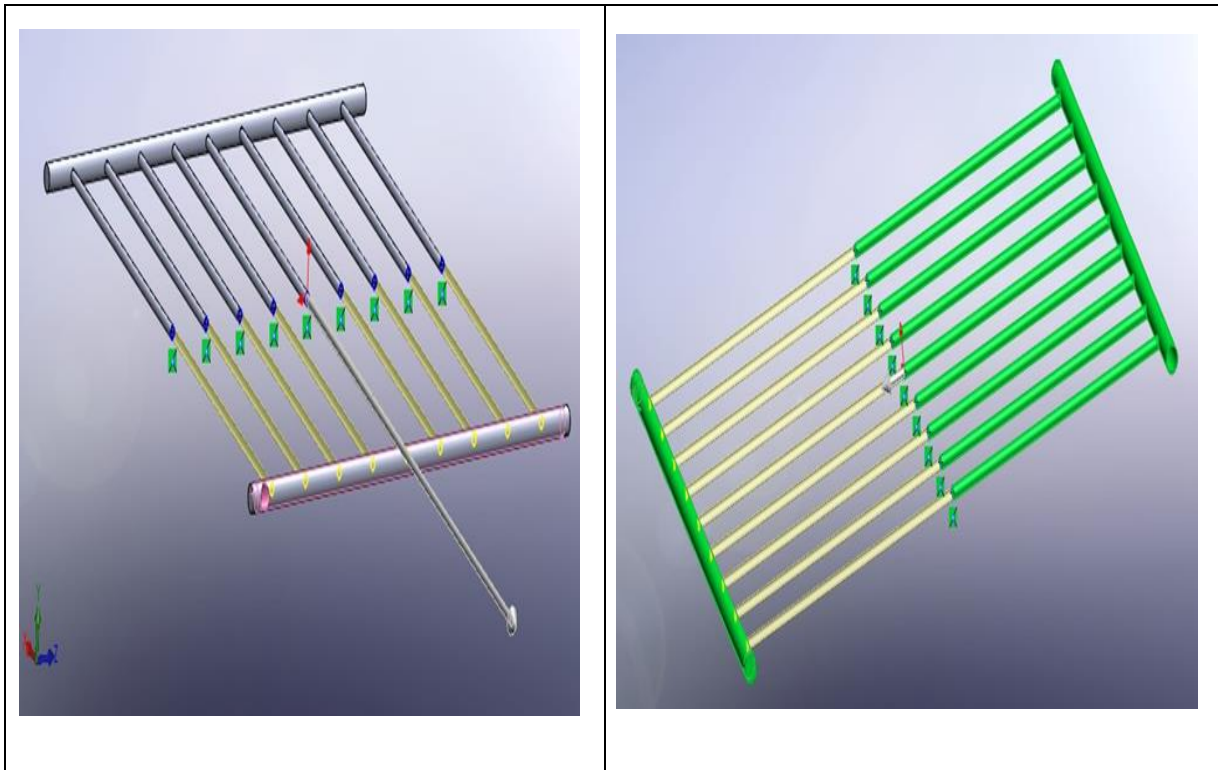


Fig.III.4. Fonction ‘ extrude ’ sur les tubes montants

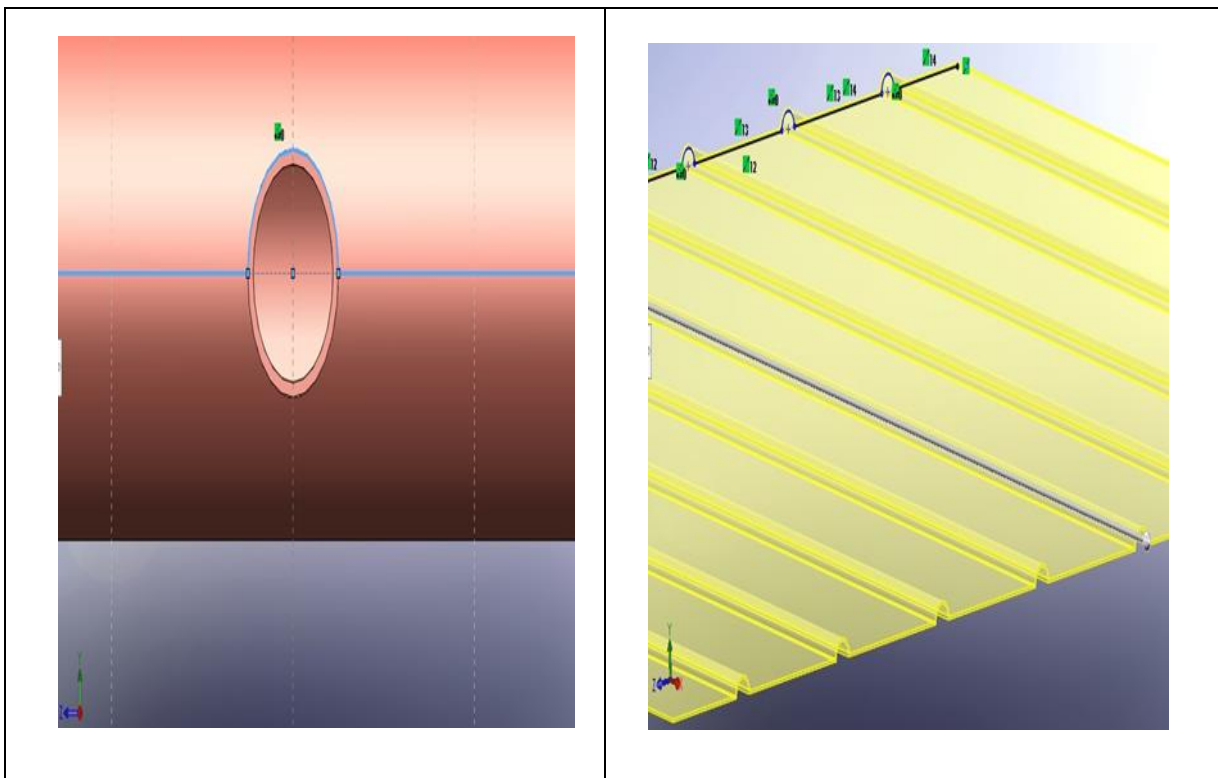


Fig.III.5. Création de l'absorbeur sur les tubes

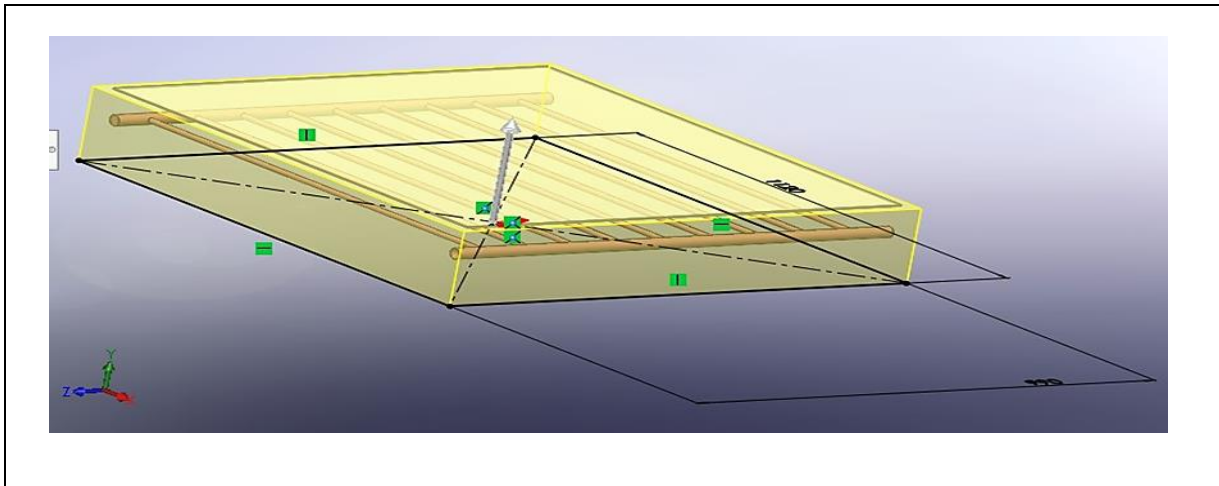


Fig.III.6. Création du boîtier

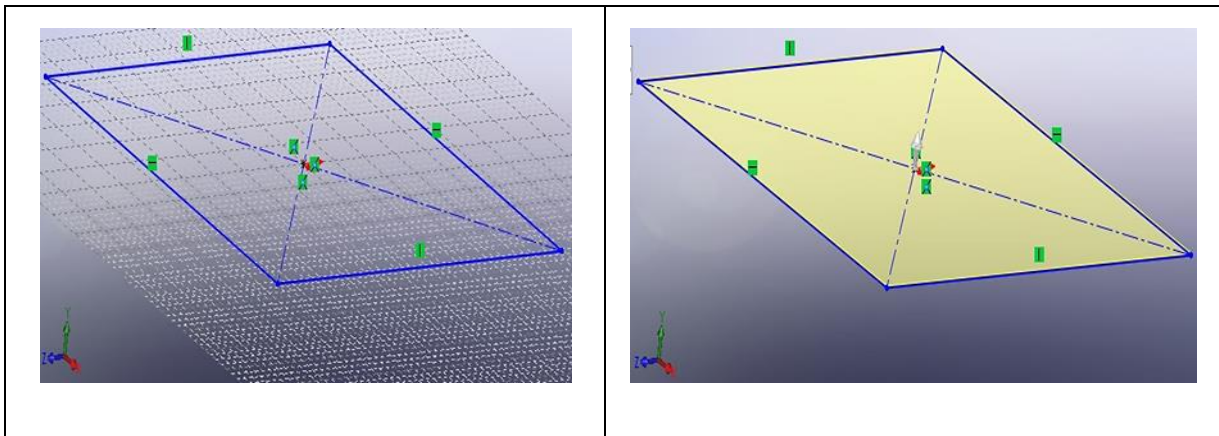


Fig.III.7. Dimensionnement et création du vitre

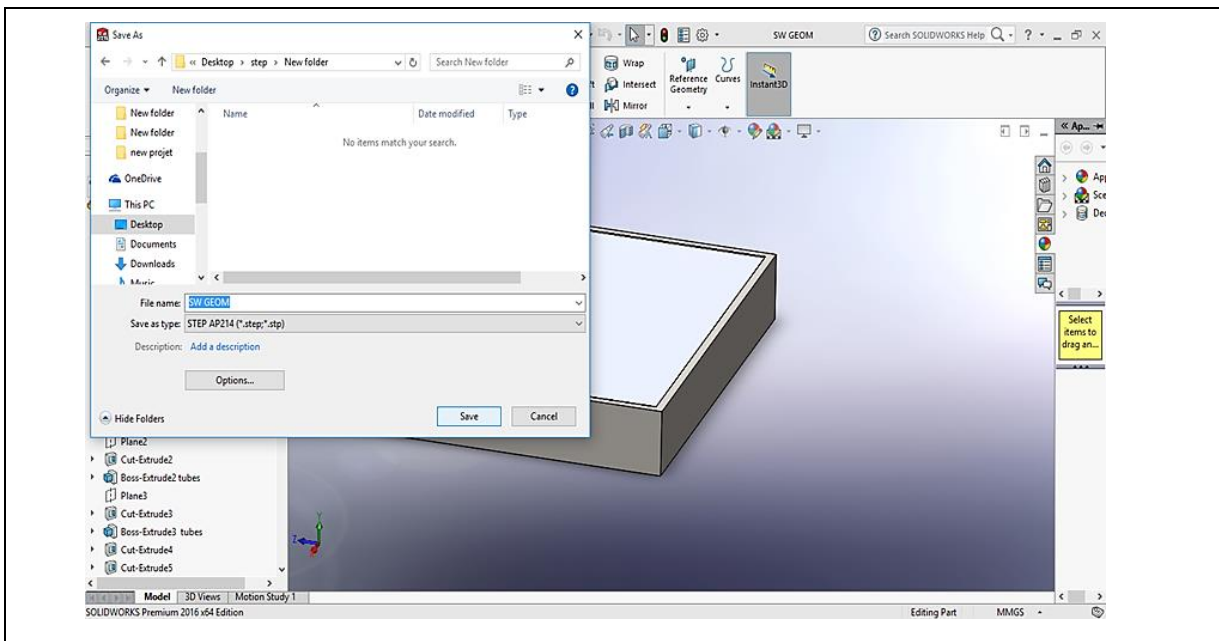


Fig.III.8. Exportation de la géométrie

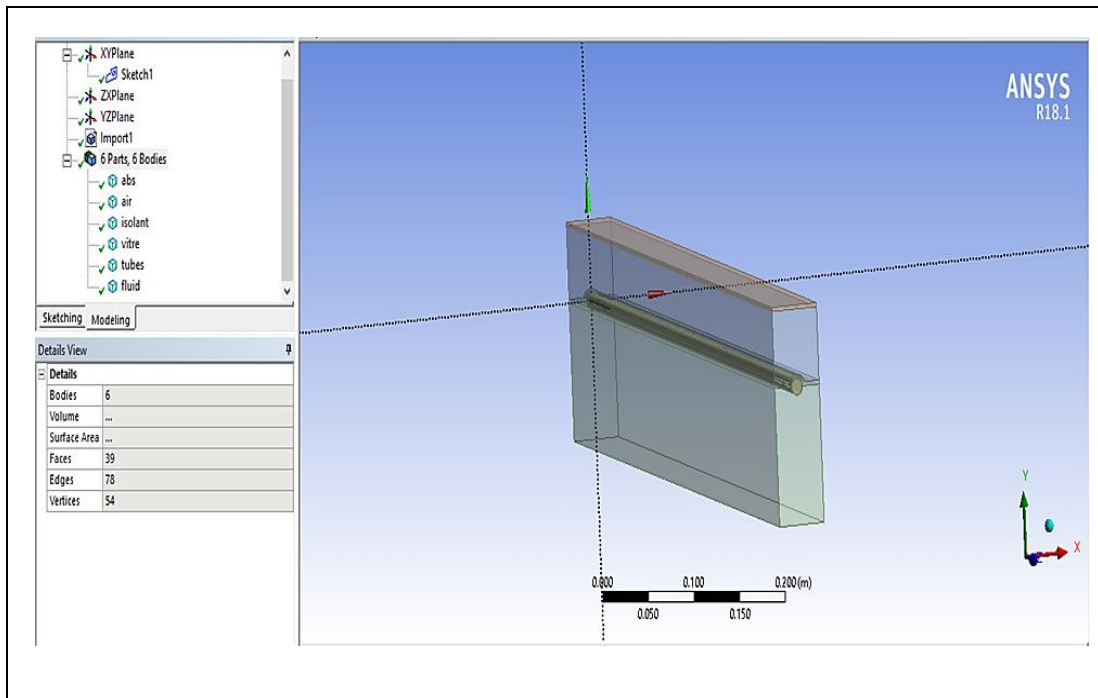


Fig.III.9 La section prise de la géométrie originale

III.4. Les étapes de simulation avec Ansys Fluent

III.4.1. Vue globale du système

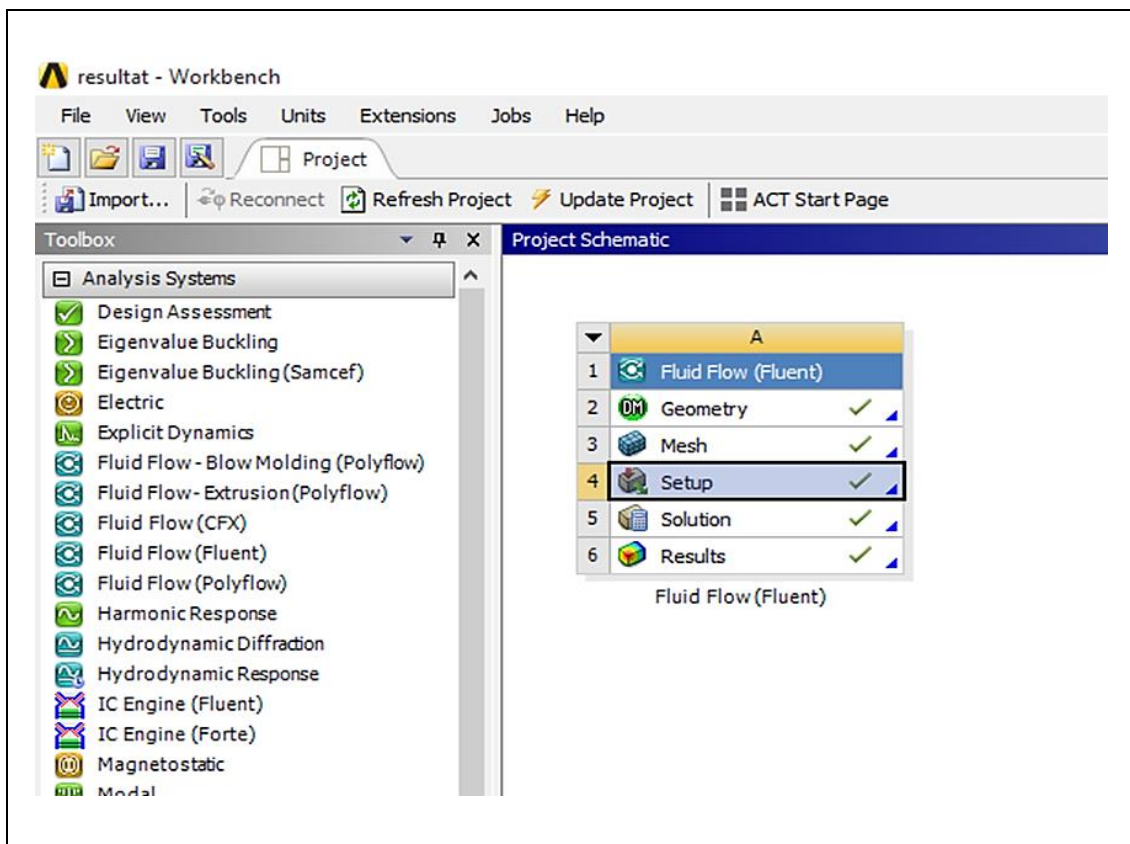


Fig.III.10 Vue globale Ansys fluent

III.4.2. Importation de la géométrie et le maillage

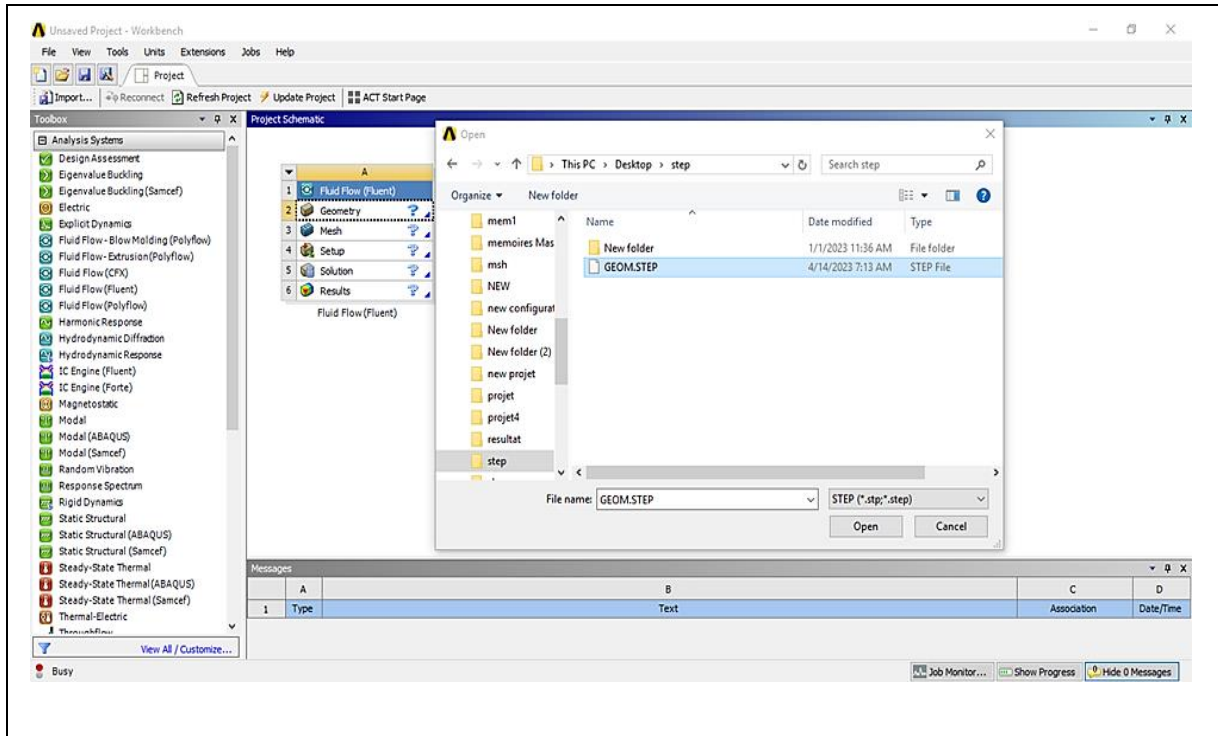


Fig.III.11. Importation de la géométrie

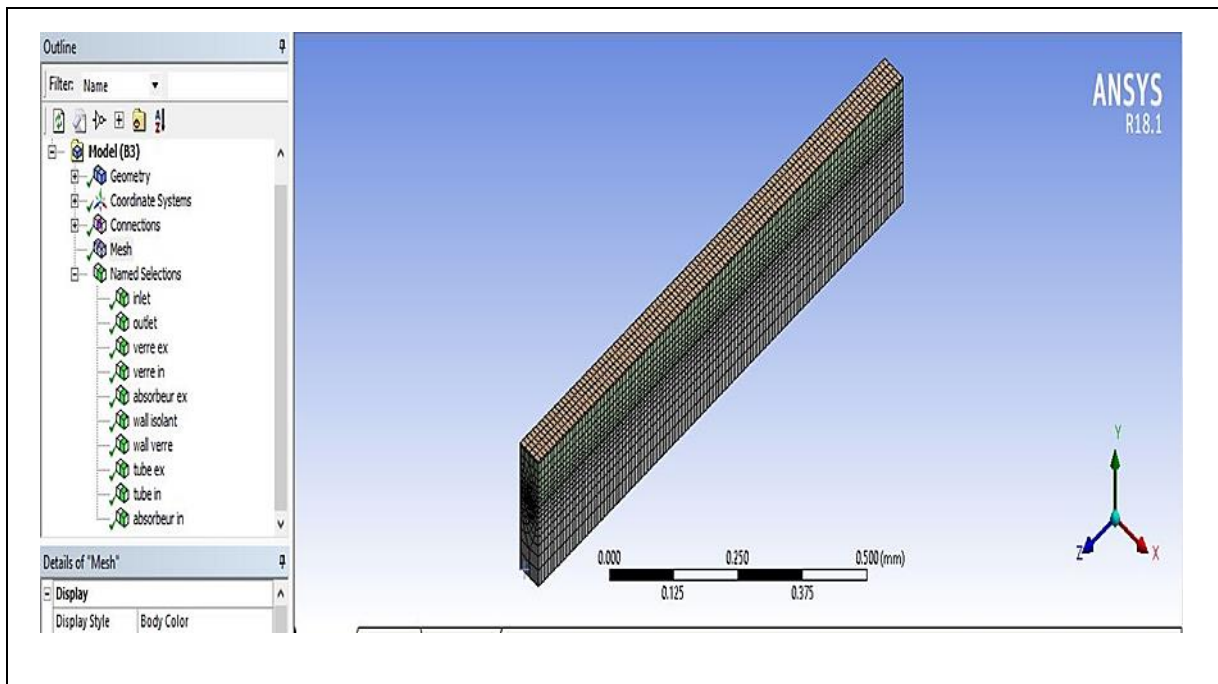


Fig.III.12 Génération du maillage

III.4. 3. Lancement de simulation avec Ansys Fluent

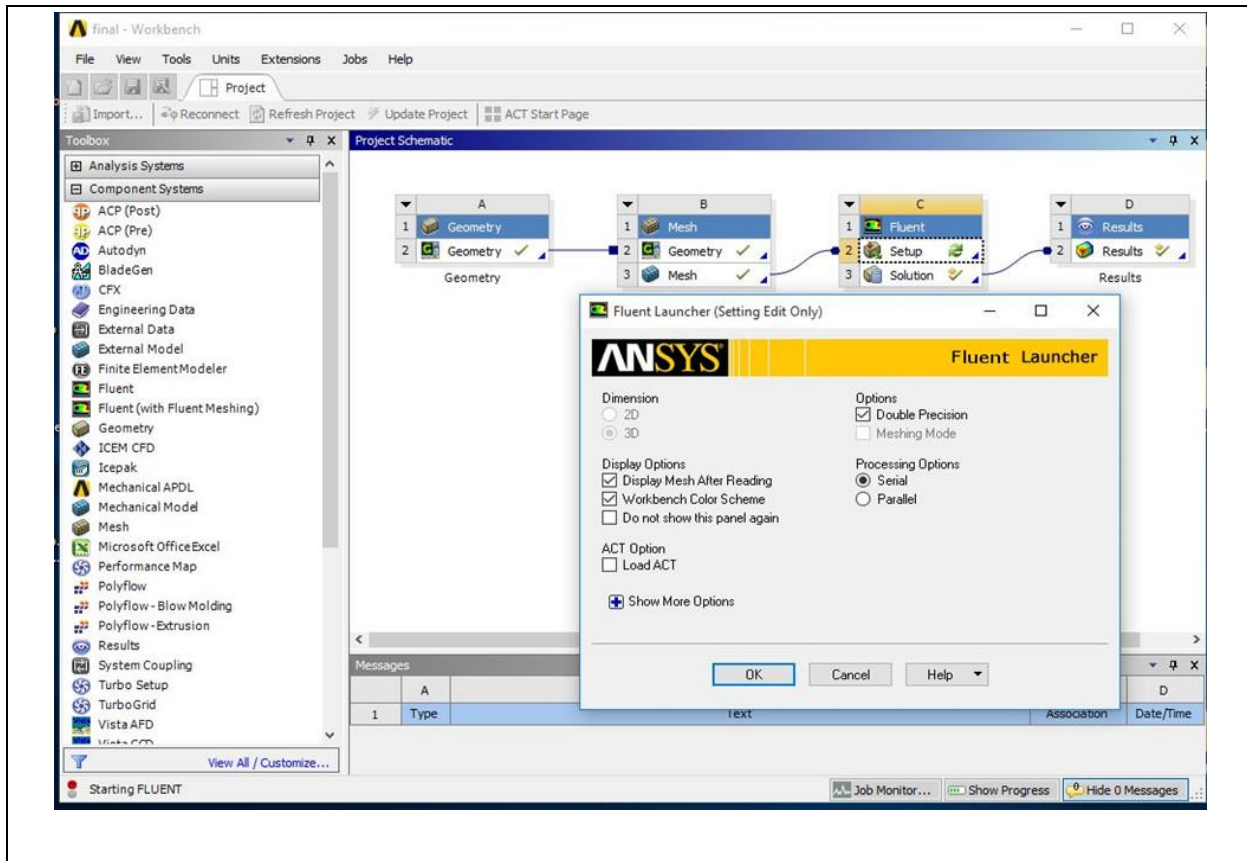


Fig.III.13 Lancement de la simulation

III.4.4. Choix du solveur

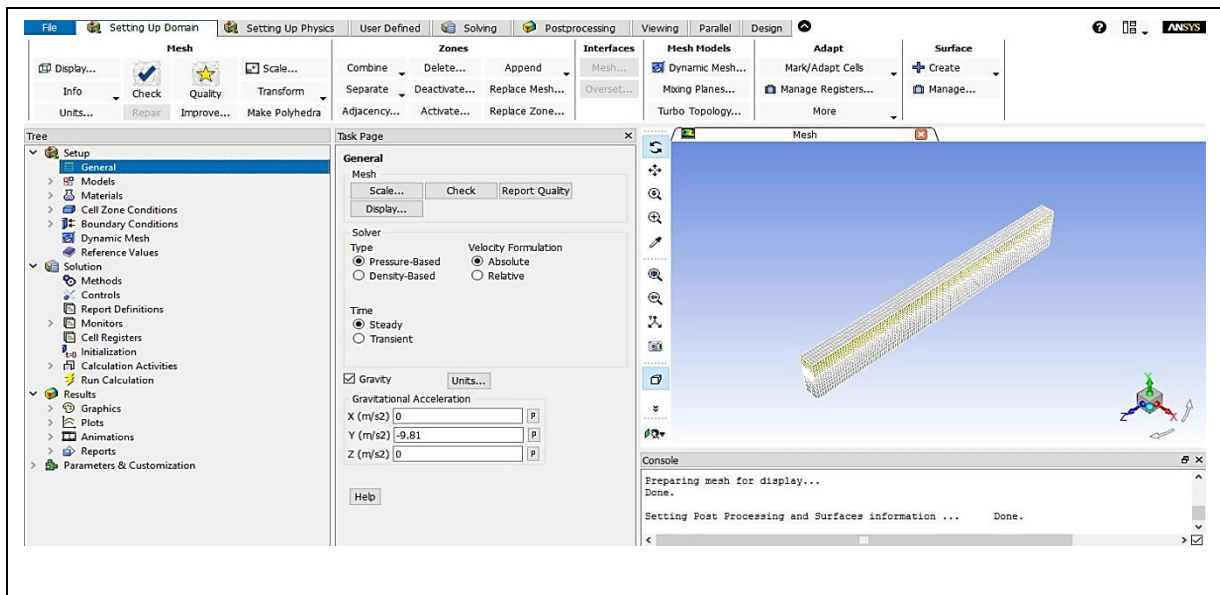


Fig.III.14 Choix du solveur

III.4.5. Activation d'équation d'énergie

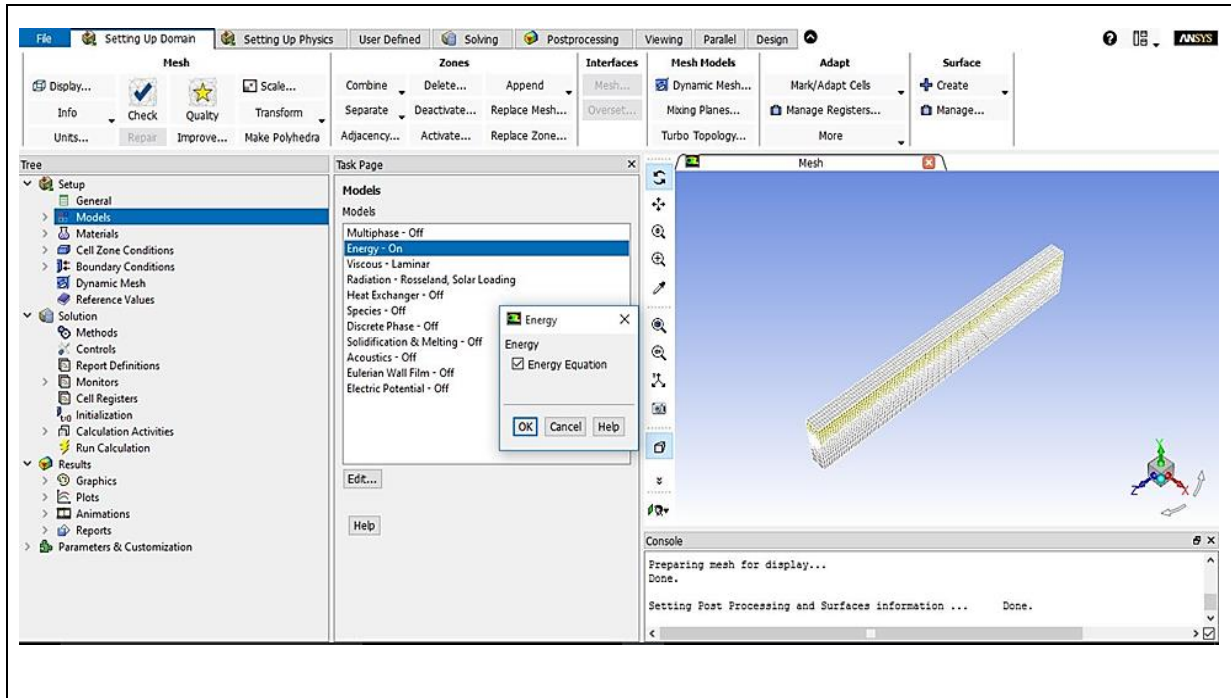


Fig.III.15. Activation d'équation d'énergie

III.4.6. Choix du modele de turbulence

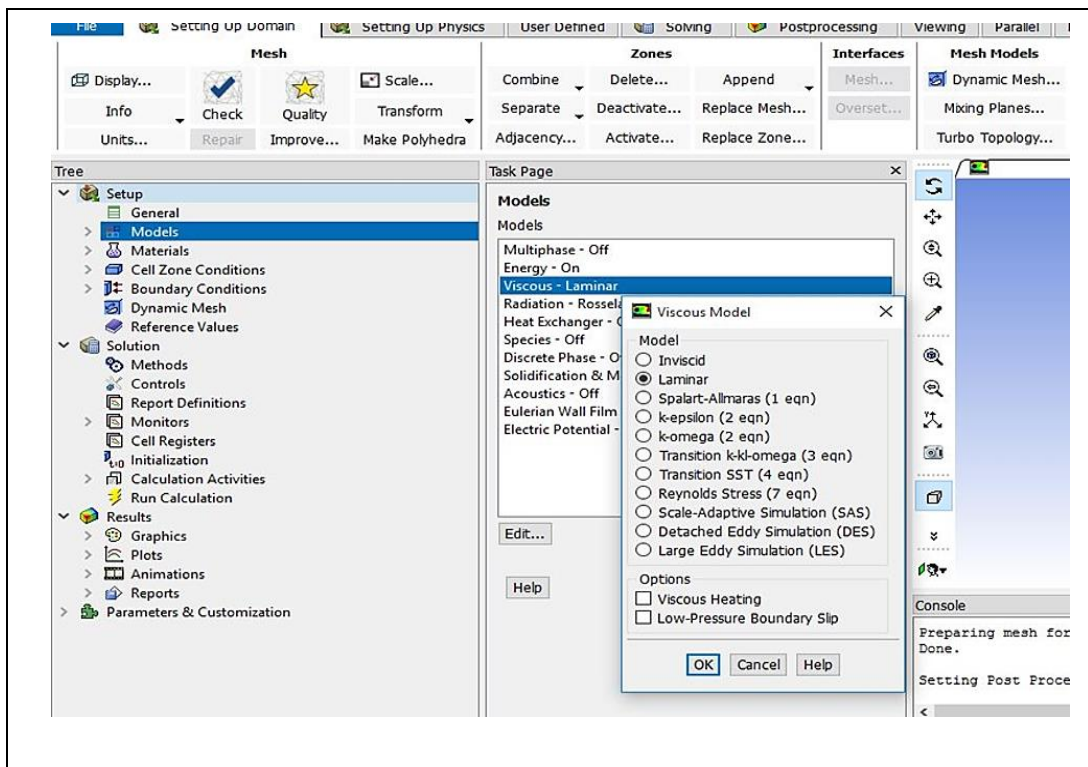


Fig.III.16 Choix du modele de turbulence

III.4.7. Choix du modèle de radiation

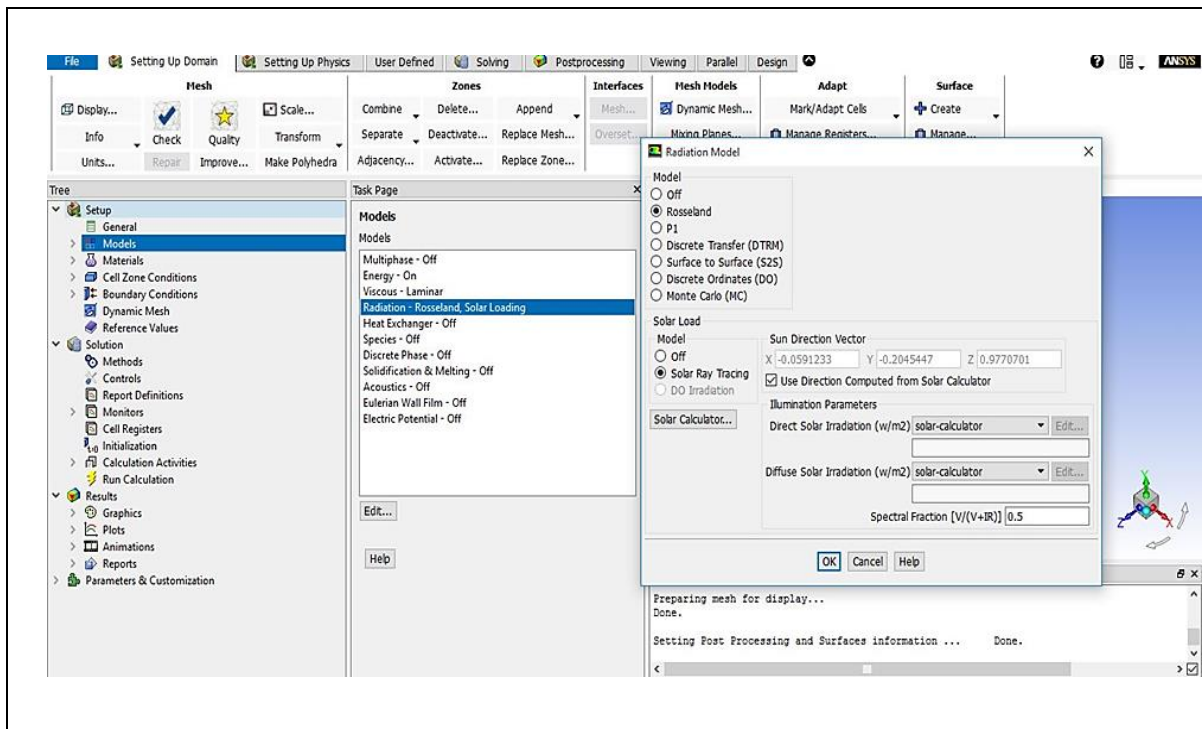


Fig.III.17 Choix du modèle de radiation

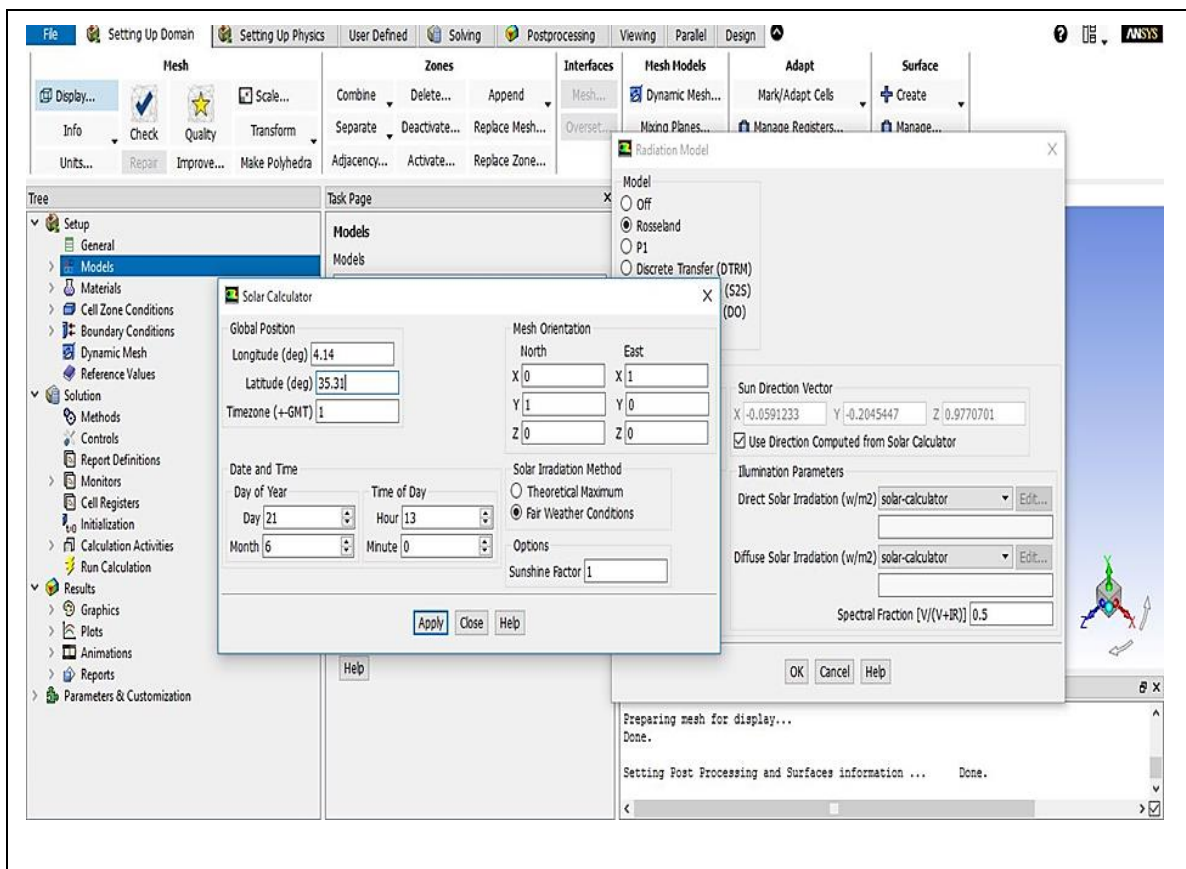


Fig.III.18 Entrée des données de « M'sila »

III.4.8. Définition des caractéristiques des matériaux

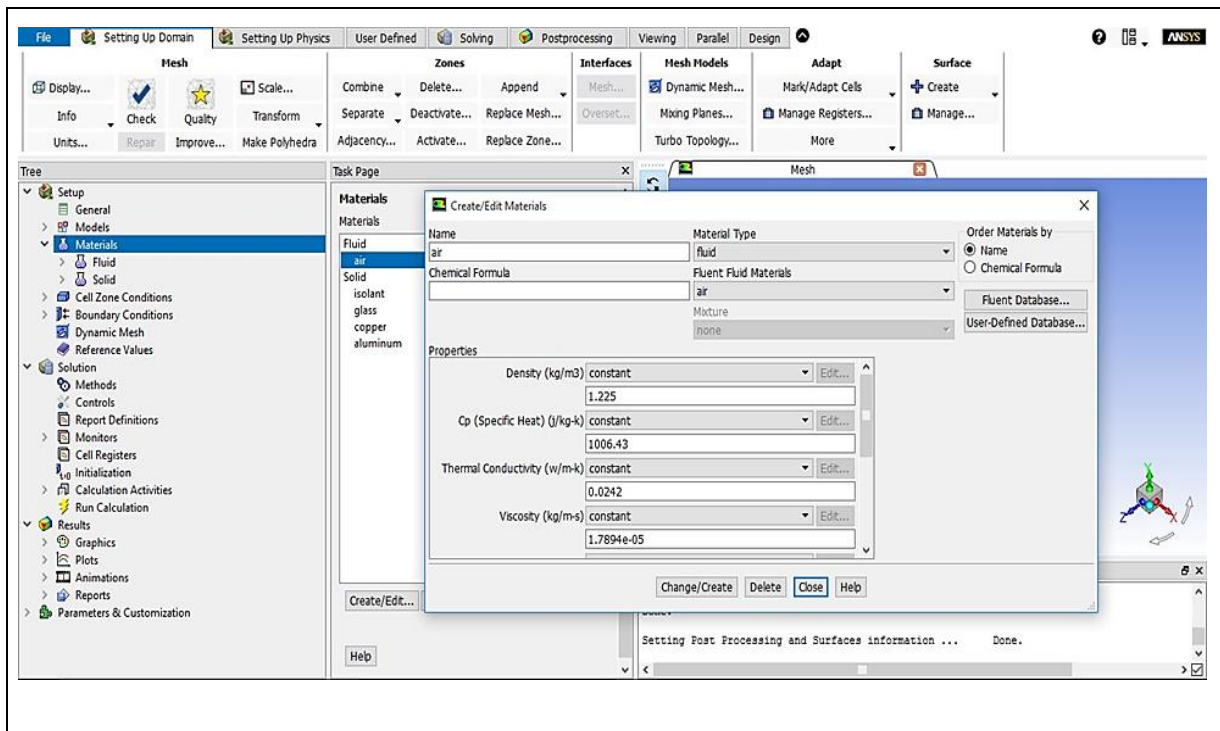


Fig.III.19. Caractéristiques des fluides

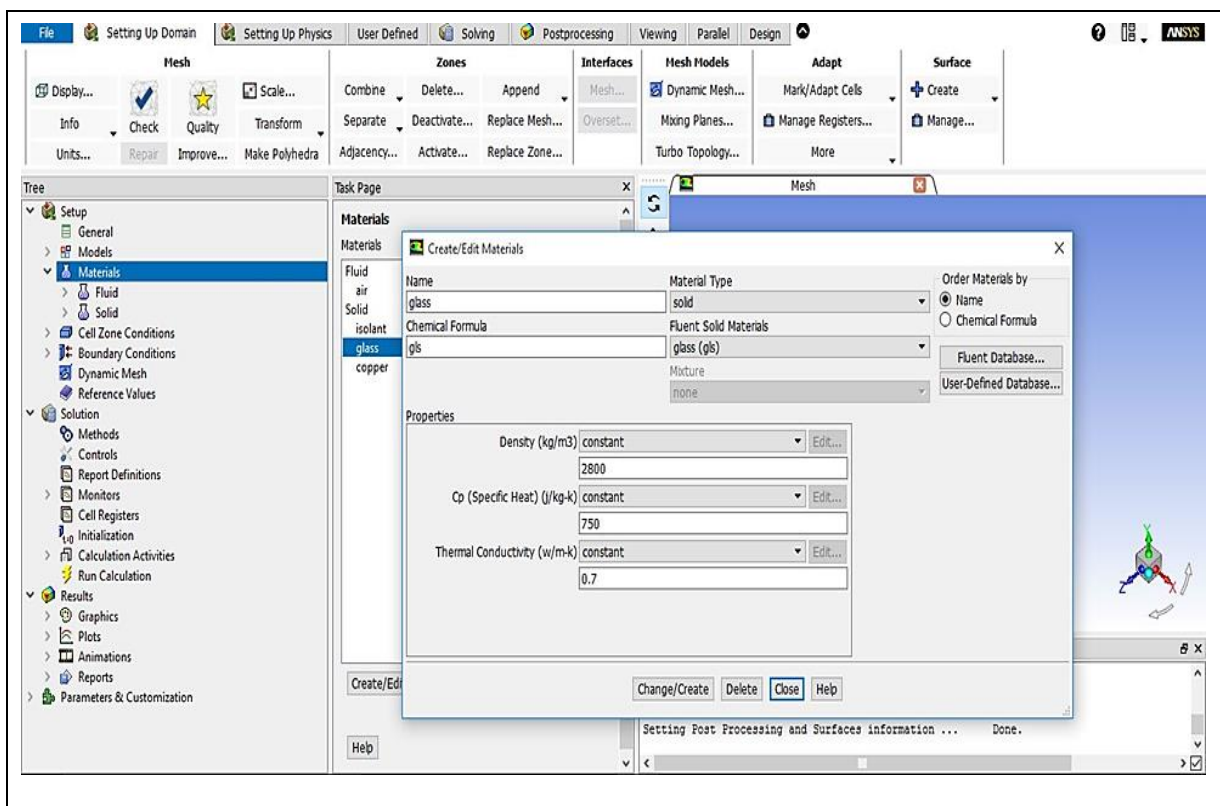


Fig.III.20. Caractéristiques des solides

III.4.9. Définitions des conditions aux limites

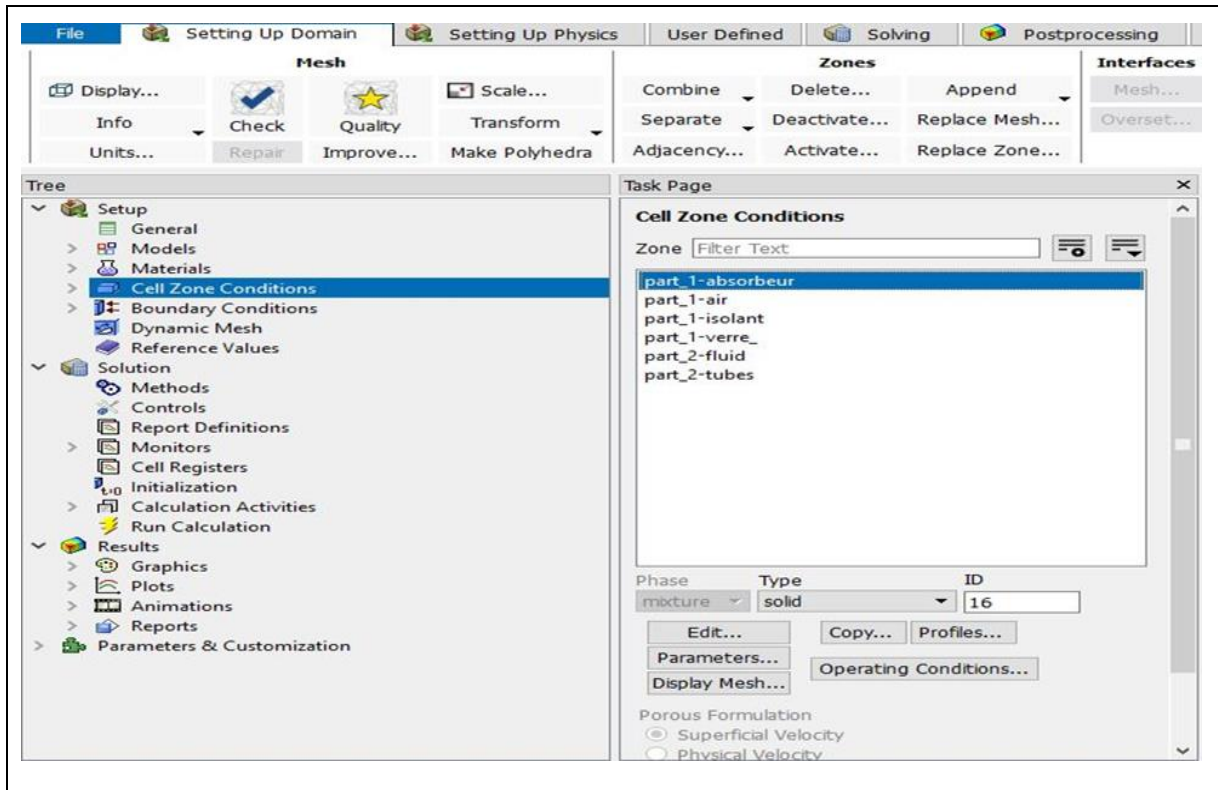


Fig.III.21 Définitions des zones fluide et solide

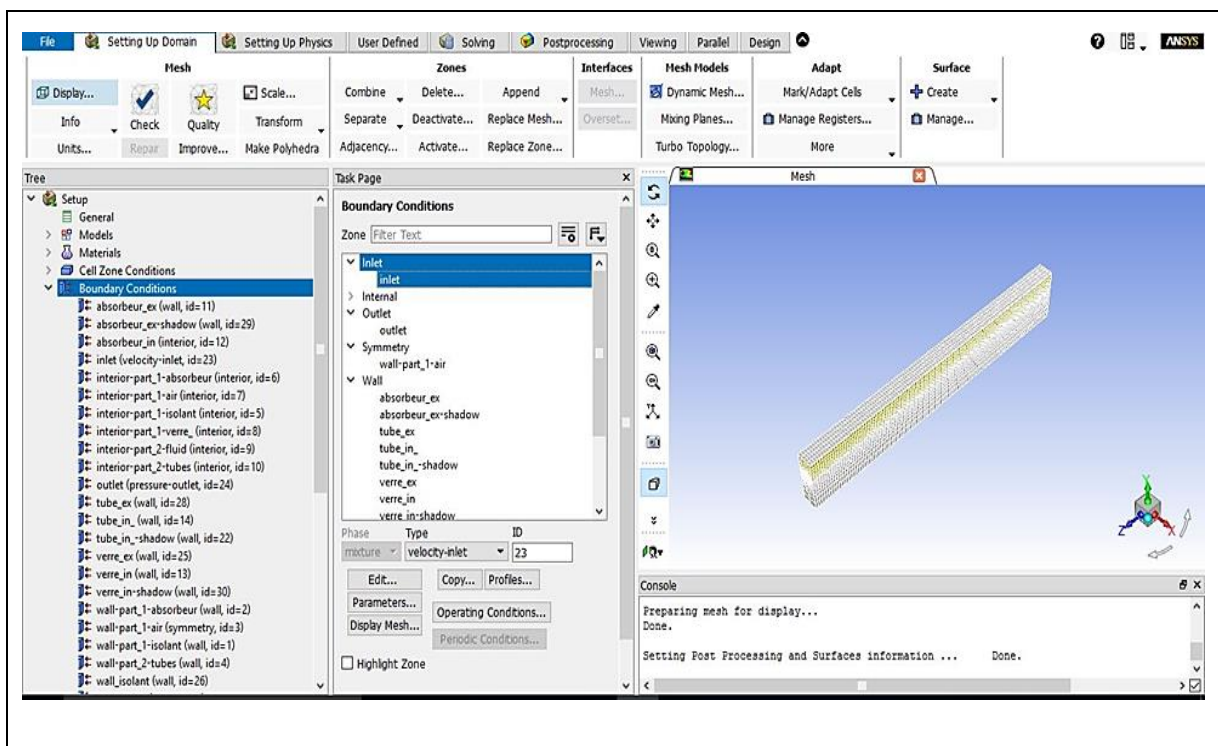


Fig.III.22 Définitions des conditions aux limites imposées

III.4.10. Choix des méthodes de resolution

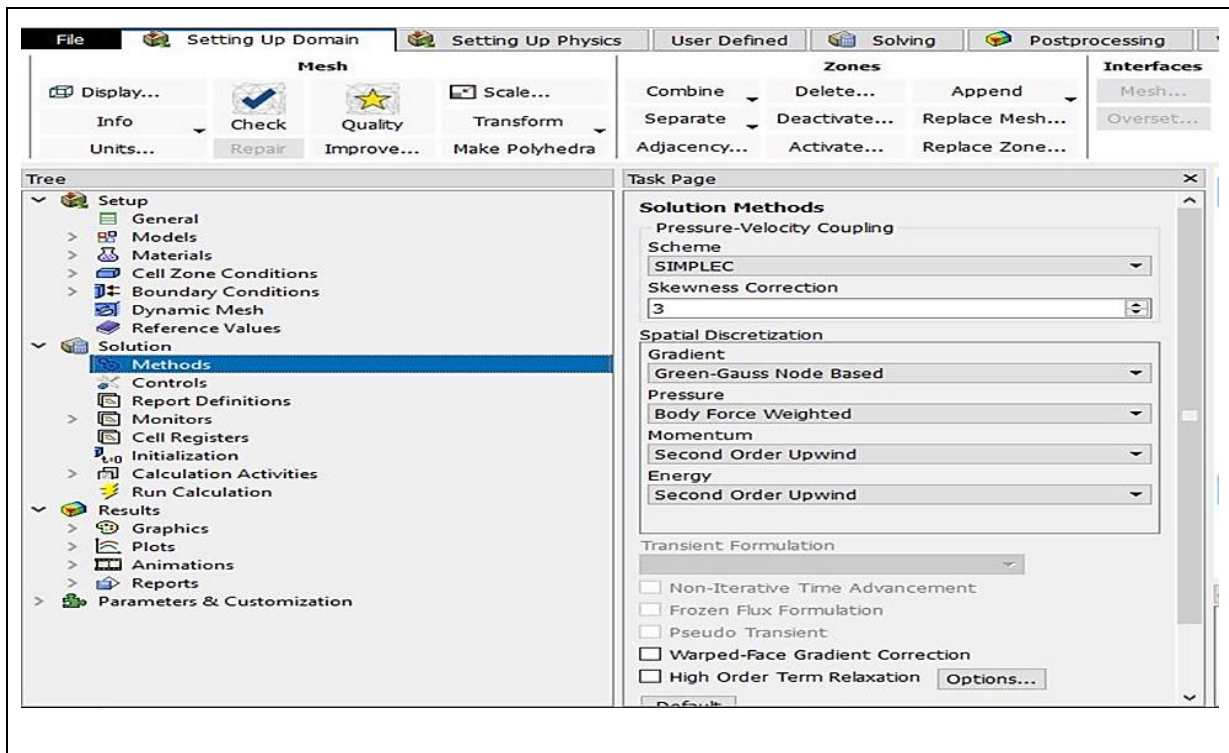


Fig.III.23. Choix des méthodes de résolution

III.4.11. Choix des facteurs de sous-relaxation

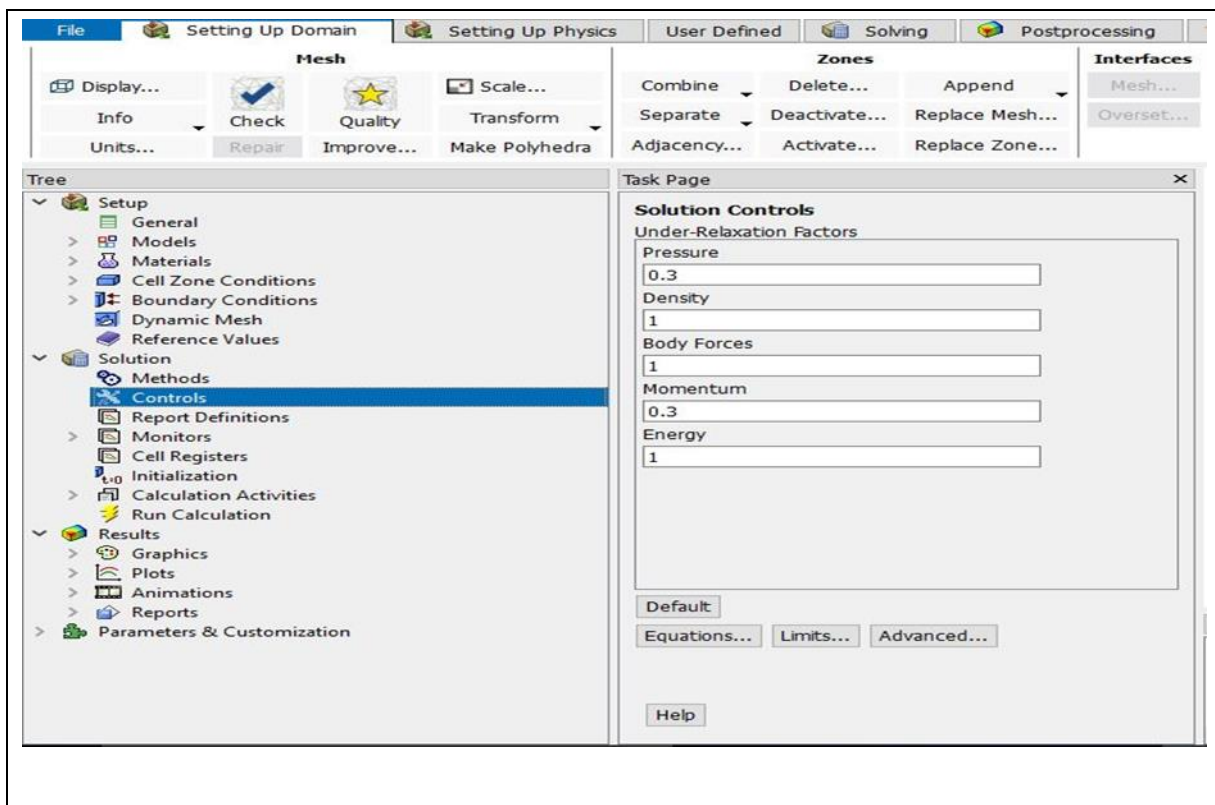


Fig.III.24 Choix des facteurs de sous relaxation

III.4.12. L'initialisation

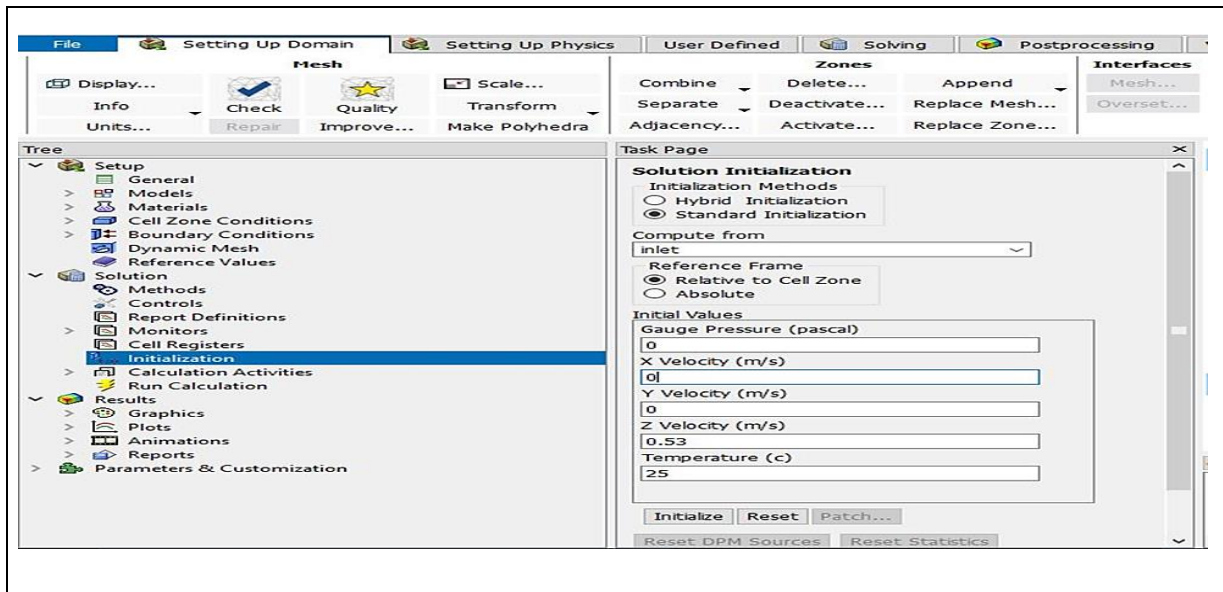


Fig.III.25 L'initialisation

III.4.13. Choix de résiduel

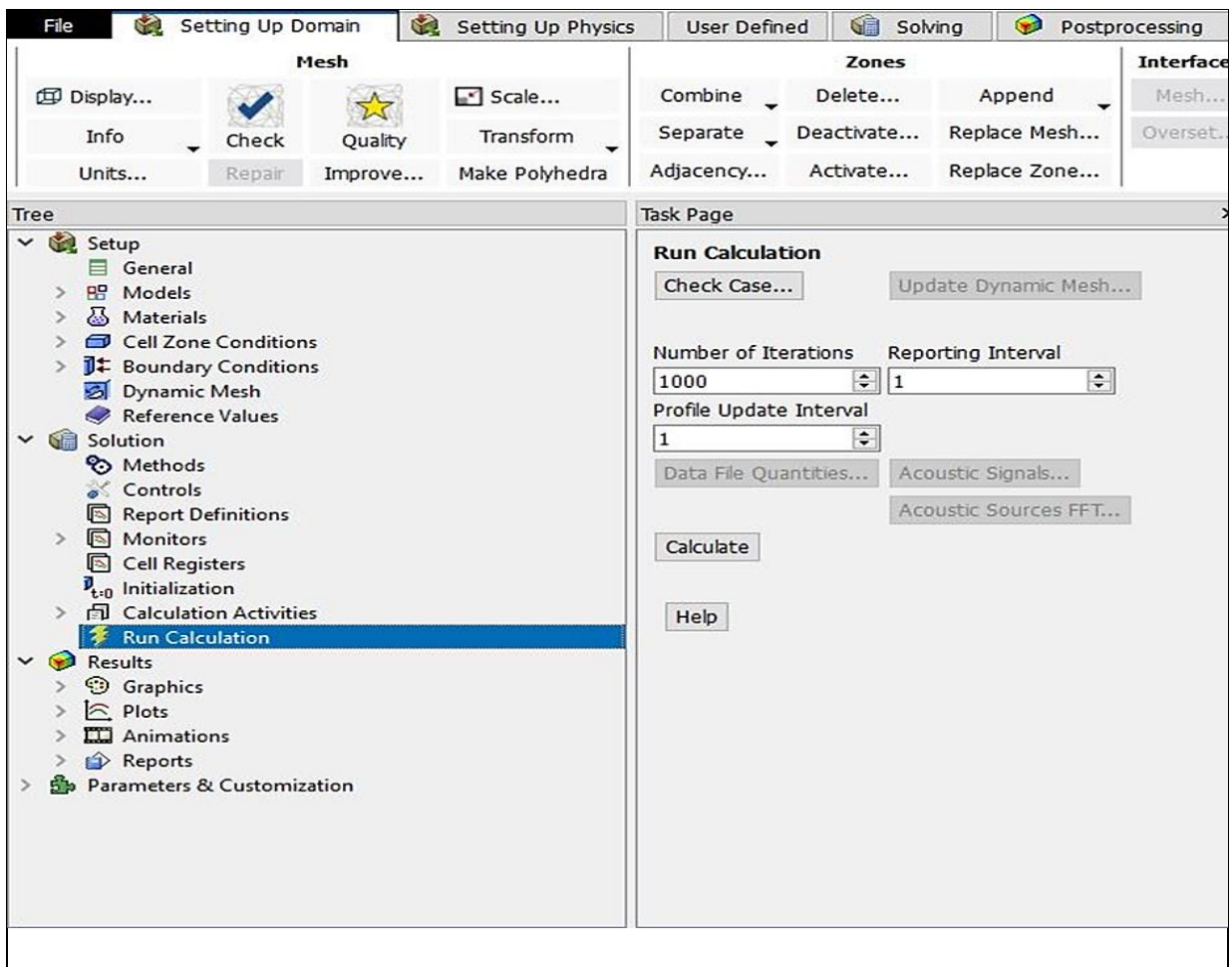


Fig.III.26 Choix de nombre des itérations

III.4.14. Convergence des calculs

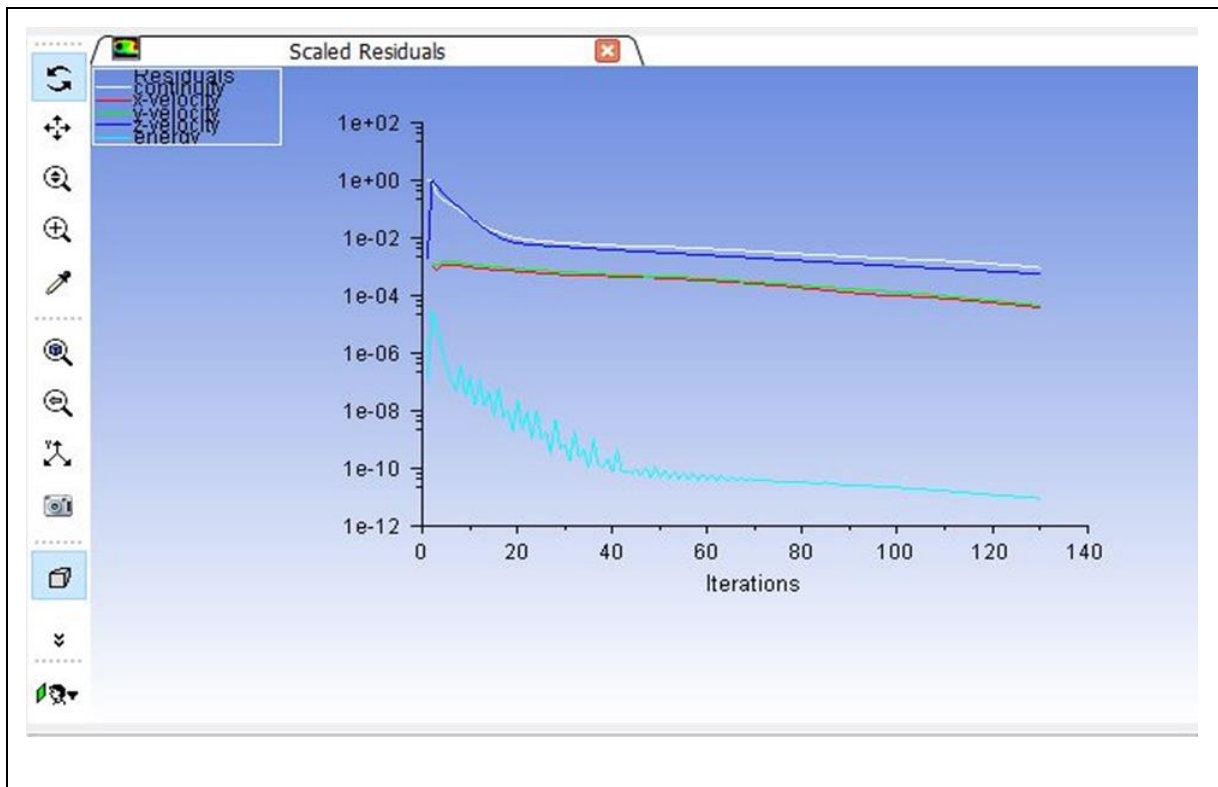


Fig.III.27 Allure des résidues

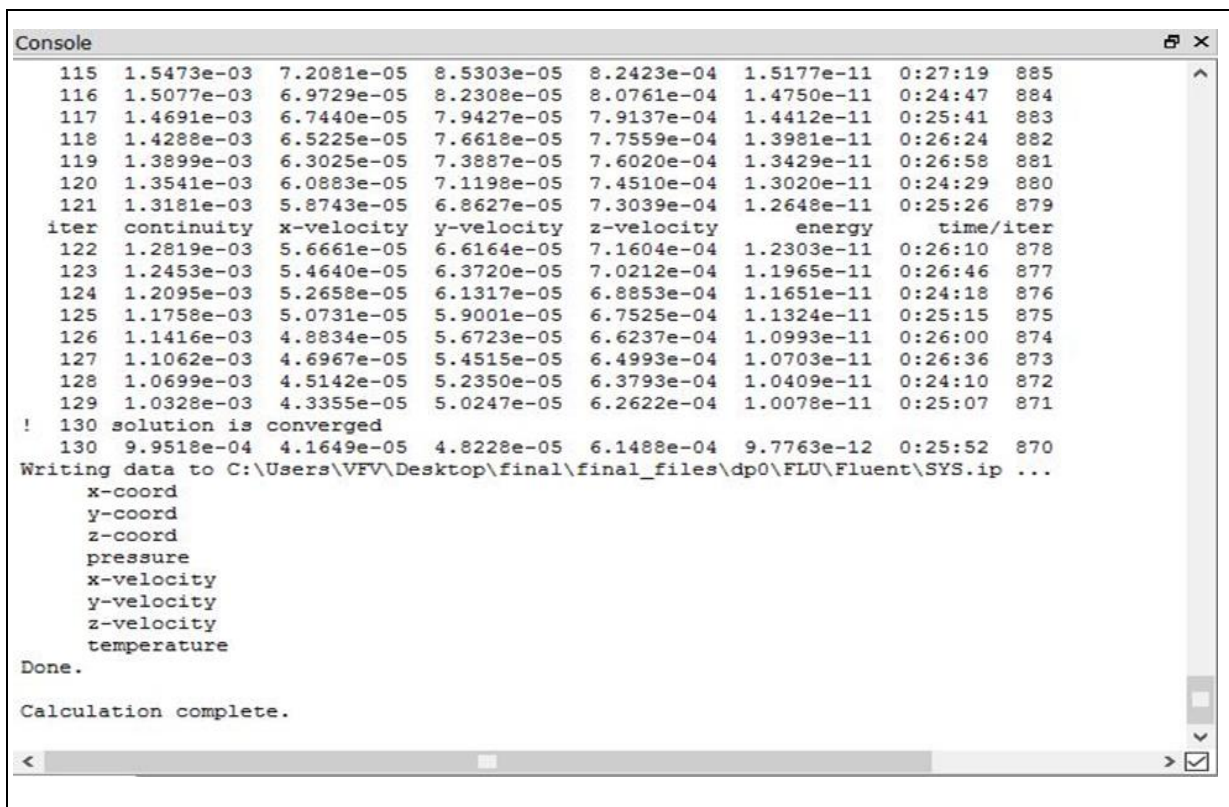


Fig.III.28 Convergence des calculs

III.5. Calcul de la température à la sortie du tube

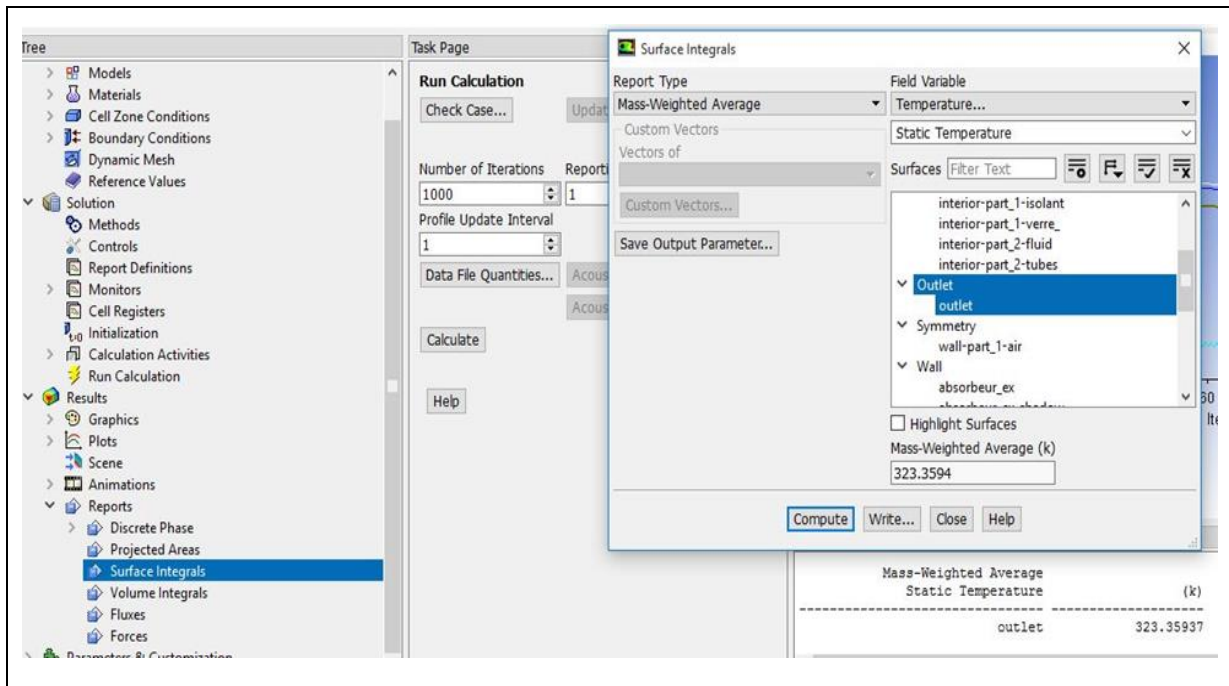


Fig.III.29 Calcul d la température à la sortie

III.6. Calcul de la température moyenne de l'air

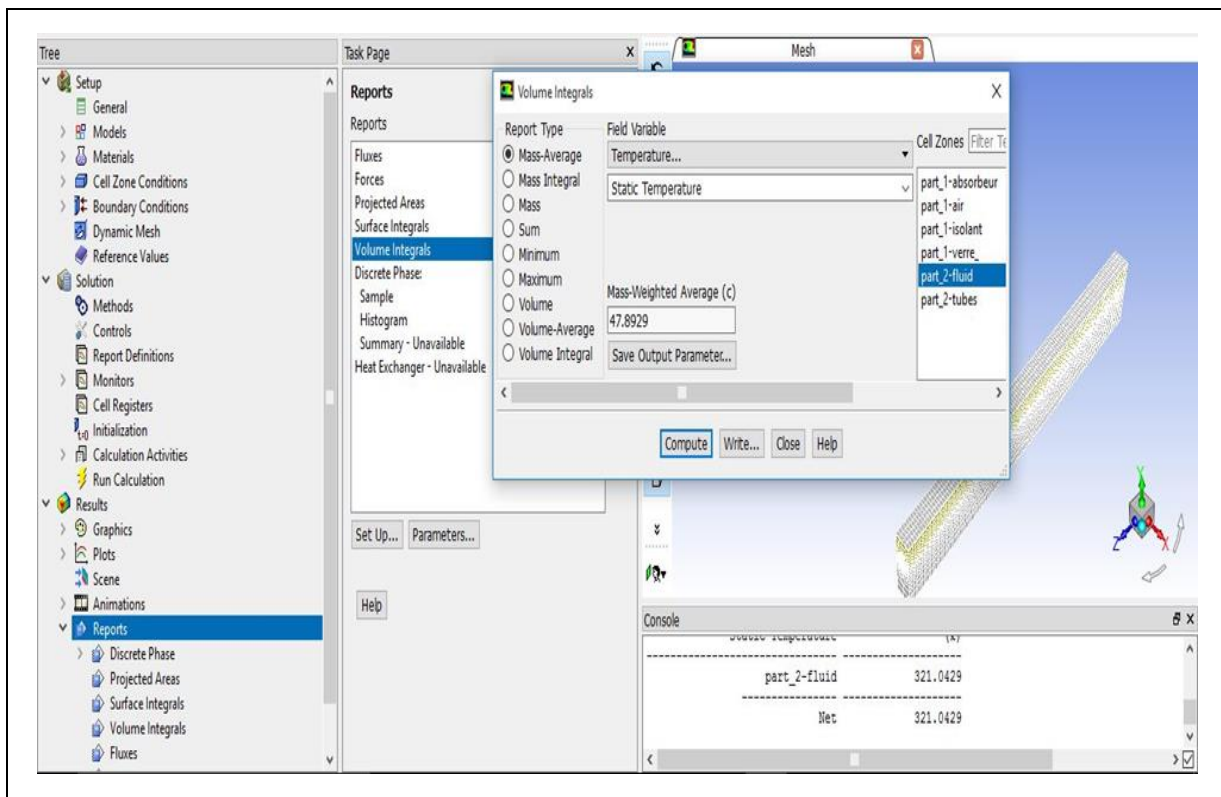


Fig.III.30 Calcul de la température moyenne

III.7 Conclusion :

A travers ce chapitre, nous avons exposé les différents étapes d'utilisation des logiciels de création de la géométrie Solidworks et le maillage de la géométrie et la résolution des équations algébriques issues de système physique en utilisant Ansys Fluent. Les résultats de la simulation sont présentés dans le chapitre suivant.

A decorative border resembling a scroll, with a vertical line on the left and a horizontal line at the top and bottom, all ending in small circular curls at the corners.

Chapitre IV

" Résultats et Discussion"

Chapitre IV

Résultats et Discussions





IV.1. Introduction

Dans cette étude, un modèle mathématique en 3D est appliqué pour décrire l'écoulement dans un capteur solaire plan à air, les équations gouvernantes et les relations constitutives sont déterminées et résolues à l'aide du logiciel Ansys Fluent R1 2018. Toutes les grilles 3D ont été créées avec le logiciel Solidworks 2016 et exportés vers Ansys Fluent R1 2018. Dans ce chapitre, nous présentons les différents résultats obtenus issus de nos simulations numériques relatives à la convection thermique dans les configurations étudiées : capteur solaire plan a air pour 02 cas un tube plein et un tube équipé d'un ruban torsadé.





Nous présentons pour chaque cas, les contours de la température et de vitesse et les vecteurs vitesses ainsi que les lignes de courant en fonction du nombre de Reynolds. Nous terminons ce chapitre par une étude relative au transfert thermique en considérant le coefficient de transfert convectif et le nombre de Nusselt en fonction du nombre de Reynolds.

IV.2. Les paramètres utilisés

IV.2.1. Les propriétés physiques du fluide utilisé (air)

-  Masse volumique : $\rho=1.225 \text{ kg/m}^3$
-  La capacité calorifique : $C_p=1006.43 \text{ J/kg.k}$
-  La conductivité thermique : $\lambda=0.0240 \text{ W/m.K}$
-  La viscosité dynamique : $\mu : 1.7894001 \times 10^{-5} \text{ Kg/m.s}$

IV.2.2. Les propriétés physiques du tube et absorbeur (fabriqué en cuivre)

-  Densité : $D = 8978 \text{ Kg/m}^3$
-  La capacité calorifique : $C_p= 381 \text{ J/kg.k}$
-  La conductivité thermique : $\lambda= 387.6 \text{ W/m.K}$
-  Absorption : 0.9

IV.2.3. Les propriétés physiques de la vitre (en verre)

- ✚ Densité : $D = 2800 \text{ Kg/m}^3$
- ✚ La capacité calorifique : $C_p = 750 \text{ J/kg.k}$
- ✚ La conductivité thermique : $\lambda = 0.7 \text{ W/m.K}$
- ✚ Absorption : 0.1
- ✚ Emissivité : 0.9

IV.2.4. Les propriétés physiques de l'isolant (Laine de verre)

- ✚ Densité : $D = 20 \text{ Kg/m}^3$
- ✚ La capacité calorifique : $C_p = 1030 \text{ J/kg.k}$
- ✚ La conductivité thermique : $\lambda = 0.03 \text{ W/m.K}$

IV.2.5. Les Données de la location

- ✚ Longitude : $4^\circ 14' \text{N}$
- ✚ Latitude : $35^\circ 18' \text{E}$
- ✚ Décalage horaire de 1 heure
- ✚ Pour une date du 20 juin à 13h

IV.3. Résultats et Discussions

IV.3.1. Cas du tube plein

IV.3.1.1. Contours de températures

Les figures (IV.1) à (IV.3) montrent les contours de température dans le capteur solaire à air dans le cas de tube plein pour différent nombre de Reynolds, **Re=400**, **Re=1000**, **Re=1800**. On constate que l'air entre froid dans le tube et sort chaud, à l'entrée la température est minimale et elle augmente progressivement en allant de l'entrée vers la sortie.

On remarque également que la température de l'air diminue en augmentant le nombre de Reynolds. L'accroissement du nombre de Reynolds engendre une augmentation dans la vitesse d'entrée et par conséquent une augmentation du débit massique qui provoque une diminution dans la température. La répartition radiale de la température montre que la température est maximale sur la paroi interne du tube et elle diminue en allant vers le centre.

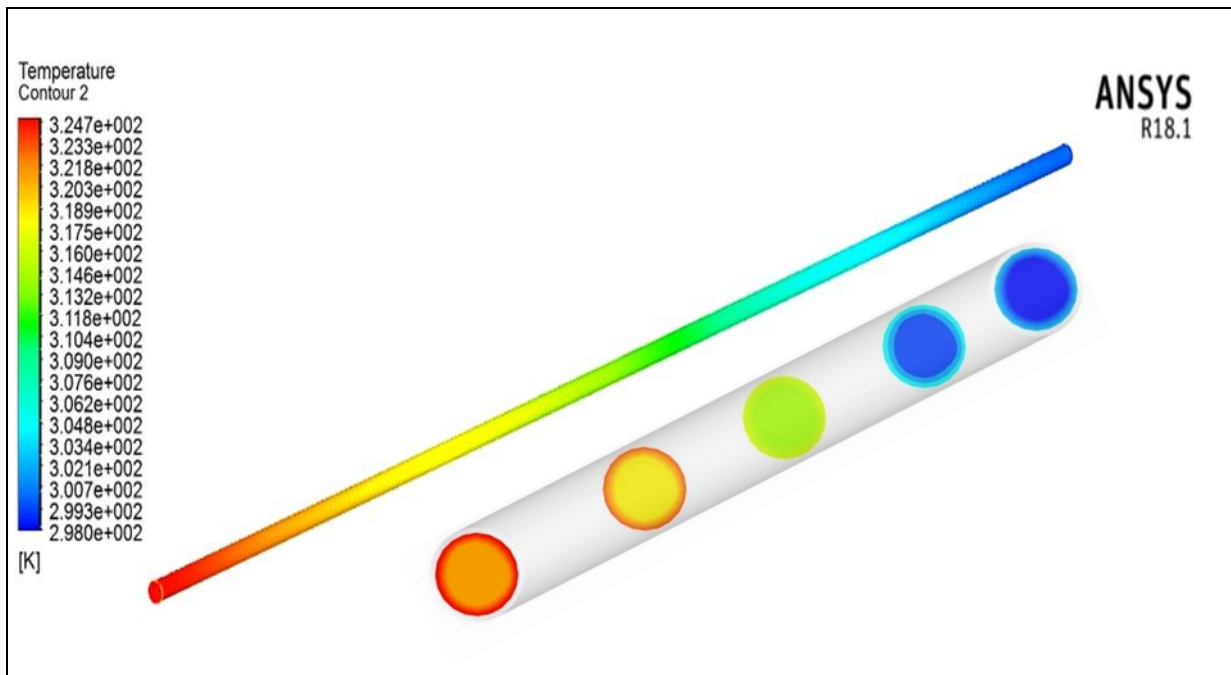


Fig.IV.1. Les contours de la température dans le tube plein pour $Re=400$.

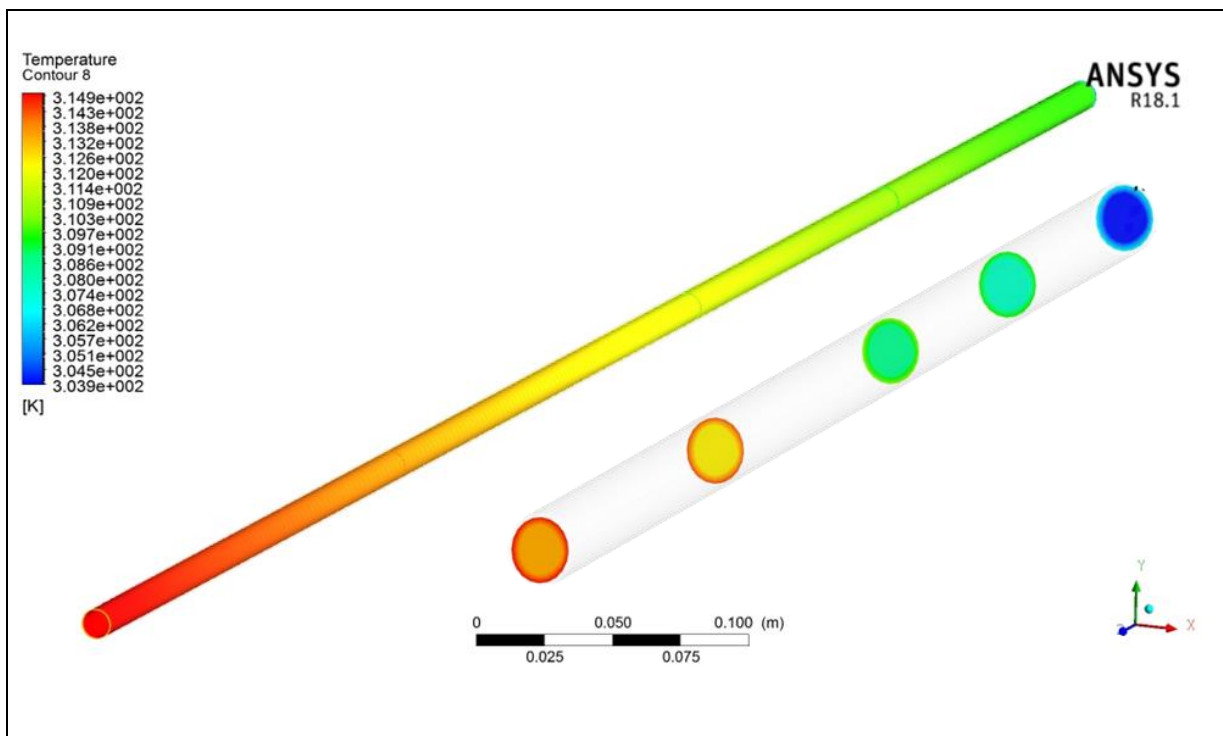


Fig.IV.2. Contour de la température dans le tube plein pour $Re=1000$

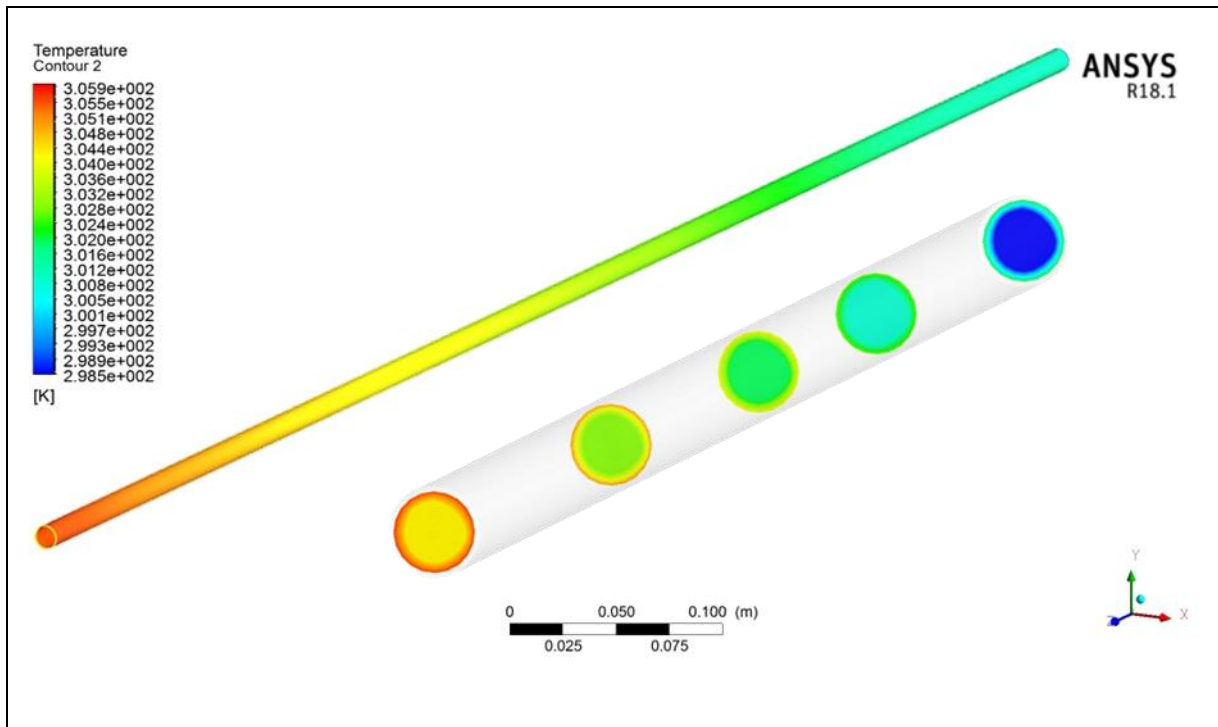


Fig IV.3 Contour de température dans un tube plein pour $Re=1800$

Les performances thermiques du capteur peuvent être aussi déterminées en calculant la variation de la différence de température $\bar{\Delta T}$ entre l'entrée et la sortie du tube. La Figure IV.4 indique la variation de $\Delta T = T_{out} - T_{in}$. En général, les résultats montrent que ΔT diminue avec l'augmentation du nombre de Reynolds.

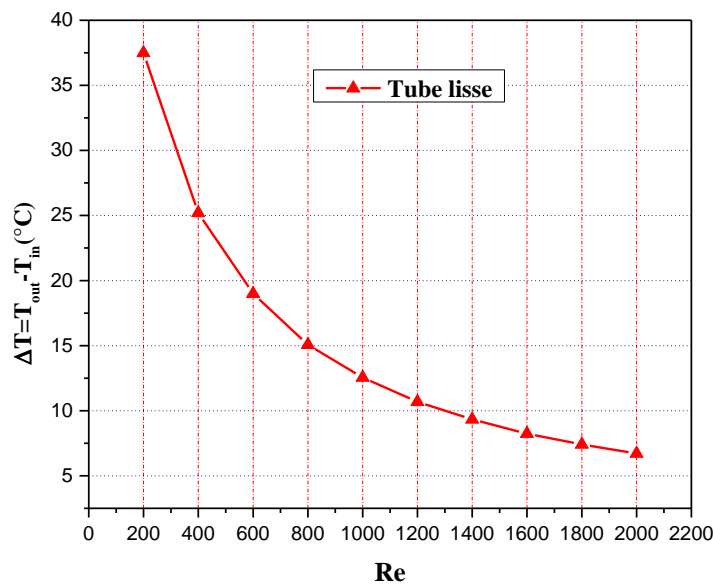


Fig IV.4 Variation de la différence de la température ΔT en fonction de nombre de Reynolds

IV.3.1.2. Vecteurs de vitesse

Les figures (IV.4) à (IV.6) présentent les vecteurs vitesses dans le tube du capteur solaire plan à air avec différents nombres de Reynolds, $Re=400$, $Re=1000$, $Re=1800$.

On constate que la vitesse d'écoulement augmente avec l'augmentation du nombre de Reynolds. Il est clairement observé aussi que les champs dynamiques subissent un profil de vitesse uniforme à l'entrée du tube, tandis qu'ils resteront nulles à travers toute la surface du tube car la condition de non glissement à la paroi est appliqué et augmentent en s'éloignant de la paroi vers le centre pour atteindre des valeurs maximales.

IV.3.1.3. Les lignes de courant

Les Figures (IV.7) à (IV.9) montrent la variation des lignes de courant dans le tube d'un capteur solaire plan pour des différents nombres de Reynolds **$Re=400$, $Re=1000$, $Re=1800$** .

On constate que l'écoulement est sous forme de lignes parallèles (filets fluide) car l'écoulement est laminaire.

Nous pouvons remarquer aussi que les lignes de courant dépendent de la vitesse d'écoulement, l'augmentation du nombre de Reynolds provoque une augmentation de la vitesse d'écoulement et par conséquent un accroissement dans les valeurs des lignes du courant.

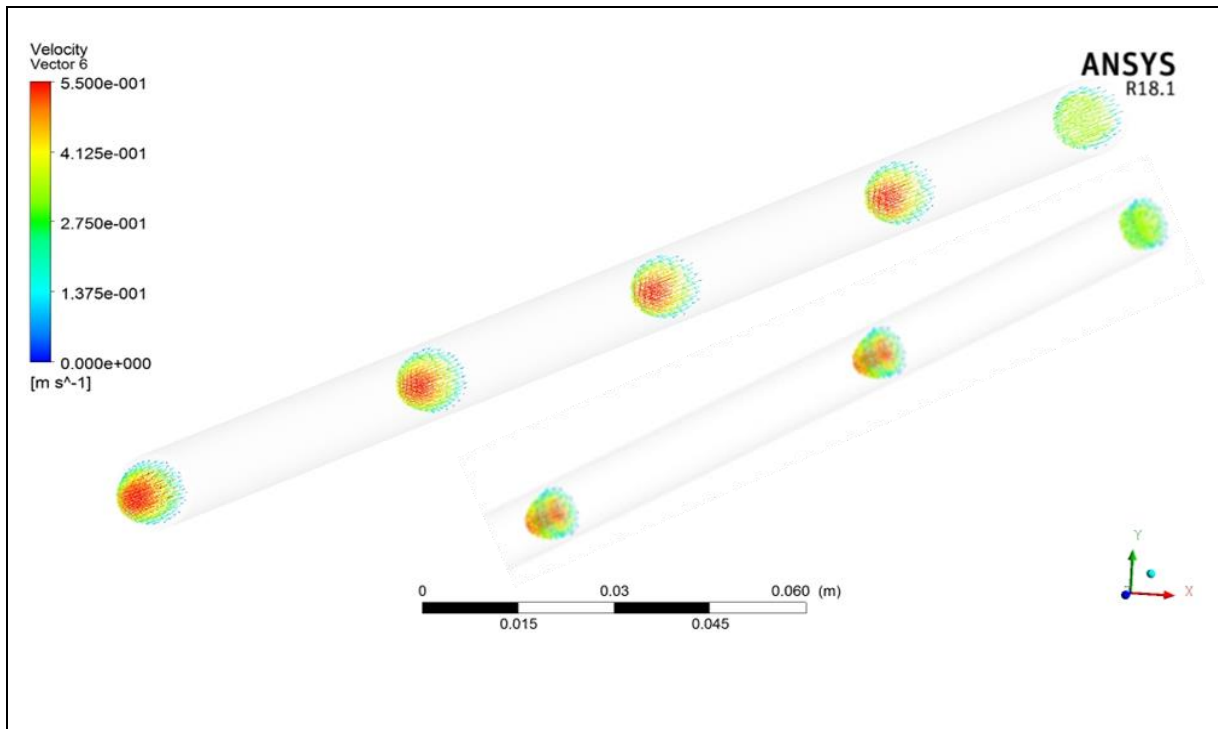


Fig.IV.5. Vecteurs de vitesse pour Re=400

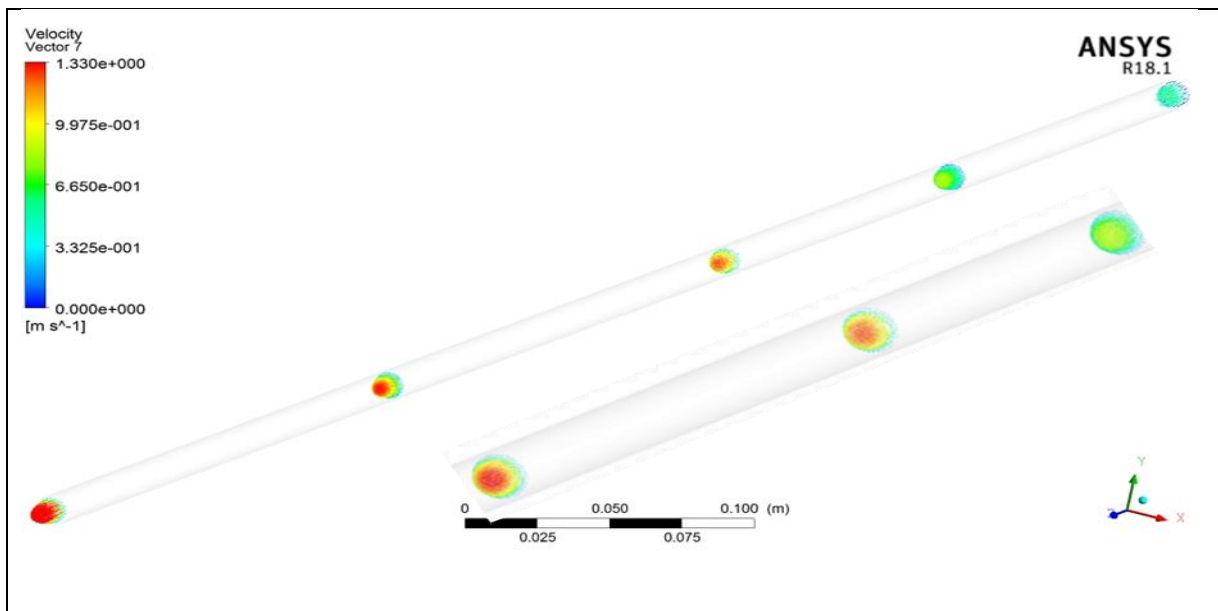


Fig IV.6 Vecteurs de vitesse pour Re=1000

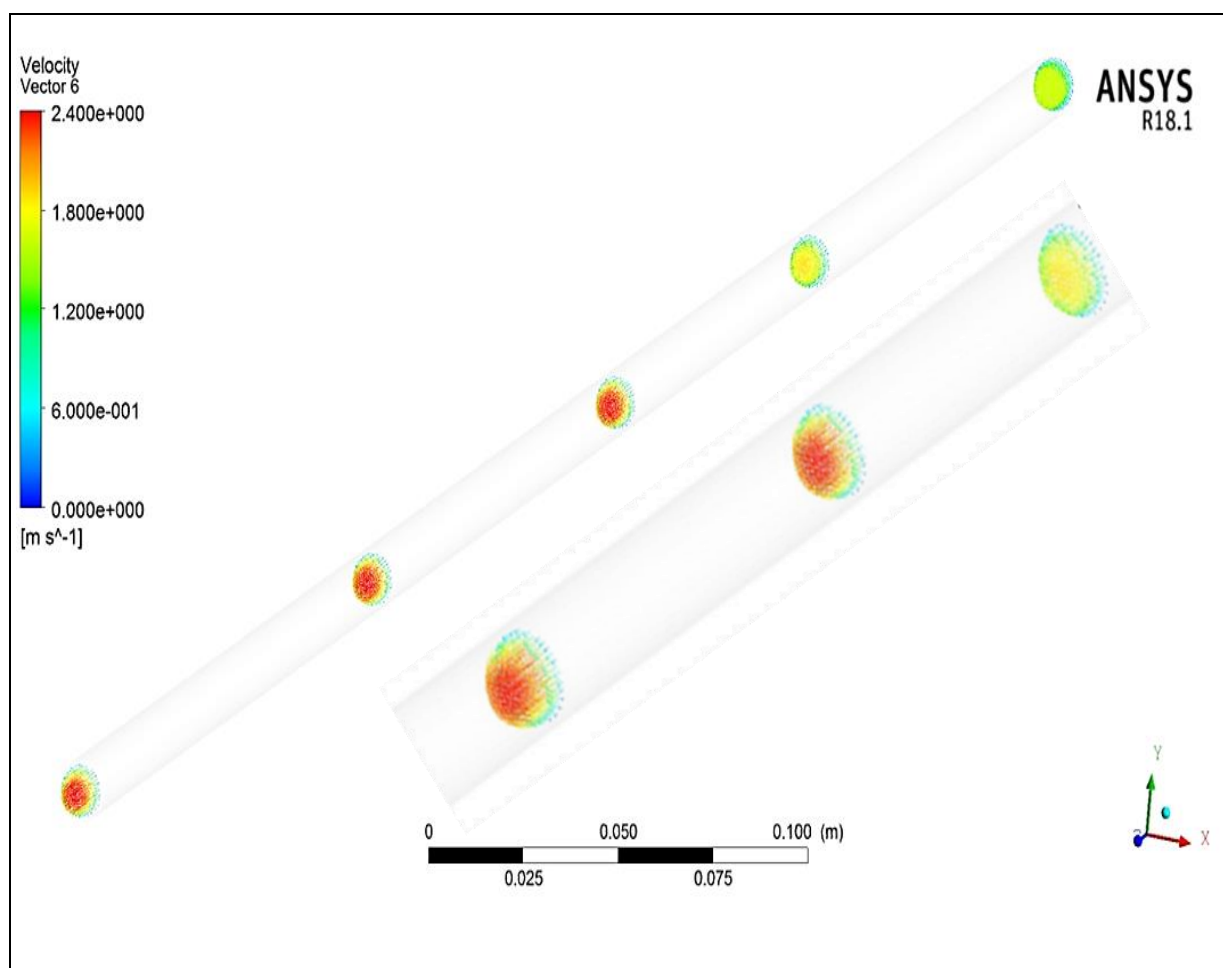


Fig.IV.7. Vecteurs de vitesse pour $Re=1800$

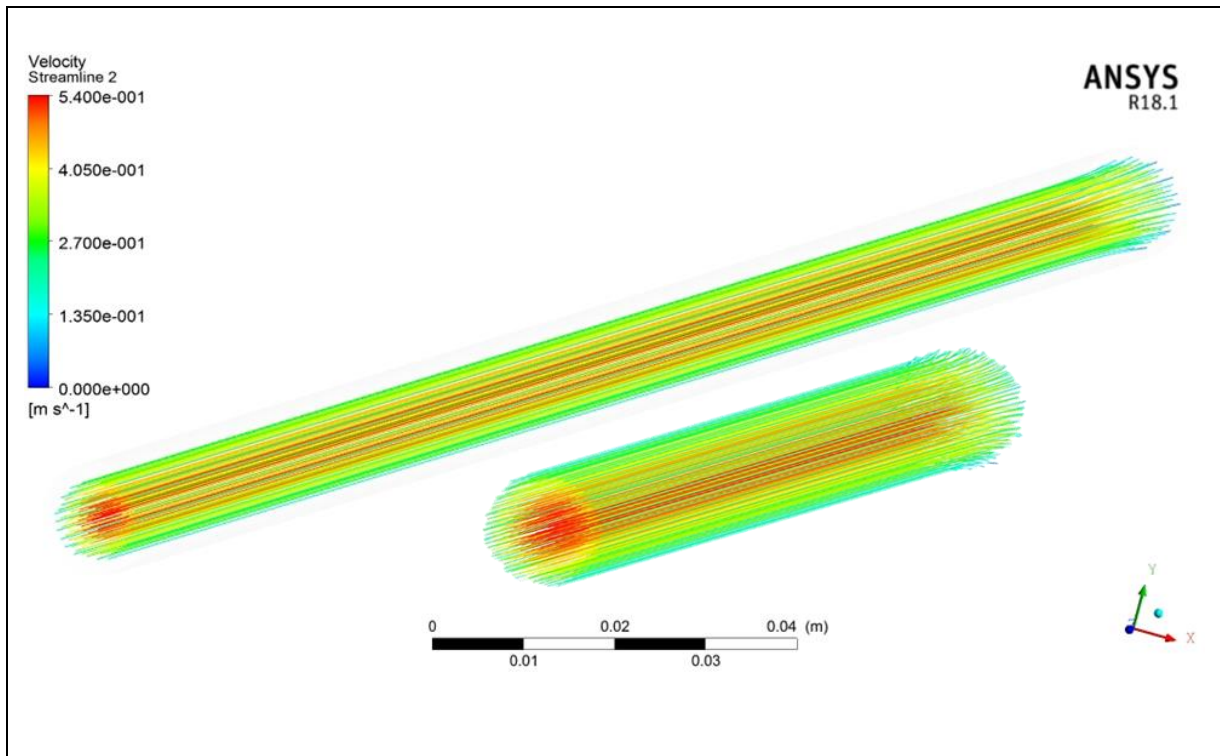


Fig.IV.8. Lignes de courant pour Re=400

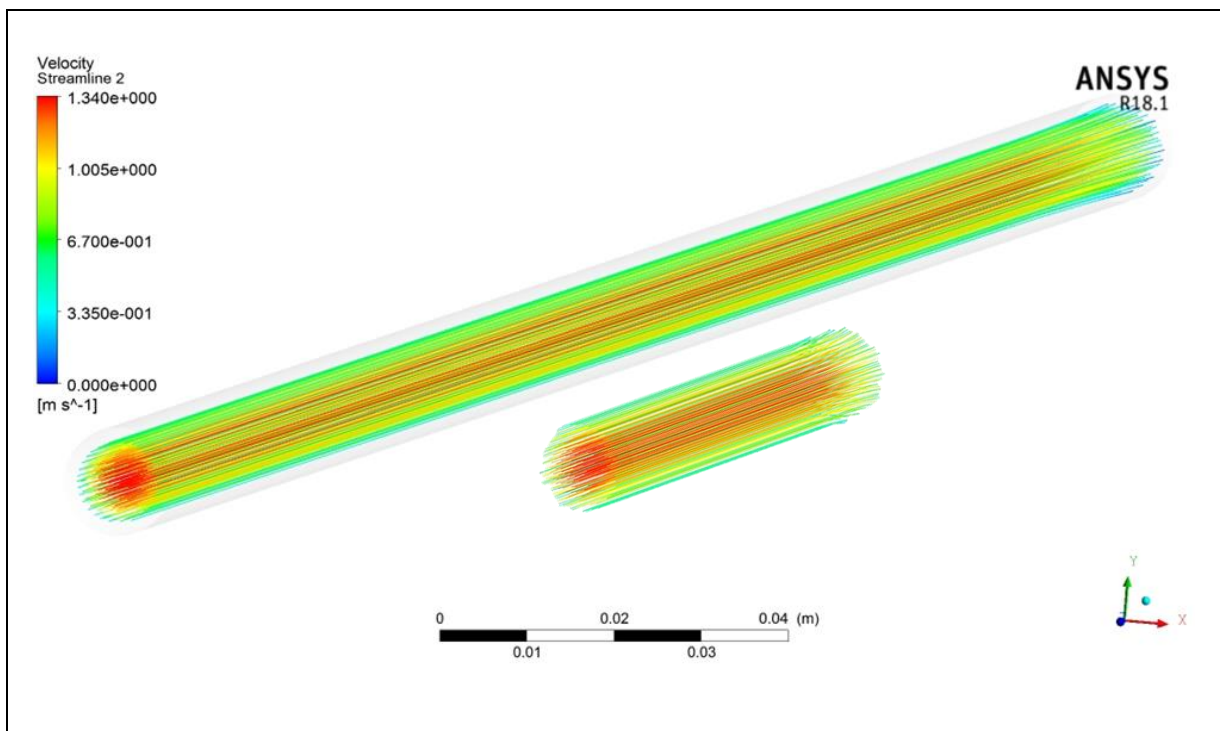


Fig IV.9 Lignes de courant pour Re=1000

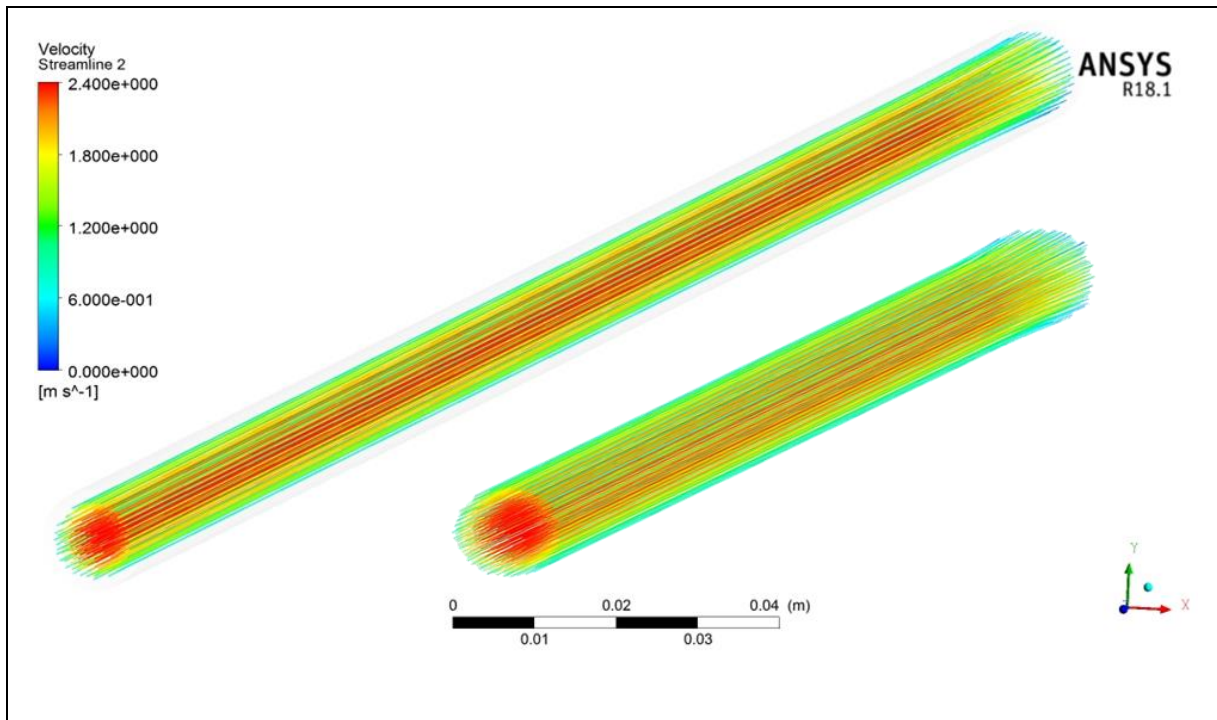


Fig IV.10 Lignes de courant pour $Re=1800$

IV.3.1.4. Variation du nombre de Nusselt et du coefficient de convection h en fonction du nombre du Reynolds

Les figures (IV.11) et (IV.12) montrent respectivement la variation du nombre de Nusselt Nu et le coefficient de convection h en fonction du nombre de Reynolds Re dans le tube d'un capteur solaire plan à air.

On constate que les nombres de Nu et h augmentent avec le nombre de Reynolds car l'augmentation de Reynolds et par conséquent la vitesse d'entrée favorise le transfert convectif entre le fluide et la paroi ce qui provoque une augmentation du coefficient de convection et du nombre de Nusselt.

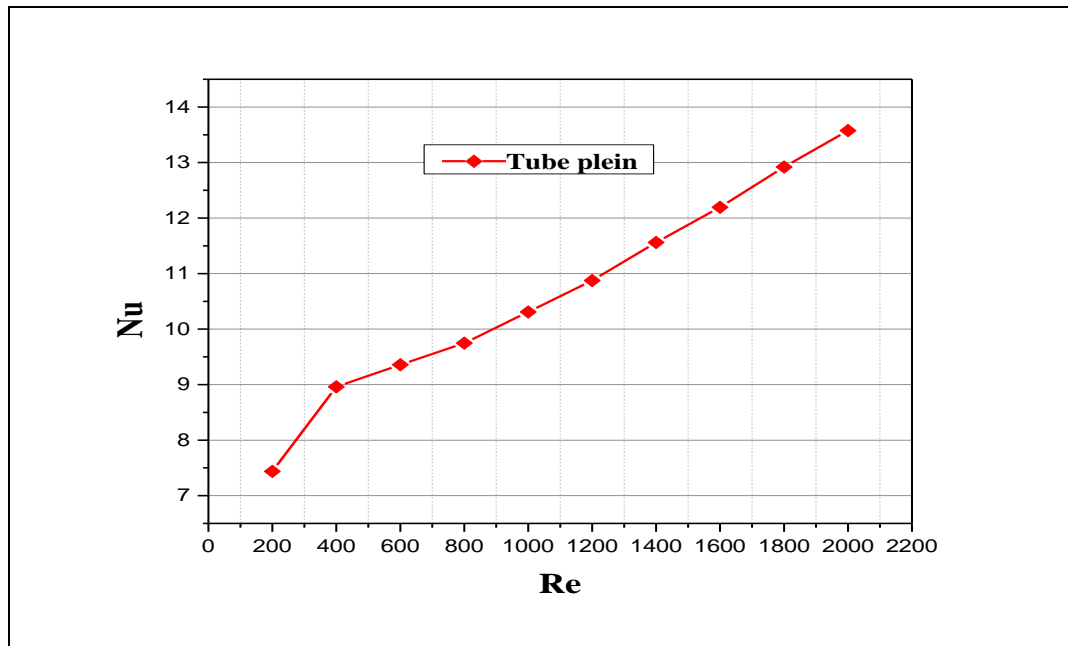


Fig.IV.11. Variation de Nu en fonction de Re

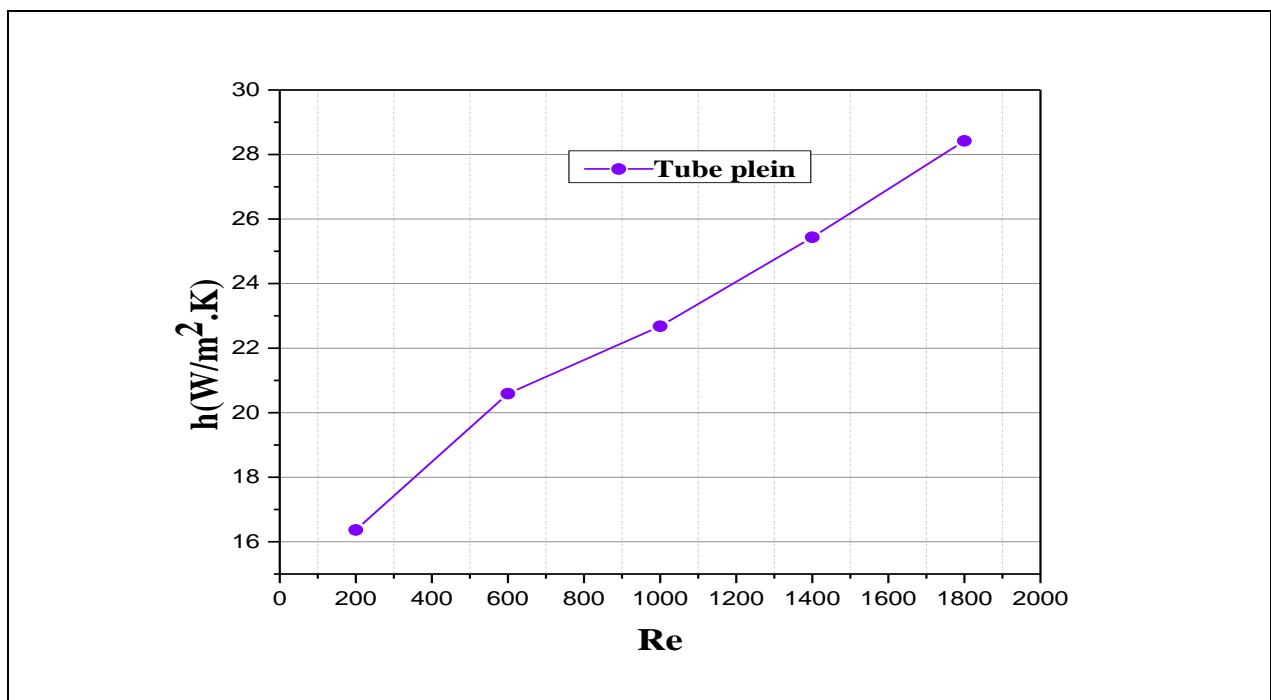


Fig.IV.12. Variation du coefficient de convection h en fonction de Re

IV.3.2. Cas d'un tube équipé d'un ruban torsadé

IV.3.2.1. Contours de température

Les Figures (IV.13) à (IV.15) montrent les contours de température dans le capteur solaire plan à air dans le cas d'un tube équipé d'un ruban torsadé pour un rapport de torsion $\delta=4$, pour trois valeurs du nombre de Reynolds **Re=400**, **Re=1000**, **Re=1800**.

On remarque que la température de l'air diminue en augmentant le nombre de Reynolds. L'accroissement du nombre de Reynolds engendre une augmentation dans la vitesse d'entrée et par conséquent une augmentation du débit massique qui provoque une diminution dans la température. On constate aussi que la température du fluide augmente progressivement en allant de l'entrée vers la sortie pour atteindre une valeur maximale à la sortie de tube.

On peut noter aussi une augmentation de la température de sortie de l'air dans le tube à ruban torsadé par rapport au tube plein. L'ajout du ruban torsadé provoque une augmentation de la surface d'échange et favorise le mélange du fluide et par conséquent une amélioration du transfert convectif.

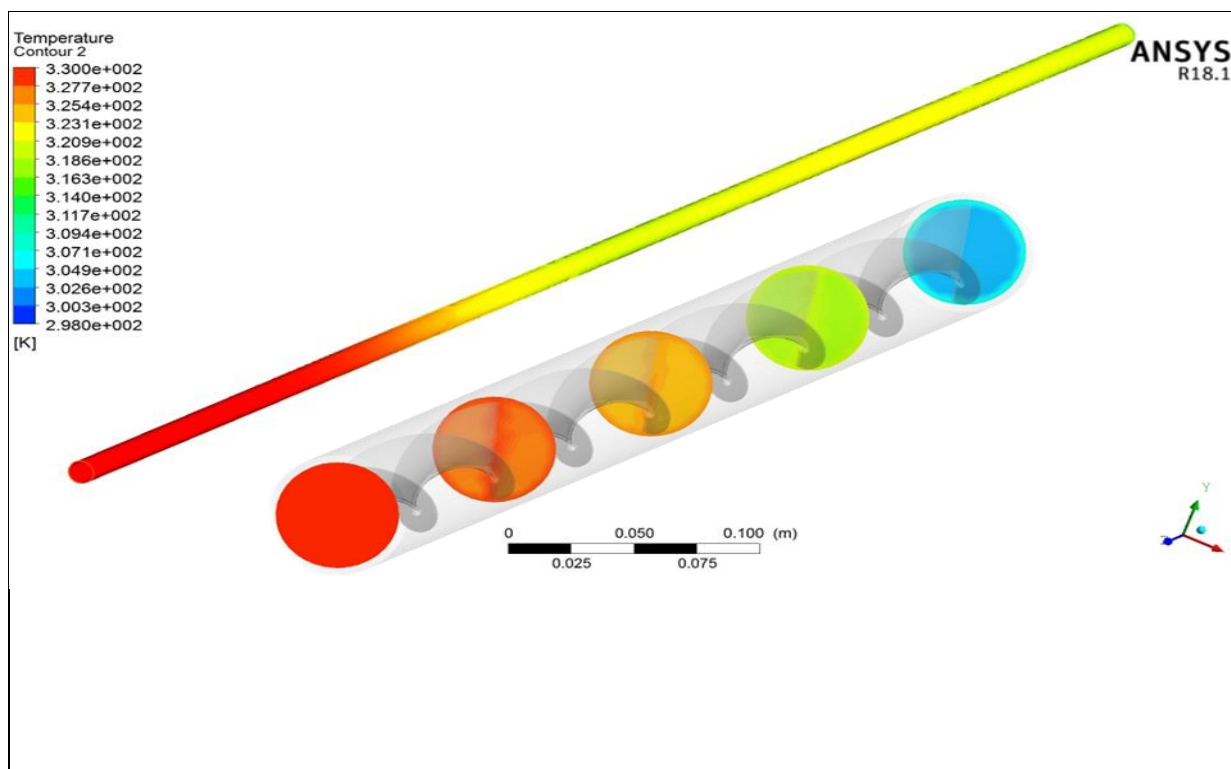


Fig.IV.13. Contour de température Re=400

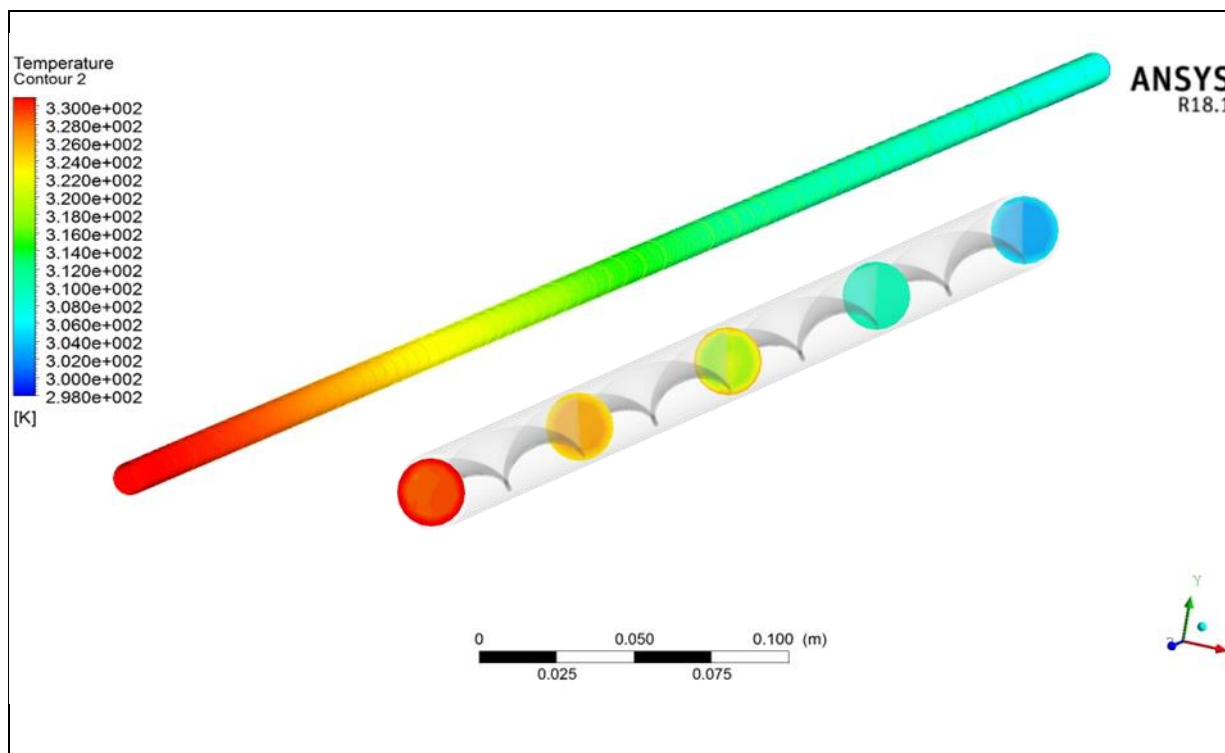


Fig.IV.14. Contour de température Re=1000

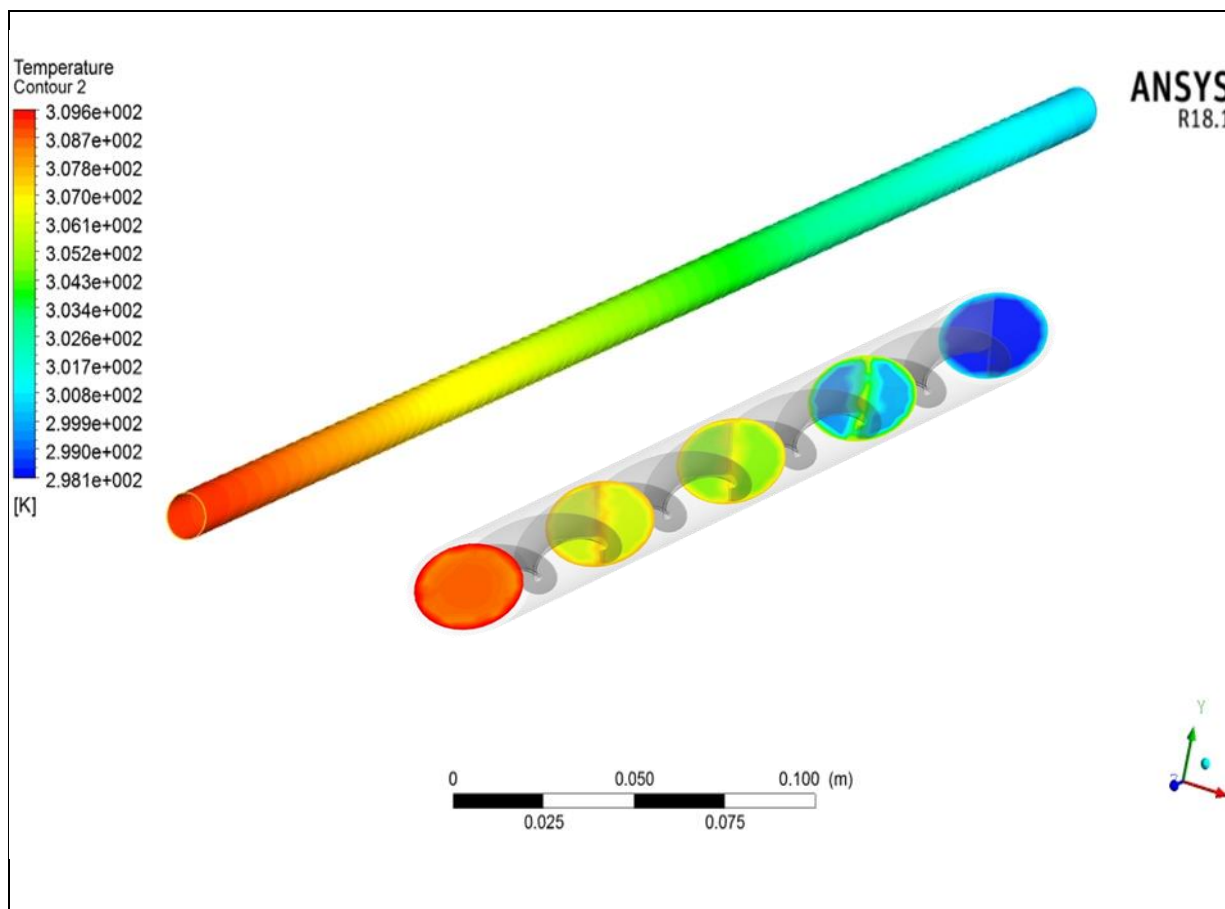


Fig.IV.15. Contour de température Re=1800

La Figure IV.16 indique une comparaison de la variation de $\Delta T = T_{\text{out}} - T_{\text{in}}$ de tube plein et le tube à ruban torsadé. Les résultats montrent que ΔT diminue avec l'augmentation du nombre de Reynolds. La différence de température dans le tube à ruban est supérieure à celle du tube plein ce qui prouve l'amélioration du transfert de chaleur convectif en ajoutant le ruban torsadé.

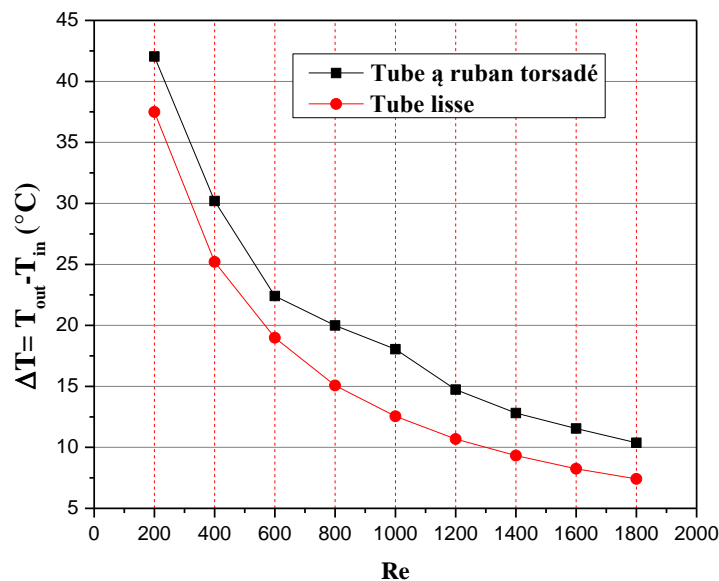


Fig IV.16 La différence de températures dans les deux cas en fonction de Re

IV.3.2.2. Vecteur de vitesse

Les Figures (IV.15) à (IV.17) présentent les vecteurs vitesses dans le capteur solaire plan à air dans le tube équipé d'un ruban torsadé avec un rapport de torsion de $\delta=4$ pour trois valeurs de Reynolds **Re=400, Re=1000, Re=1800**.

On remarque que la présence du ruban torsadé dans le tube provoque une perturbation dans l'écoulement et le mélange du fluide du fluide augmente et par conséquent un accroissement de la vitesse d'écoulement.

On peut aussi noter aussi que la vitesse est minimale près de la paroi du tube et la surface du ruban torsadé et augmente en s'éloignant de ces deux parois pour atteindre de valeurs maximales dans l'espace entre la paroi du tube et la surface du ruban torsadé.

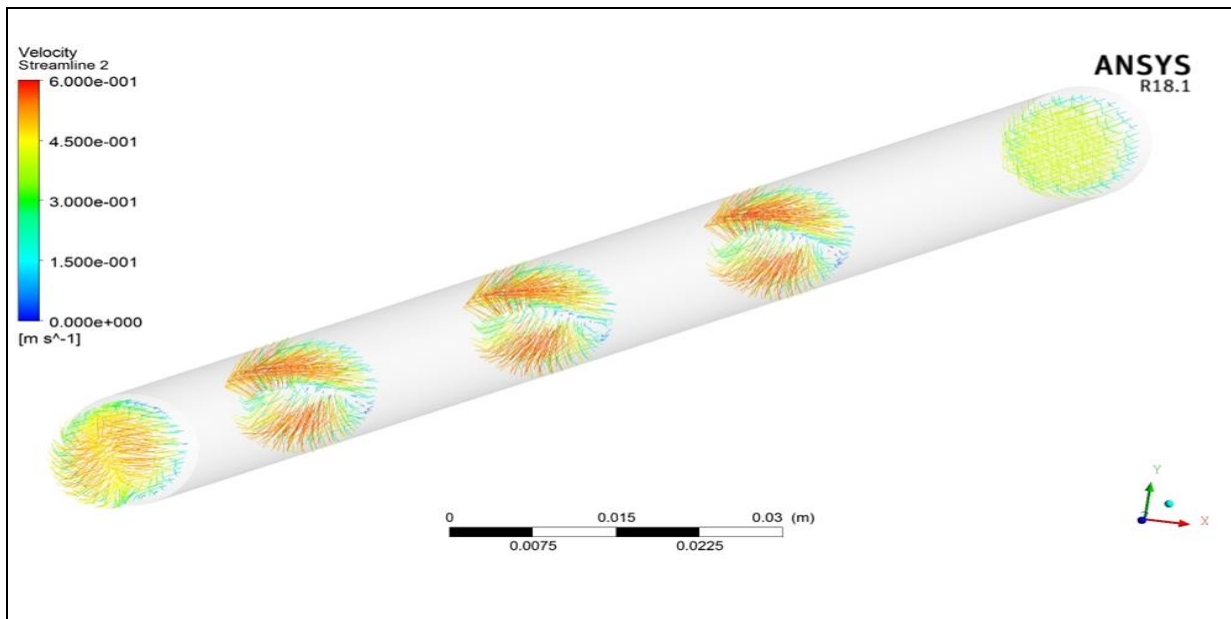


Fig.IV.17. Vecteur de vitesse pour Re=400

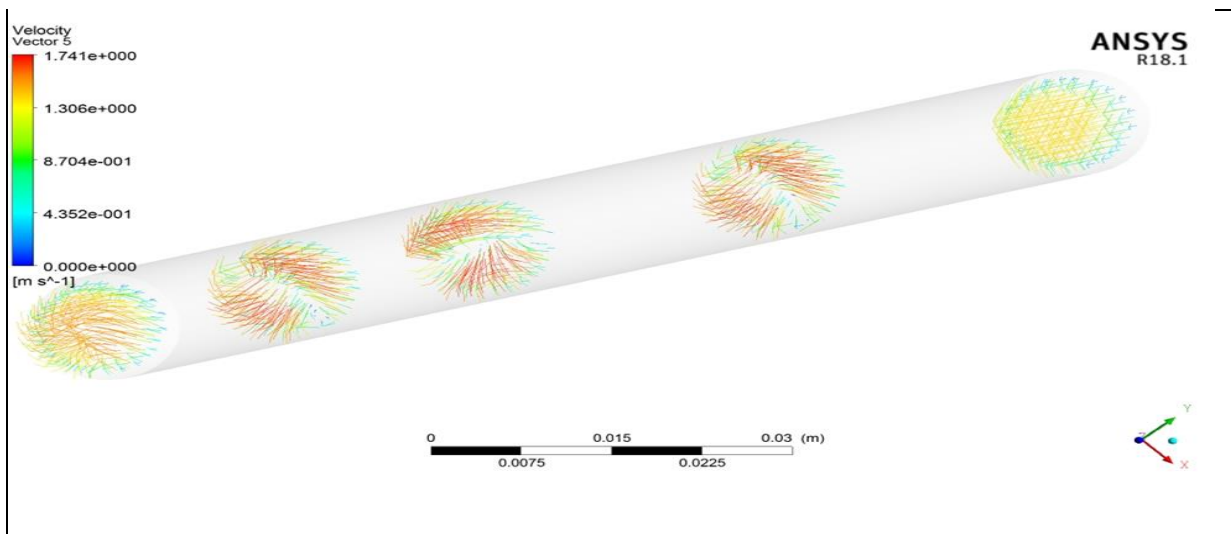


Fig.IV.18. Vecteur de vitesse pour Re=1000

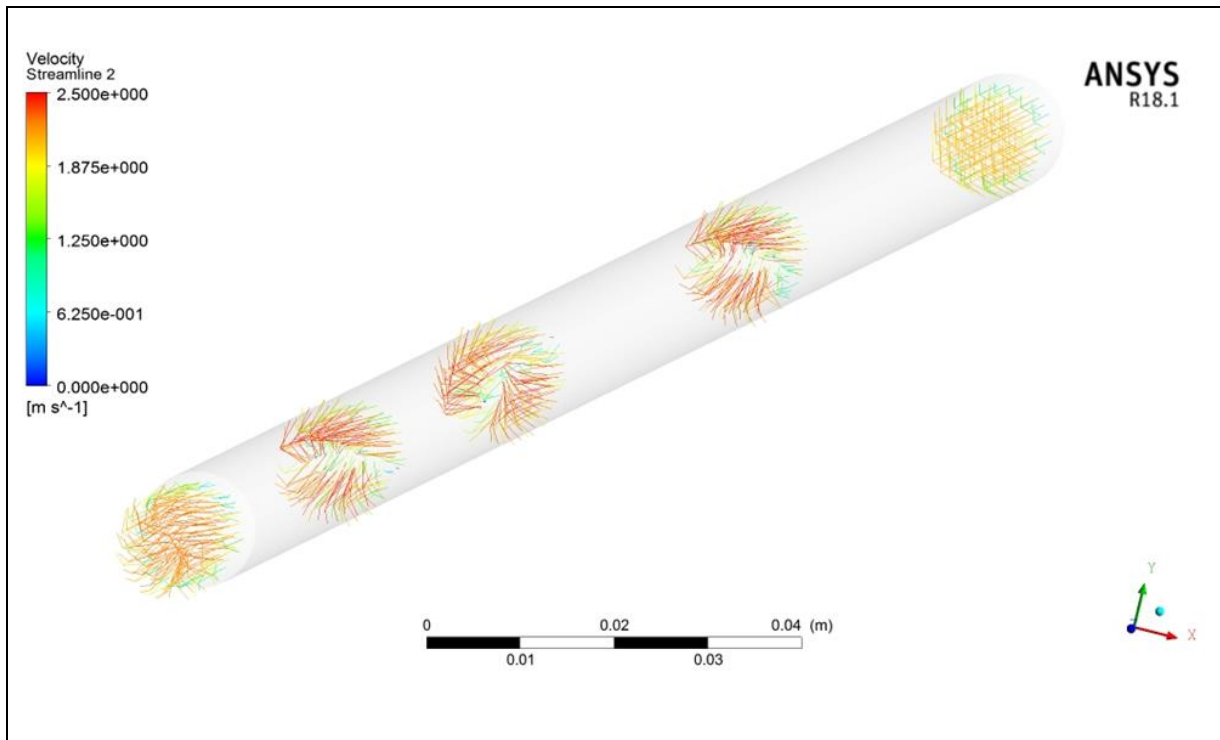


Fig.IV.19. Vecteur de vitesse pour $Re=1800$

IV.3.2.3. Lignes de courant

Les Figures (IV.20) à (IV.22) montrent la variation des lignes dans un capteur solaire plan dans le tube équipé avec un ruban torsadé avec un rapport de torsion de $\delta=4$ pour différentes valeurs de Reynolds **$Re=400$, $Re=1000$, $Re=1800$** .

Nous pouvons remarquer que l'augmentation du nombre de Reynolds provoque une augmentation de la vitesse d'écoulement et cela cause un accroissement dans les valeurs des lignes du courant.

On peut noter aussi que les lignes de courant suivent la surface du ruban torsadé ce qui provoque une rotation du fluide autour du ruban torsadé et par conséquent un bon mélange de l'air.

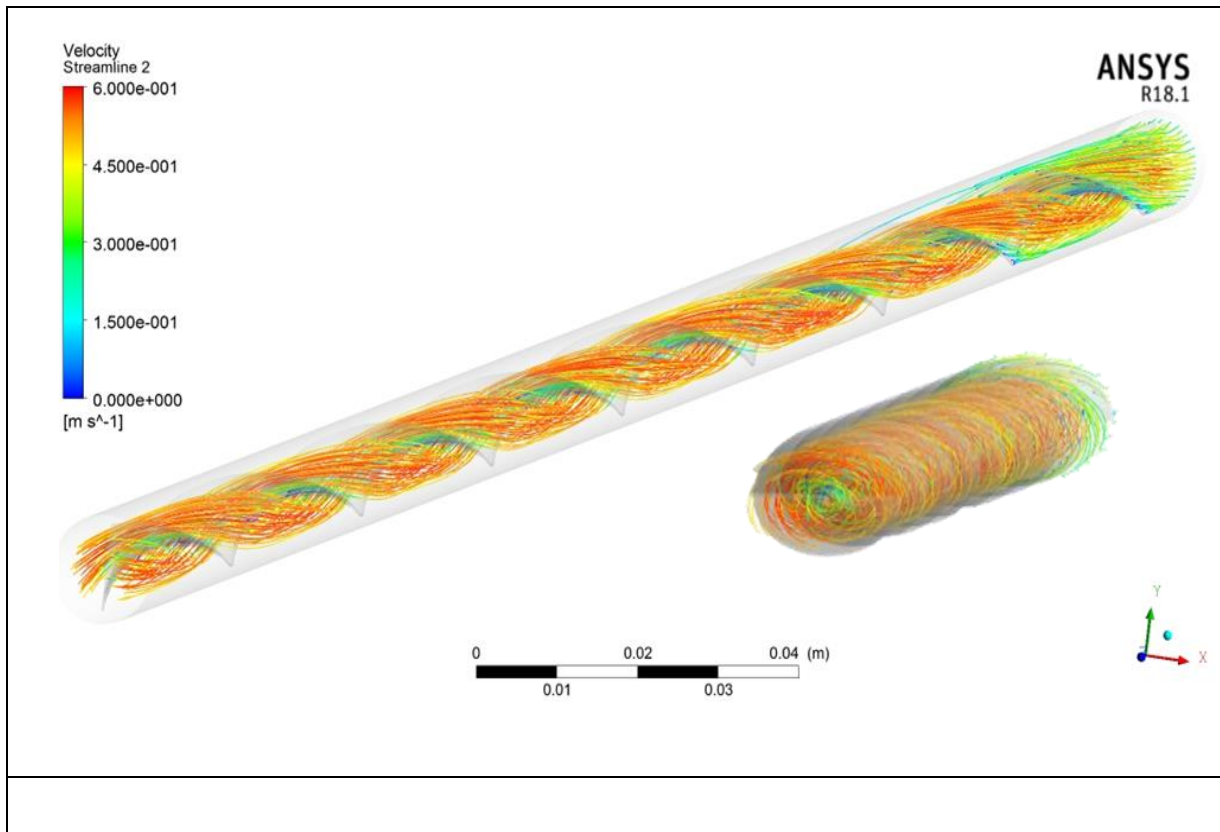


Fig.IV.20. Lignes de courant pour Re=400

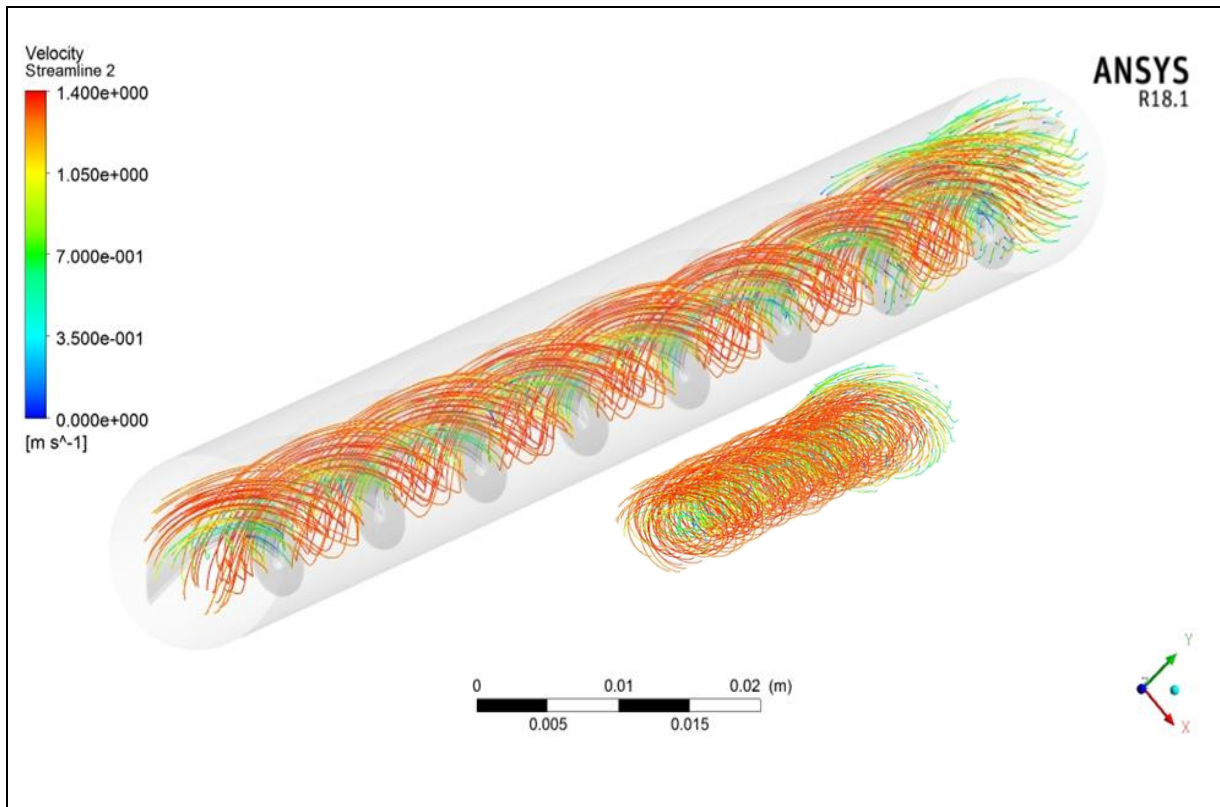


Fig.IV.21. Lignes de courant pour Re=1000

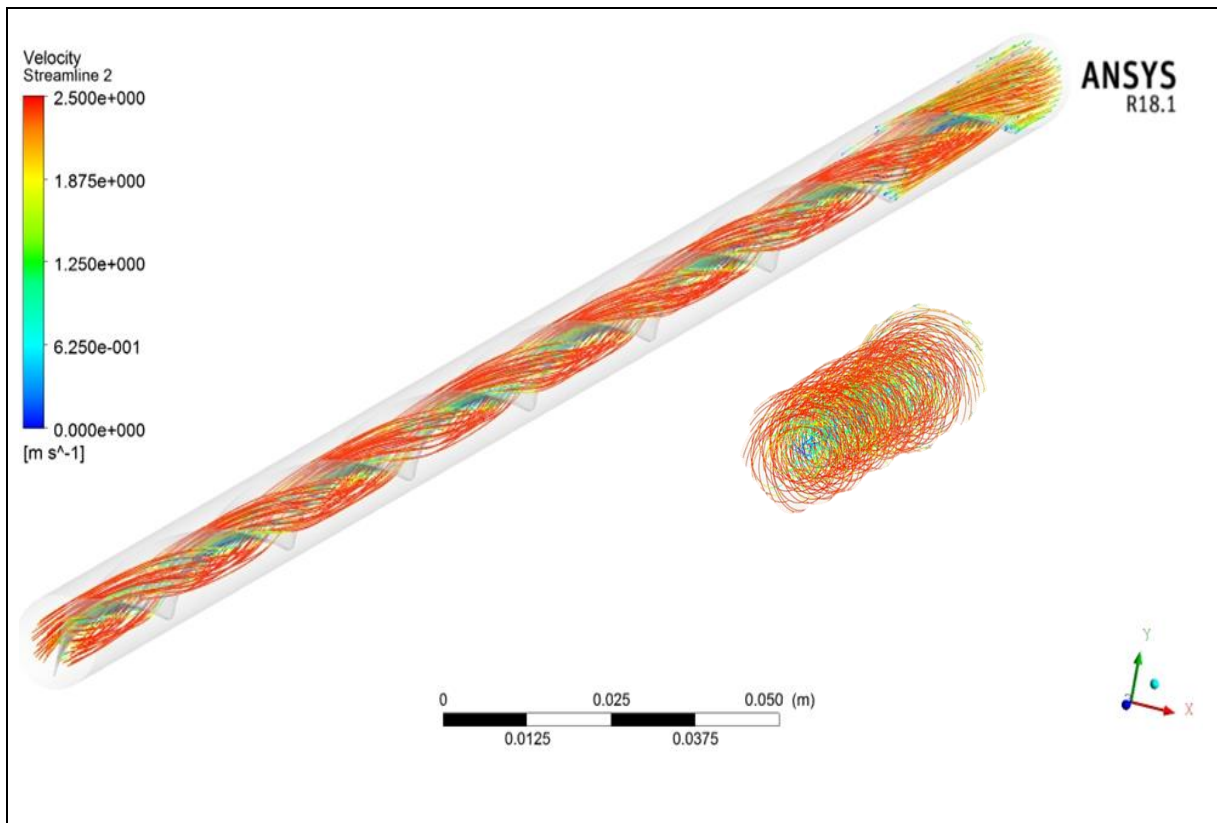


Fig.IV.22. Lignes de courant pour $Re=1800$

IV.3.2.4. Variation du coefficient de convection h et le nombre de Nusselt en fonction du nombre de Reynolds

Les figures (IV.23) et (IV.24) montrent respectivement la comparaison de la variation du nombre de Nusselt Nu et le coefficient de convection h en fonction du nombre de Reynolds Re dans le tube plein et un tube à ruban torsdé.

On constate une amélioration du nombre de Nusselt et le coefficient h dans le tube à ruban torsdé par rapport au tube plein, l'ajout du ruban torsdé dans le tube provoque une augmentation de la surface d'échange et le mélange du fluide et par conséquent améliore le transfert de chaleur convectif.

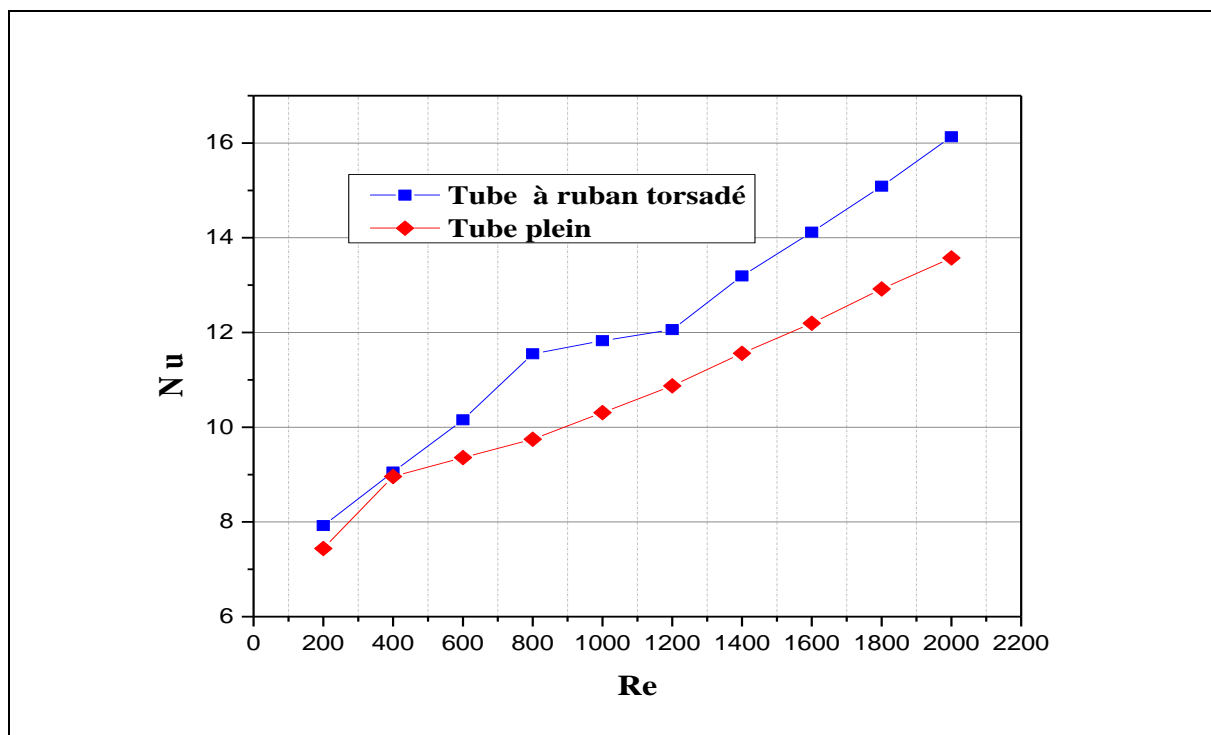


Fig.IV.23. Variation du Nu en fonction de Re

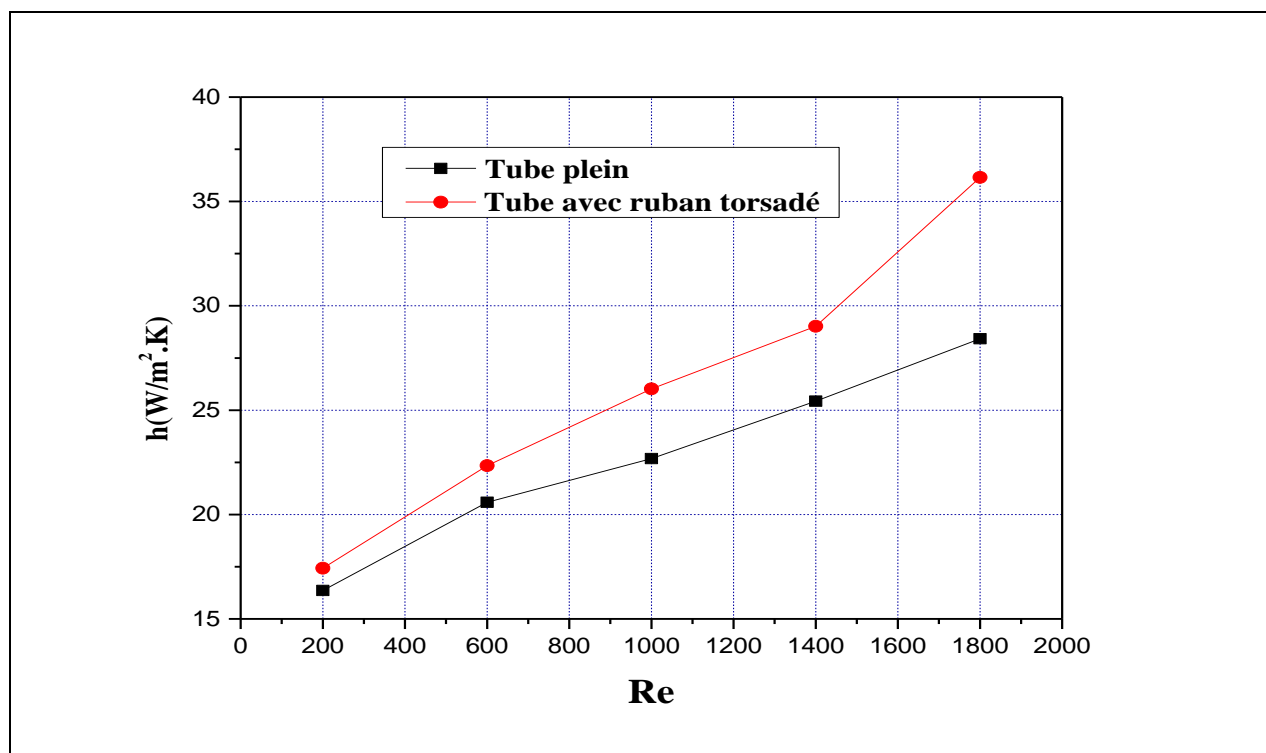


Fig.IV.24. Variation du coefficient de convection h en fonction de Re .

IV.4. Conclusion

Une étude numérique a été réalisée pour étudier un écoulement laminaire avec transfert de chaleur un capteur solaire plan a air pour le cas d'un tube plein et le cas d'un tube équipé d'un ruban torsadé avec un rapport de torsion $\delta=4$ et des valeurs de Reynolds de $Re= 200$ à 2000 .

On peut conclure que l'utilisation d'un ruban torsadé donne un nombre de Nusselt supérieur à celui d'un tube plein et par conséquent améliore le transfert convectif.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Dans ce travail, nous avons simulé numériquement les performances thermique et hydrodynamique d'un écoulement dans un capteur solaire plan à air dans deux cas : le premier cas le collecteur est un tube plein et le deuxième cas est un tube équipé d'un ruban torsadé en régime laminaire et stationnaire pour différents nombres de Reynolds.

Les équations régissant notre problème physique sont les équations de continuité, de quantité de mouvement, couplées à l'équation de l'énergie. La méthode choisie pour la résolution de ces équations est la méthode des volumes finis adoptée par le code commercialisé **Ansys Fluent R1 2018**

Toutes les configurations en 3D ont été créées et mailler en utilisant le logiciel **Solidworks 2016** et exportées vers **Ansys Fluent R1 2018**. La configuration étudiée dans le deuxième cas est exactement la même que l'initiale, seulement on a ajouté un ruban torsadé à l'intérieur du tube plein avec un rapport de torsion $\delta=4$.

Des simulations numériques ont été effectuées pour des nombres de Reynolds qui varie entre 200 et 2000 pour les deux cas étudiés,

Les conclusions tirées de ces résultats peuvent être résumées comme suit ;

-La température de sortie dans le tube a ruban torsadé est meilleure à celle du tube plein et cette température diminue en augmentant le nombre de Reynolds.

-Le nombre de Nusselt dans le tube a ruban torsadé est supérieur à celui du tube plein et il diminue avec l'augmentation de Re.

A la fin de notre étude on peut conclure que l'ajout d'un ruban torsadé dans le collecteur d'un capteur plan a donné une grande amélioration dans les performances thermiques du capteur solaire.

Références bibliographiques

[1] Dr. SALMI Mohamed "Polycopie de cours LE GISEMENT SOLAIRE", Physique Energétique, Septembre 2015

[2] Benatiallah Djelloul, Benatiallah A, Bouchouicha K. et al., (2016), "Development and Modeling of a Geographic Information System solar flux in Adrar, Algeria", International Journal of System Modeling and Simulation, vol.1: 15-19.

[3] <https://www.timeanddate.com/astronomy/horizontal-coordinate-system.html>

[4] Dr. LAAMA Chahinez "Note de cours Licence 3 –Aquaculture pisciculture Système d'Information Géographique (SIG) Cartographie, SIG" Département d'écologie et environnement 2020-2021

[5] AKERMI Mustapha "Modélisation, simulation et analyse du comportement d'un capteur solaire plan à eau pour différents sites en ALGERIE" Mémoire de Doctorat , Energies Renouvelables 2019

[6] https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89quation_du_temps

[7] CHIBI Zahra, "Effet du refroidissement sur les performances des panneaux PV", Mémoire de Master, génie thermique et énergie renouvelable 2016

[8] TABET Ismail "Étude, Réalisation et simulation d'un capteur solaire", Mémoire de Doctorat, PHYSIQUE ÉNERGETIQUE 2016

[9] <https://unit-e.fr/nos-energies/energie-photovoltaique/>

[10] Y. Tripanagnostopoulos & al, 2000 : Low cost improvements to building integrated air cooled hybrid PV-Thermal systems, Proc. 16th Europ. PV Solar Energy Conf. Glasgow, U.K. 1-5 May, Vol II pp. 1874–1899.

[11] U.Eiker. Solar technologies for buildings, John Wiley and Sons, England. (2001).

Les Centrales Solaires à Concentration «Université de Liège Faculté des sciences appliquées Mai 2007 Quoilin Sylvain Ingénieur Civil Electromécanicien/Energéticien

[12] K.BAADACHE, C. BOUGRIOU "ÉTUDE NUMÉRIQUE TRIDIMENSIONNELLE DES CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES DU TUBE ABSORBEUR D'UN CAPTEUR SOLAIRE CYLINDRO-PARABOLIQUE "

Références bibliographiques

- [13] New CSP yield assessment manual: Institute of Solar Research started joint project with german industry and research partners , *24 November 2014* .
- [14] K.YOUCEF“Etude comparative entre deux capteurs solaires Capteur cylindro-parabolique et capteur plan““ Mémoire de Master, physique énergétique 2013/2014
- [15] Syndicat des énergies renouvelables “Principe de fonctionnement du solaire thermodynamique“ .juine 2012
- [16] http://fr.solarpedia.net/wiki/index.php?title=Capteur_solaire_plan
- [17] <https://www.guide-panneaux-photovoltaïques.be/technologies/chauffe-eau-solaire/>
- [18]El BagorKhawla, “Transfert De Chaleur De L'écoulement D'un Nanofluide Dans Le Tube D'un Panneau Photovoltaïque H“Ybride“,Mémoire de Master ,MécaniqueEnergétique , 2020/2021
- [19] <https://www.meteolafleche.com/Energies/utilisations-directes-energie-solaire.bak>
- [20] ABABSA Dalila “Optimisation Du Rendement D'un Capteur Solaire Par Minimisation Des Pertes Convectives“ Mémoire de MAGISTERE , Physique Energétique 2009/2010
- [21]A. Brahimi, “Etude de performances d'un capteur solaire plan à eau ‘Mémoire de Master, Mécanique Energétique, 2016.
- [22] Mohamad Hassan Akhras “FATIGUE CRACK GROWTH RESISTANCE OF POLYPROPYLENE AND GLASS FIBER REINFORCED POLYAMIDE IN CHLORINATED WATER WITH VARYING CLORINE CONTENTS“ Mémoire de Master , Management in Polymer Technologies 2017
- [23] J. Bernard. Energie solaire calculs et optimisation, Ellipse Edition Marketing. (2004).
- [24] S. Saadi. Effet des paramètres opérationnels sur les performances d'un capteur solaire plan.
- [25] H.Mezhoura “Etude comparative de la performance d'un capteur solaire cylindro-parabolique à stockage d'énergie avec et sans vitrage “ Mémoire de Master, Mécanique Froid, Chauffage et Climatisation 2018/2019
- [26] Mohamed MOGHARBI , Daoud HALASSA “ Conception et réalisation d'un capteur solaire plan à air“ Mémoire de Master, Energétique 2010/2011
- [27] S. Krouma, O. Torki. Calcul de transfert de masse et de chaleur dans un fluide en écoulement dans une conduite à 90°, Projet d'ingénieur, Université de Biskra (2003).
- [28] N. Errien, livre, Transfert thermique, Faculté des Sciences. Département de Physique. Université du Maine.

Références bibliographiques

[29] Mathieu Deschamps, Anouk Noël “Puissance d’échange thermique par convection “Cégep de Sherbrooke 2020

[30] S. Bories, M. Prat, Transferts de chaleur dans les milieux poreux. Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse.

[31] S. Hicham. Etude numérique de la convection naturelle dans les enceintes: Nanofluide. Thèse doctorat. (2015).

ملخص

لقد درسنا في هذه المذكرة التدفق ونقل الحرارة لمجمع شمسي مسطح في حالة وجود أنبوب وأنبوب مزود بشريط ملتوي، يتم حل المعادلات الحاكمة من خلال طريقة الحجم المحدودة التي اعتمدها برنامج Ansys 2018.

تم إنشاء الهندسة المدروسة باستخدام برامج Solidworks 2016 وتم تصديرها إلى Ansys. تم إجراء عمليات محاكاة لأرقام رينولدز المختلفة ونسبة التواء للشريط. تظهر النتائج أن درجة الحرارة في حالة الشريط أفضل من درجة حرارة الأنبوب الأملس بسبب الاضطراب وعدد Nusselt والحد الأقصى أيضاً في حالة الشريط الملتوي ويزداد نسبياً مع عدد Reynolds.

Résumé

Dans ce mémoire nous avons étudié l'écoulement et le transfert de chaleur dans un capteur solaire plan à air dans le cas d'un tube plein et un tube équipé d'un ruban torsadé, les équations gouvernantes sont résolues par la méthode des volumes finis adopté par le logiciel Ansys fluent 2018. Les géométries étudiées ont été créées en utilisant le logiciel Solidworks2016 et exportées vers Ansys fluent 2018.

Des simulations ont été effectuées pour différent nombre de Reynolds et un rapport de torsion du ruban $\delta=4$. Les résultats montrent que la temperature de sortie dans le tube a ruban torsadé est meilleure à celle du tube plein et cette temperature diminue en augmentant le nombre de Reynolds. Le nombre de Nusselt dans le tube a ruban torsadé est superieur à celui du tube plein et il diminue avec l'augmentation de Re.

Abstract

In this thesis we have studied the flow and the heat transfer in a flat air solar collector in the case of a full tube and a tube equipped with a twisted ribbon, the governing equations are solved by the method of volumes finishes adopted by Ansys fluent 2018 software. The studied geometries were created using Solidworks2016 software and exported to Ansys fluent 2018. Simulations were carried out for different Reynolds number and a ribbon torsion ratio $\delta=4$. The results show that the exit temperature in the twisted ribbon tube is better than that of the solid tube and this temperature decreases with increasing Reynolds number. The Nusselt number in the twisted ribbon tube is higher than that of the solid tube and it decreases with the increase of Re.