

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

Présenté par :

Belkadi Anissa & Chaker Zineb

Thème

SIMULATION NUMERIQUE DU TRANSFERT DE CHALEUR

DANS UN PANNEAU SOLAIRE THERMIQUE

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Qualité
Bakhti Fatima Zohra	MCA	Président
Benkherbache Souad	MCA	Encadreur
Berkache Amar	MCA	Examineur
Djrad Abdelkader	MCA	Co-Encadreur

Année Universitaire : 2023 / 2024

N° d'ordre : GM/...../2024

Dédicace

Louange à Allah, Seigneur de l'univers

Je dédie ce modeste travail :

❖ **A mon cher père, à ma chère mère, à mes sœurs et mes frères, pour leurs tendresses, leurs Conseils, leurs sacrifices, leurs présences à mes coté et leurs soutient, je dois ce que je suis et à qui je souhaite une longue vie pleine de bonheur et de santé. Qu'ils trouvent ici l'expression de mon éternelle reconnaissance et de ma profonde affection.**

❖ **A toute ma famille.**

❖ **A mes amis**

❖ **A mon professeur S. BENKHERBACHE**

❖ **Sans oublie mon binôme Anissa**

Zineb

Dédicace

Louange à Allah, Seigneur de l'univers

Je dédie ce modeste travail :

- ❖ **A mon cher père, à ma chère mère, à mes sœurs et mes frères, pour leurs tendresses, leurs Conseils, leurs sacrifices, leurs présences à mes coté et leurs soutient, je dois ce que je suis et à qui je souhaite une longue vie pleine de bonheur et de santé. Qu'ils trouvent ici l'expression de mon éternelle reconnaissance et de ma profonde affection.**
- ❖ **A toute ma famille.**
- ❖ **A mes amis**
- ❖ **A mon professeur S. BENKHERBACHE**
- ❖ **Sans oublie mon binôme Zineb**

Anissa

Remerciements

En premier lieu, nous tenons à remercier Dieu Tout puissant de nous avoir donné le courage et la patience pour mener ce travail.

Nos vifs remerciements s'adressent à notre promotrice M^{me} BENKHERBACHE Souad pour son aide, ses conseils, sa disponibilité durant toute la période d'encadrement.

Nous remercions également les membres de jury d'avoir accepté de juger ce travail.

Enfin, nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Résumé

L'énergie solaire est une source énergétique alternative, souvent employée pour générer de la chaleur par les systèmes solaires thermique. Notre étude s'impose sur le transfert de chaleur par convection du fluide caloporteur (l'air ou nano fluide) dans le tube d'un panneau solaire thermique. L'objectif de ce travail est de pouvoir obtenir un rendement adéquat du panneau solaire fonctionnant avec l'air ou bien un nano fluide.

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

Les résultats obtenus représentent les variations des contours de température ainsi que le nombre de Nusselt relatifs à l'écoulement en fonction des nombres de Reynolds et des concentrations des nano fluides. Nous avons conclu que l'utilisation des nano fluides a un grand effet sur les performances des panneaux thermiques et permettant ainsi d'améliorer leurs rendement.

Mots clés : Panneaux solaires thermiques, transfert de chaleur, nano fluides, simulation numérique

ملخص

الطاقة الشمسية هي مصدر بديل للطاقة، وغالبًا ما تستخدم لتوليد الكهرباء الحرارية بواسطة الأنظمة الحرارية الشمسية. دراستنا حول نقل الحرارة بواسطة حمل سائل نقل الحرارة (سائل الهواء أو النانو) في أنبوب لوحة حرارية شمسية الهدف من هذا العمل هو التمكن من الحصول على كفاءة كافية لتشغيل الألواح الشمسية مع الهواء أو النانو السائل.

" استُخدمت برمجيات "غامبيت" و "6,3,26 بطلاقة" لتشييد الهندسة و المحاكاة العددية.

تمثل النتائج التي تم الحصول عليها الاختلافات في درجات الحرارة بالإضافة إلى بالنسبة للتدفق كدالة لأعداد وتركيزات رينولدز $Nusselt$ عدد سوائل النانو. استنتجنا أن استخدام سوائل النانو له تأثير كبير على أداء الألواح الحرارية وبالتالي تحسين كفاءتها.

الكلمات الرئيسية: الألواح الحرارية الشمسية، نقل الحرارة، سوائل النانو، المحاكاة العددية

Sommaire

Dédicace	
Remerciement	
Résumé	
Sommaire	
Liste des Figure	
Liste des tableaux	
Nomenclature	
Introduction Générale	
Référence	

CHAPITRE I : Le Gisement Solaire

I.1.Le gisement solaire.....	1
I.1.1. Définition.....	1
I.1.2. Le soleil.....	1
I.1.3. La sphère céleste.....	1
I.2. Les coordonnées céleste.....	2
I.2.1. Cordonnées géographique.....	2
I.3. Energie solaire.....	3
I.3.1. Cordonnées terrestres.....	3
I.3.2. Orientation et inclinaison d'une surface.....	4
I.3.3. Le rayonnement solaire.....	5
I.3.4. Composition du rayonnement solaire.....	6
I.4. La conversion d'énergie solaire.....	8
I.4.1. Le solaire a concentration thermodynamique.....	8
I.4.2. Le solaire photovoltaïque.....	9
I.5. Les Panneaux solaires.....	9
I.5.1. Panneaux solaires photovoltaïques.....	9
I.6. Le Solaire thermiqu.....	11
I.6.1. Panneaux solaires thermiques	12
I. 7. La recherche bibliographique	14
I.7.1. Introduction	14
I.7.2. Recherches réalisées sur les capteurs solaires	14
I.8. CONCLUSION.....	23

CHAPITRE II : Les Transferts de chaleurs

II.1. Les transferts de chaleur.....	24
II.1.1. Transfert de chaleur par conduction	24
II.1.2. Transfert de chaleur par convection.....	24
II.1.2.1.Type de convection.....	25
II.1.3. Transfert de chaleur par Rayonnement.....	25
II.2. Les nombres adimensionnels	26
II.2.1. Nombre de Reynolds.....	26
II.2.2. Nombre de Nusselt.....	26
II.2.3. Nombre de Grashof	27
II.2.4. Nombre de Prantl	27

II.2.5. Nombre de Rayleigh	27
II.3. Les nanofluides.....	28
II.3.1. Introduction.....	28
II.3.2. Les nano fluides	28
II.3.4. Préparation des nanofluides	29
II.4. Autres applications.....	30
II.5. Les avantage des nanofluides	31
II.6. Les inconvénients des nanofluides	31
II.7. Domaines d’application des nano fluides.....	31
II.8. Propriétés thermo physiques des nanofluides	32
II.8.1. La fraction volumique (ϕ)	32
II.8.2. Conductivité thermique (k)	32
II.8.3. Viscosité dynamique (μ)	33
II.8.4. La masse volumique (ρ).....	34
II.8.5. La chaleur massique (C_p).....	34
II.8.6. Coefficient d’expansion volumique (β).....	35
II.9. Nanoparticules et les fluides porteurs.....	35
II.10. Conclusion	36

Chapitre III : Formulation Mathématique et Simulation Numérique

III.1.Introduction.....	37
III.2. Géométrie du problème.....	37
III.3.Hypothèses.....	38
III.4. Equations générales de conservation.....	39
III .4.1.Equation représentatives pour le nano fluide.....	40
III.5. Le couplage convection rayonnement.....	41
III.6.Bilan thermique du capteur hybride PV/T à base.....	41
III.7.Les coefficients des échanges thermique.....	43
III.8. Le rendement.....	45
III.9. Procédure de résolution numérique.....	45
III.10. Définition de la CFD « Computational Fluid Dynamics ».....	46
III.11. Présentation des logiciels Gambit et Fluent.....	46
III.11.1. Préprocesseur Gambit	46
III.11.2. Code Fluent	46
III.11.3. Les avantages de fluent (CFD).....	47
III.11.4. Etapes principales de simulation	47
III.12. La conception du domaine physique.....	47
III.12.1.Création de la géométrie	47
III.13. Les opérations pour construire une géométrie.....	48

III.13.1. Préprocesseur Gambit	48
III.13.2. Interface de Gambit	48
III.13.3. Création d'une face rectangulaire	49
III.13.4. Création des faces circulaires	49
III.13.5. Création des volumes	50
III.13.6. Le maillage du domaine physique.....	51
III.13.6.1. Maillage des lignes.....	52
III.13.6.2. Maillage des volumes.....	52
III.14. Conditions aux limites et définition de domaines.....	52
III.15. Choix de la version Fluent.....	53
III.15.1. L'exportation du fichier <i>Msh</i>	53
III.15.2. Type des fichiers qui sont créés par gambit	53
III.16. La procédure de calcul par Fluent.....	54
III.16.1. Démarrage de Fluent.....	54
III.16.2. Importation de la géométrie (*. msh)	54
III.16.3. Vérification du maillage.....	55
III.16.4. Affichage de la grille	55
III.16.5. Choix du solveur et l'état de l'écoulement.....	56
III.16.6. Choix du modèle de turbulence	57
III.16.7. Pression de référence.....	58
III.16.8. Conditions aux limites.....	58
III.16.9. Initialisation du calcul.....	59
III.16.10. Choix des critères de convergences.....	60
III.16.11. Lancement du calcul	60
III.16.12. Allures de convergence des résidus.....	61
III.17. Conclusion.....	61

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1. Introduction.....	62
IV.2. Les paramètres utilisés.....	62
IV.3. Influence du maillage	63
IV.4. Influence du nombre de Reynolds	63
IV.5. Les Contours de température	64
IV.6. Les vecteurs vitesses.....	70
IV.7. Influence de la concentration du nano fluide	74
IV.8. Le nombre de Nusselt Nu.....	76
IV.9. Rendement.....	78
IV.10. Conclusion.....	80
Conclusion générale	81

Liste des figures

CHAPITRE I : Le Gisement Solaire

Figure (I.1) : La sphère céleste [3]	2
Figure (I.2) : Les coordonnées géographiques [4]	2
Figure (I.3) : Cordonnées terrestre [5]	4
Figure (I.4) : Orientation et inclinaison d'une surface [5]	5
Figure (I.5) : Analyse spectrale du rayonnement solaire [5]	5
Figure (I.6) : Les trois composantes du rayonnement solaire global sur un plan incline [5]	8
Figure (I.7) : Deux exemples de modules concentration thermodynamique	9
Figure (I.8) : Le panneau solaire photovoltaïque	10
Figure (I.9) : Schéma d'une installation photovoltaïque connectée au réseau	11
Figure (I.10) : Module thermique	11
Figure (I.11) : Composition d'un panneau solaire thermique	12
Figure (I.12) : Schéma d'une fonction un panneau thermique	13
Figure (I.13) : Disposition des obstacles DCL	15
Figure (I.14) : Disposition des obstacles OCL [12]	15
Figure (I.15) : Capteur muni d'obstacles TL [12]	15
Figure (I.16) : Capteur avec des chicane rectangulaire sur la plaque inférieure en bois	16
Figure (I.17) : Les figure des six modèles différents de capteurs solaires a air [14]	17
Figure (I.18) : Les variations du rendement instantané en fonction de la température réduite.....	18
Figure (I.19) : Capteur plan a air muni de rugosités cylindriques [15].....	18
Figure (I.20) : Différentes dispositions des rugosités cylindriques [15].....	19
Figure (I.21) : Dispositif expérimental	19
Figure (I.22) : Schéma dexriptif des chicanes	20
Figure (I.23) : Sections et photo du dispositif expérimental [17].....	20
Figure (I.24) : Variation du rendement du capteur solaire en fonction du solaire et du tempe.....	21
Figure (I.25) : Effet du rayonnement solaire sur le rendement pour différents vitesses de l'air.....	22
Figure (I.26) : Evolution de la température de plexiglas en fonction du temps de la journée pour différent angles d'inclinaison [20]	22
Figure (I.27) : Evolution de la température de sortie en journée pour différent angles d'inclinaison [20].....	23
Figure (I.28) : Evolution de la température de sortie en fonction du tempes de la journée pour différent angles d'inclinaison	23

CHAPITRE II : Les Transferts de chaleurs

Figure (II.1) : Transfert de chaleur par conduction	24
Figure (II.2) : Transfert de chaleur par convection [22].....	25
Figure (II.3) : Transfert de chaleur par rayonnement [24].....	26
Figure (II.4) : Nanofluides vue au microscope électronique : éthylène glycol + cuivre 0,5% ; eau + nanotube ; eau + alumine ; eau + or a 2n	29
Figure (II.5) : Procédés de synthèse des nanofluides en une seule étape [27].....	30

CHAPITRE III : Formulation Mathématique et Simulation Numérique

Figure (III.1) : Panneau solaire thermique	37
Figure (III.2) : Vue de dessus du panneau thermique (a), la géométrie étudiée (section Z-Z) (b).....	38
Figure (III.3) : Vue globale de Gambit	48
Figure (III.4) : Vue globale.....	49
Figure (III.5) : Création d'une face rectangulaire.....	49
Figure (III.6) : Création d'une face circulaire.....	50
Figure (III.7) : Création des faces circulaires.....	50
Figure (III.8) : Création d'un volume.....	50
Figure (III.9) : Création d'un volume.....	51
Figure (III.10) : Configuration de Gambit avant maillage.....	51
Figure (III.11) : Maillage des lignes (edges).....	52
Figure (III.12) : Maillage des volumes.....	52
Figure (III.13) : Présentation des conditions aux limites.....	53
Figure (III.14) : Choix de la version fluent.....	53
Figure (III.15) : Vue globale de fluent.....	54
Figure (III.16) : Importation de la géométrie.....	54
Figure (III.17) : Vérification du maillage.....	55
Figure (III.18) : Affichage de la grille.....	55
Figure (III.19) : Affichage des conditions aux limites.....	56
Figure (III.20) : Choix du solveur.....	56
Figure (III.21) : Interface du choix du solveur.....	57
Figure (III.22) : Choix de l'energy.....	57
Figure (III.23) : Pression de référence.....	58
Figure (III.24) : La vitesse d'entrée (conditions aux limites).....	58
Figure (III.25) : Interface de la vitesse d'entrée.....	59
Figure (III.26) : Interface de la pression de sortie.....	59
Figure (III.27) : Initialisation de calcul.....	60
Figure (III.28) : Interface des critères de convergence.....	60
Figure (III.29) : Lancement du calcul.....	61
Figure (III.30) : Allures de l'évolution des résidus de calcul.....	61

Chapitre IV : Résultats et discussions

Figure (IV.1) : Variation de la température en fonction du maillage.....	63
Figure (IV.2) : Maillage de la configuration.....	64
Figure (IV.3) : Champs de températures pour $Re = 2$ et le nano fluide (eau/Cu) pour $\Phi = 0.01$	65
Figure (IV.4) : Champs de températures pour $Re = 2$ et le nano fluide (eau/Cu) pour $\Phi = 0.09$	65
Figure (IV.5) : Champs de températures pour $Re = 2$ et le nano fluide (eau/CuO) pour $\Phi = 0.01$	66
Figure (IV.6) : Champs de températures pour $Re = 2$ et le nano fluide (eau/CuO) pour $\Phi = 0.09$	66
Figure (IV.7) : Champs de températures pour $Re = 2$ et le nano fluide (eau/MgO) pour concentration $\Phi = 0.01$	67
Figure (IV.8) : Champs de températures pour $Re = 2$ et le nano fluide (eau/MgO) pour concentration $\Phi = 0.09$	67
Figure (IV.9) : Champs de températures pour $Re = 200$ et l'air.....	68
Figure (IV.10) : Champs de températures pour l'air a $Re = 400$	68
Figure (IV.11) : Champs de températures pour l'air à $Re = 600$	69
Figure (IV.12) : Champs de températures pour l'air à $Re = 800$	69
Figure (IV.13) : Vecteur de la vitesse pour $Re = 2$, (eau/Cu), $\Phi = 0.01$	70
Figure (IV.14) : Vecteur de la vitesse pour $Re = 2$, (eau/Cu), $\Phi = 0.09$	70
Figure (IV.15) : Vecteur de la vitesse pour $Re = 2$, (eau/CuO), $\Phi = 0.01$	70
Figure (IV.16) : Vecteur de la vitesse pour $Re = 2$, (eau/CuO), $\Phi = 0.09$	70
Figure (IV.17) : Vecteur de la vitesse pour $Re = 2$, (eau/MgO), $\Phi = 0.01$	71
Figure (IV.18) : Vecteur de la vitesse pour $Re = 2$, (eau/MgO), $\Phi = 0.09$	71
Figure (IV.19) : Vecteur de la vitesse pour l'air à $Re = 200$	72
Figure (IV.20) : Vecteur de la vitesse pour l'air à $Re = 400$	72
Figure (IV.21) : Vecteur de la vitesse pour l'air à $Re = 600$	73
Figure (IV.22) : Vecteur de la vitesse pour l'air à $Re = 600$	73
Figure (IV.23) : Variation du la température des éléments du panneau en fonction de la concentration pour (eau/Cu), $Re = 2$	74
Figure (IV.24) : Variation du la température des éléments du panneau en fonction de la concentration pour (eau/CuO), $Re = 2$	74
Figure (IV.25) : Variation du la température des éléments du panneau en fonction de la concentration pour (eau/MgO), $Re = 2$	75
Figure (IV.26) : Variation du nombre de Nusselt en fonction de la concentration pour le nano fluide (eau/Cu).....	76
Figure (IV.27) : Variation du nombre de Nusselt en fonction de la concentration pour le nano fluide (eau/CuO)	76
Figure (IV.28) : Variation du nombre de Nusselt en fonction de la concentration pour le nano fluide (eau/MgO)	77

Figure (IV.29) : Variation du nombre de Nusselt en fonction du nombre de Reynolds pour l'air.....	77
Figure (IV.30) : Variation du rendement en fonction de la concentration pour le nano fluide (eau/Cu)	78
Figure (IV.31) : Variation du rendement en fonction de la concentration pour le nano fluide (eau/CuO)	78
Figure (IV.32) : Variation du rendement en fonction de la concentration pour le nano fluide (eau/MgO)	79
Figure (IV.33) : Variation du rendement en fonction du nombre de Reynolds pour l'air.....	79

Liste des tableaux

CHAPITRE I : Le Gisement Solaire

Tableaux (I.1) : Quelques valeurs d'albédo [5]	7
---	----------

CHAPITRE II : Les Transferts de chaleurs

Tableaux (II.1) : Valeurs des conductivités thermiques des nanoparticules et des fluides utilisés.....	36
---	-----------

CHAPITRE IV : Résultats et Discussions

Tableaux (IV.1) : Variation de la température en fonction du maillage	63
--	-----------

Nomenclature

σ : Constante de Stefan-Boltzmann ($5.6703 \times 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$)

ε : Émissivité, indice valant 1 pour un corps noir et qui est compris entre 0 et 1 selon l'état de surface du matériau (sans dimension)

: température du corps (K).

U : Vitesse moyenne de l'écoulement. [$m s^{-1}$].

L : Longueur caractéristique. [m].

: viscosité cinématique du fluide. [$m^2 s^{-1}$].

μ : Viscosité dynamique du fluide [$Kg m^{-1} s^{-1}$].

: La masse volumique. [$Kg m^{-3}$].

K : Conductivité thermique du fluide [$W m^{-1} K^{-1}$].

h: Coefficient de convection.

g: Accélération de la pesanteur [$m s^{-2}$].

: Coefficient de dilatation ou d'expansion thermique [1/K].

: Température des parois [K].

T_e : Température externe [K].

: La diffusivité thermique [$m^2 s^{-1}$]

C_p : La chaleur spécifique à pression constante [$J kg^{-1} K^{-1}$].

: La conductivité thermique [$W m^{-1} K^{-1}$].

v_s : Volume des nanoparticules solides [m^3].

v_f : Volume du fluide de base [m^3].

k_{nf} : La conductivité thermique du nanofluide.

k_f : La conductivité thermique du fluide de base.

k_s : La conductivité thermique des particules solides.

μ_{nf} : La viscosité dynamique du nanofluide.

μ_f : La viscosité dynamique du fluide de base.

φ : La fraction volumique des nanoparticules.

ρ_{nf} : La masse volumique du nanofluide.

ρ_f : La masse volumique du fluide de base.

ρ_s : La masse volumique des nanoparticules.

β_{nf} : Le coefficient de dilatabilité du nanofluide.

β_f : Le coefficient de dilatabilité du fluide de base.

β_s : Le coefficient de dilatabilité des nanoparticules.

: Masse du vitrage, (kg)

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

: Surface de la vitre, (m²)

: Quantité d'énergie absorbée pour le vitrage, (W/m²)

h_{vv} : Coefficient d'échange thermique par convection entre la vitre et l'ambiance, (W/m².K)

h_{rv} : Coefficient d'échange thermique par rayonnement entre la vitre et le ciel, (W/m².K)

: Température du vitrage, (K) T_a

: Température ambiante (K) T

ciel : Température du ciel (K)

α_v : Représente le coefficient d'absorption du vitrage

α_v : Représente le coefficient d'absorption du vitrage

M_a : Masse de l'absorbeur, (kg)

C_{pa} : Chaleur spécifique du absorbeur, (J/ kg.K) A

abs : Surface de l'absorbeur, (m²)

h_{vabs} : Coefficient d'échange thermique par convection entre l'absorbeur et le fluide, (W/m².K)

h_{rabs} : Coefficient d'échange thermique par rayonnement entre l'absorbeur et l'isolant, (W/m².K)

T_f Et T : Représente ent respectivement la température du fluide et de l'isolation, (K)

α_{abs} : Coefficient d'absorption de l'absorbeur

M_f : Masse du fluide, (kg)

A_f : Surface traversée par le fluide, (m²)

h_{vis} : Coefficient d'échange thermique par convection entre le fluide et l'isolant, (W/m².K)

T_{entre} et T_{sortie} : Représentent respectivement la température à l'entrée et à la sortie du tube, (K)

\dot{m} : Débit massique du fluide, (kg/s).

M : Masse de l'isolant, (kg)

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

A_{bis} : Surface de l'isolant, (m²)

h_{ci} : Coefficient d'échange thermique par conduction à travers l'isolant, (W/m².K)

h_{ra} : Coefficient d'échange thermique par rayonnement entre l'isolant et le sol, (W/m².K)

h_{va} : Coefficient d'échange thermique par convection de l'air qui se trouve entre l'isolant et le sol, (W/m².K)

T_{sol} : Température du sol, (K)

e : Epaisseur de la paroi, (m)

k : Conductivité thermique du matériau, (W /m.K)

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

h_{pvcv} : Le coefficient d'échange thermique par conduction entre la Pvc et l'absorbeur peut être calculé

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

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

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

s_v : Emissivité du vitrage

Selon **Ong**, 1995[46], Température du ciel est évaluée par la relation suivante :

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

ϵ_{is} et s_{abs} : Représentent respectivement l'émissivité de l'isolant et le absorbeur Le coefficient

K_{eau} : Conductivité thermique de l'eau, (W/ m .K)

D_h : Diamètre hydraulique du canal, (m)

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.

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

Introduction

L'énergie renouvelable est une source d'énergie provenant de ressources naturelles inépuisables ou se régénérant rapidement, telles que le soleil, le vent, l'eau et la biomasse.

Son utilisation contribue à réduire les émissions de gaz à effet de serre et à garantir une sécurité énergétique à long terme.

L'énergie solaire est l'une des formes les plus prometteuses d'énergie renouvelable.

Elle provient de la conversion de la lumière du soleil en électricité ou en chaleur utilisable à l'aide de technologies telles que les panneaux solaires photovoltaïques et les chauffe-eau solaires.

Cette source d'énergie propre et abondante offre un potentiel énorme pour répondre aux besoins énergétiques mondiaux tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre et en assurant une indépendance énergétique accrue

Dans un panneau solaire thermique utilisant de l'air ou des nanofluides comme fluide caloporteur, le transfert de chaleur se produit de manière similaire à un système conventionnel, mais avec quelques différences.

Avec l'air comme fluide caloporteur, la chaleur est transférée par convection lorsque l'air chaud circule à travers le système, transportant la chaleur absorbée par le panneau solaire.

Les nanofluides, qui sont des liquides contenant des nanoparticules, peuvent améliorer la conductivité thermique du fluide, ce qui peut entraîner un transfert de chaleur plus efficace.

Dans les deux cas, la chaleur est ensuite transférée à un échangeur de chaleur où elle est utilisée pour chauffer de l'eau ou de l'air, selon l'application.

Les nanofluides peuvent offrir un potentiel d'efficacité accru en raison de leurs propriétés thermiques améliorées, mais ils peuvent également poser des défis en termes de stabilité et de coûts.

Le rendement des capteurs solaire thermique reste encore faible, plusieurs facteurs influent sur la performance du capteur. Cela dépend de leur type d'exploitation, de l'amélioration du pourcentage de captation de rayonnement solaire.

La recherche mondiale actuelle dans le solaire porte surtout sur l'optimisation des systèmes solaires en termes de performance et de rentabilité. Celle-ci est généralement effectuée par la voie expérimentale ou bien par la simulation numérique.

INTRODUCTION

Etant donné qu'une partie large des études d'optimisation se fondent sur la modélisation du comportement thermique des systèmes solaires dont certains phénomènes de transfert thermique n'ont pas encore été bien examinés, notre premier objectif porte sur l'étude de l'influence de certains paramètres sur le transfert de la chaleur au sein d'un capteur solaire photovoltaïque hybride fonctionnant avec une cellule photovoltaïque et un absorbeur à tube contenant un fluide qui est l'eau ensuite un nanofluide .

Ce mémoire est organisé en quatre chapitres comme suit :

Le premier chapitre, présente des généralités sur le gisement solaire à savoir l'énergie solaire ainsi que les différents panneaux solaires thermiques et photovoltaïque avec une revue de la littérature sur les panneaux solaires thermiques.

Le deuxième chapitre, présente des généralités sur les transferts de chaleur ainsi que les nanofluides à savoir leurs propriétés thermo physiques.

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

CHAPITRE I**Le Gisement Solaire****I.1. Le gisement solaire :****I. 1.1. 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.

L'existence d'une solide et fiable base de données est une nécessité pour au moins la survie économique des installations de collection et de conversion de l'énergie solaire. [1]

I. 1.2. Le soleil :

La principale source d'énergie est le soleil, c'est une étoile du système solaire la plus proche de la terre qui est situé à une distance d'environ 150 millions de kilomètres de la terre, le soleil libère d'énormes quantités d'énergies qui, après avoir parcouru cette distance atteignent la surface de la terre, il produit un rayonnement qui peut être assimilé, en première approximation, à celui d'un corps noir à 5800K. Ce rayonnement émis par le soleil sous forme d'ondes électromagnétiques, et reste environ minute à nous atteindre. Sa lumière, à une vitesse de 300000 km/s, Les 98% de l'énergie émise se situent dans la bande de longueur d'onde comprise entre 0.25 et 3 μ m. [2]

I. 1.3. La sphère céleste :

La sphère céleste est une sphère imaginaire d'un diamètre immense (1,496. 108 km, distance terre-soleil), avec la terre au centre. On 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 cela est représenté sur la figure (06).

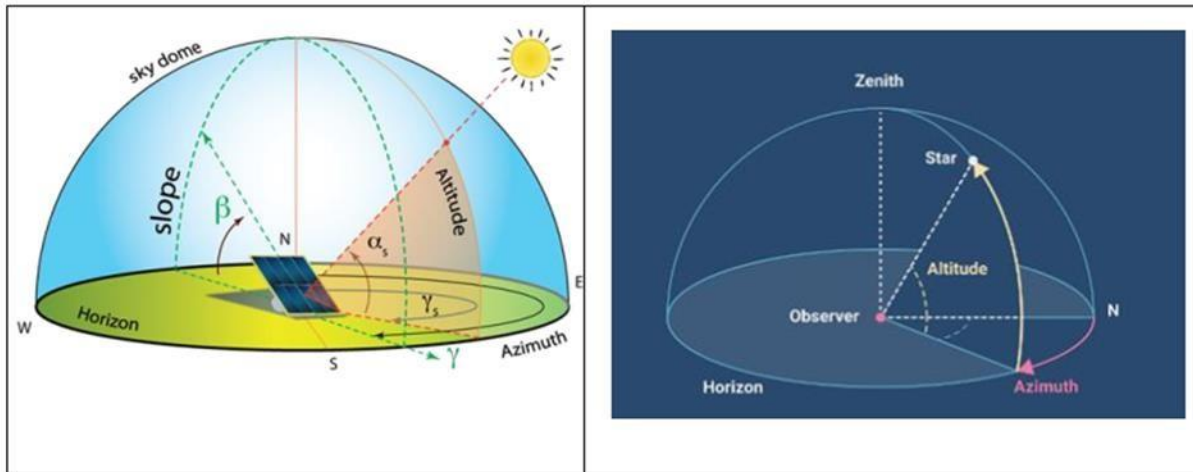


Figure (I.1) : La sphère céleste. [3]

I.2. Les coordonnées célestes :

I.2.1. 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.

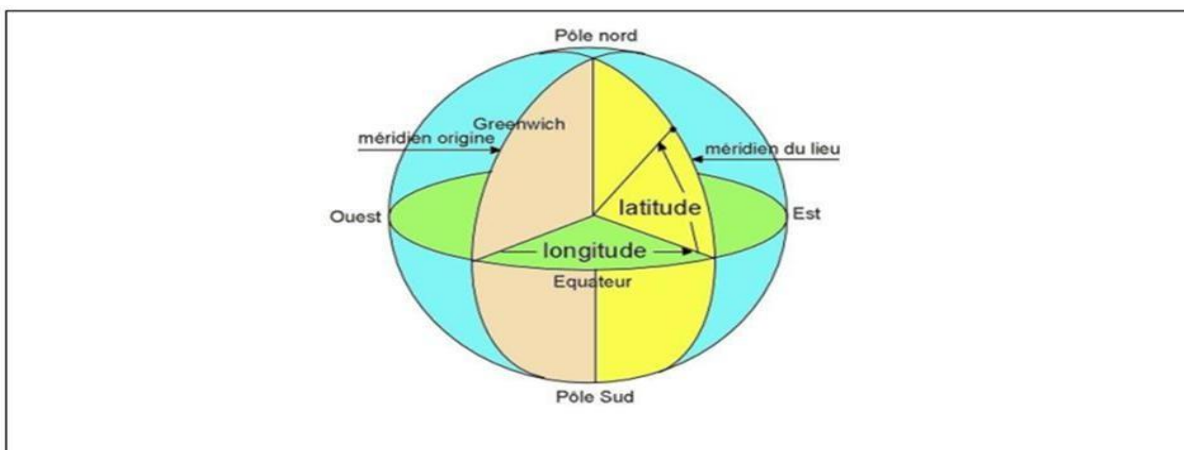


Figure (I.2) : Les coordonnées géographiques. [4]

I.2. Energie solaire :

Ce type d'énergie renouvelable est issu directement de la captation du rayonnement solaire. On utilise des capteurs spécifiques afin d'absorber l'énergie des rayons du soleil et de la rediffuser selon deux principaux modes de fonctionnement :

- **Solaire photovoltaïque (panneaux solaires photovoltaïques)** : l'énergie solaire est captée en vue de la production d'électricité.

- **Solaire thermique (chauffe-eau solaire, chauffage, panneaux solaires thermiques)** : la chaleur des rayons solaires est captée et rediffusée, et plus rarement sert à produire de l'électricité.

Le soleil est une étoile de forme pseudo-sphérique dont le diamètre atteint 1391000 km. Il est situé à une distance moyenne de 149598000 km de la terre. Vu de la terre, le soleil tourne autour de son axe. Le soleil ne tourne pas comme un corps solide :

- La rotation de l'équateur s'effectue environ dans 27 jours
- Les régions polaires durant 30 jours. [5]

I.2.1. Cordonnées terrestres :

Tout point sur la surface terrestre peut être repéré par ses coordonnées géographiques qui sont :

a. Longitude

La longitude (λ) d'un lieu correspond à l'angle formé par deux plans méridiens (passant par l'axe des pôles), l'un étant pris comme origine (méridien de Greenwich 0°) et l'autre déterminée par le lieu envisagé.

La longitude d'un lieu peut être comprise entre -180 et 180° . A tout écart de 1° de longitude correspond à un écart de 4 minutes de temps.

On affecte du signe (+) les méridiens situés à l'Est de ce méridien, et du signe (-) les méridiens situés à l'Ouest.

b. Altitude

L'altitude d'un point correspond à la distance verticale en mètre entre ce point et une surface de référence théorique (niveau moyen de la mer).

c. Latitude

L'angle (φ) de latitude est l'angle entre une ligne tracée d'un point sur la surface de la terre avec le centre de cette dernière, et le cercle équatorial de la terre. L'intersection du cercle équatorial avec

la surface de la terre forme l'équateur et est indiquée en tant que latitude de 0° , le pôle nord par la latitude $+90^\circ$ et le pôle sud par la latitude -90° .

Par convention, le signe (-) est affecté à tous les lieux de l'hémisphère nord et le signe (-) à tous les lieux de l'hémisphère sud. La latitude d'un lieu peut être comprise entre -90° et $+90^\circ$.

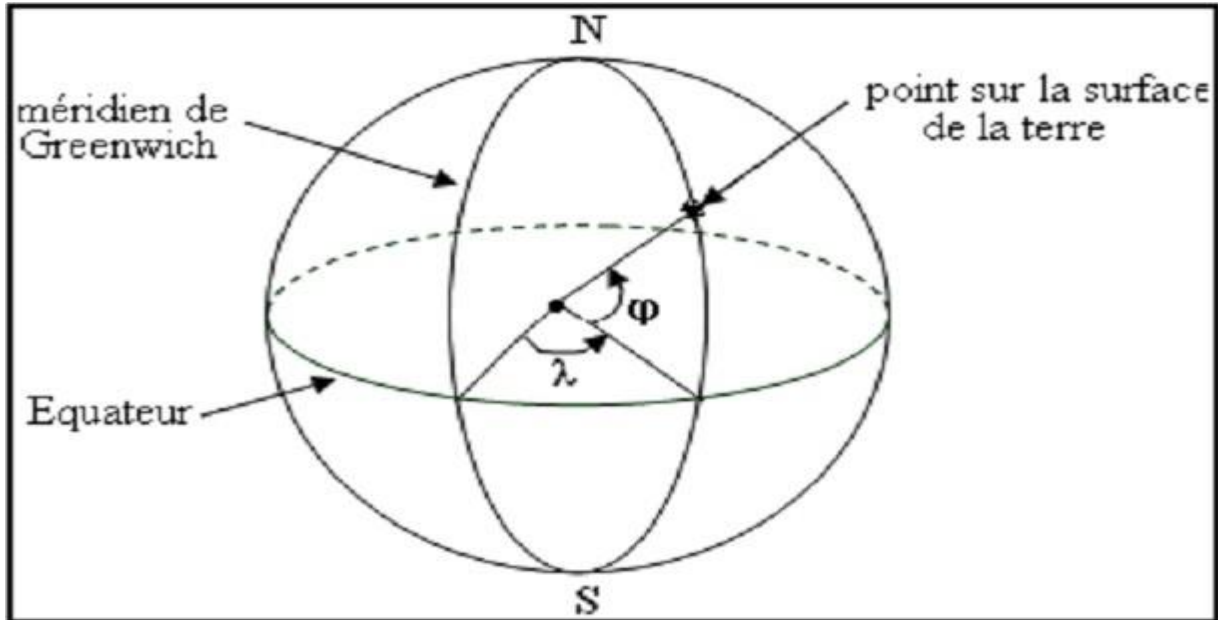


Figure (I.3) : Cordonnée terrestre. [5]

I.2.2. Orientation et inclinaison d'une surface :

a. Azimute α

C'est l'angle que fait la projection du soleil sur le plan horizontal avec la direction du Sud et il désigne l'orientation de la surface de telle sorte que :

$\alpha = -90^\circ$ pour une orientation Est

$\alpha = 0$ pour une orientation Sud

$\alpha = 90^\circ$ pour une orientation Ouest

$\alpha = 180^\circ$ pour une orientation Nord

b. Angle d'inclinaison β

C'est l'angle que fait la surface avec le plan horizontal. L'inclinaison de la surface est désignée par la variable b , choisie de telle sorte que :

$\beta = 0$ pour une surface horizontale.

$\beta = 90^\circ$ pour un plan vertical.

$\beta = 180^\circ$ pour un plan horizontal tourné vers le bas. [5]

I.2.4. Composition du rayonnement solaire :

Suite à l'atténuation du rayonnement solaire par les différents phénomènes atmosphériques, le rayonnement solaire sur une surface au sol est composé comme suit :

a. Rayonnement direct

C'est la fraction du rayonnement solaire qui arrive directement au sol, dont le trajet est «linéaire» (il y a, en fait, de légères déviations) et unique à un instant donné.

Si I est le rayonnement direct. [5]

Dans le cas d'un plan horizontal le rayonnement s'écrit :

$$I_D = I \sin h$$

Avec : h hauteur du soleil.

b. Rayonnement diffus

Le rayonnement diffus est le rayonnement provenant de toute la voûte céleste. Ce rayonnement est dû à l'absorption et à la diffusion d'une partie du rayonnement solaire par l'atmosphère et à sa réflexion par les nuages. Ainsi, par ciel serein, il constitue 20% de l'énergie globale. Par ciel couvert, il correspond à la totalité de l'énergie reçue au sol.

c. Rayonnement réfléchi (L'albédo)

Le rayonnement solaire réfléchi est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Ce rayonnement dépend de l'albédo du sol et il peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige).

$$L'algédo \quad ALB = \frac{\text{énergie réfléchie}}{\text{énergie reçue}}$$

Il y a quelques valeurs de L' albédo selon la surface du sol.

Surfaces du sol	Albédo
Surface d'eau	0.01 à 0.1
Forêt	0.05 à 0.2
Sol cultivé	0.07 à 0.14
Pierres et rochers	0.15 à 0.25
Champs et prairies	0.1 à 0.3
Sol nul	0.15 à 0.4
Neige ancienne	0.5 à 0.7
Neige fraîche	0.8 à 0.95

Tableau (I.1) : Quelques valeurs d'albédo. [5]

d. Rayonnement global

- Une surface horizontale

C'est l'ensemble du rayonnement d'origine solaire qui parvient sur une surface horizontale sur le globe terrestre. Il comprend donc la composante verticale du rayonnement solaire direct et rayonnement solaire diffus.

- Une surface inclinée

Rayonnement global sur une surface inclinée est la somme des rayonnements : Direct, Diffus et Réfléchi.

$$\text{Rayonnement Globale} = \begin{array}{c} \text{rayonnement direct} \\ + \\ \text{rayonnement diffus} \\ + \\ \text{Rayonnement réfléchi} \end{array}$$

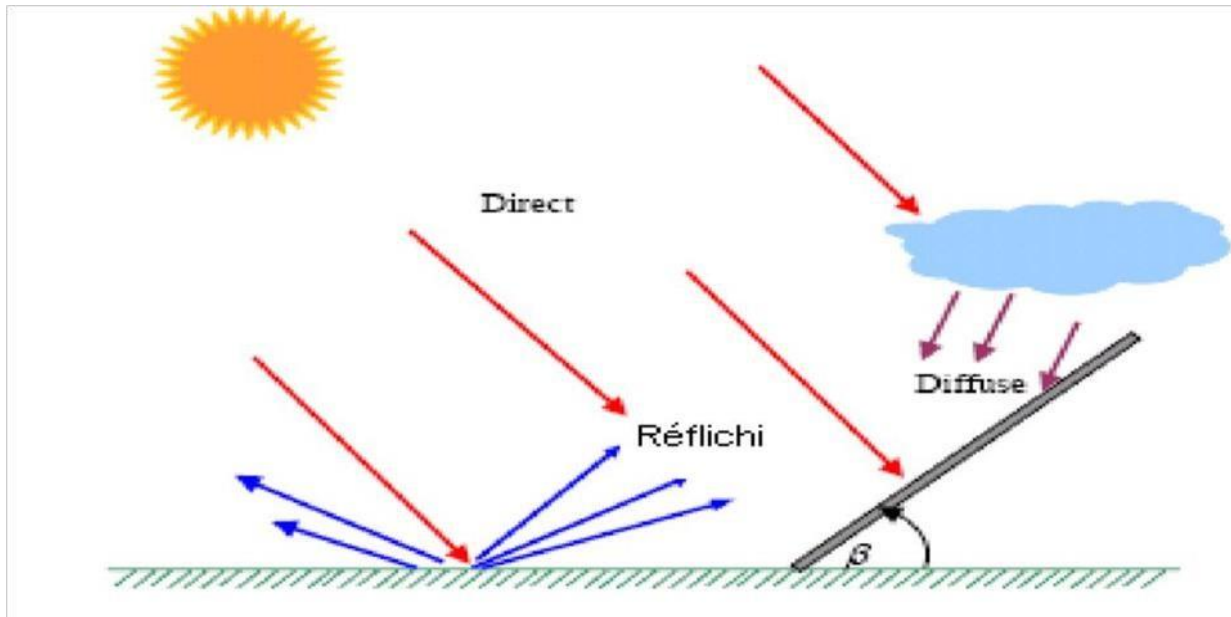


Figure (I. 6) : Les trois composantes du rayonnement solaire global sur un plan incliné. [5]

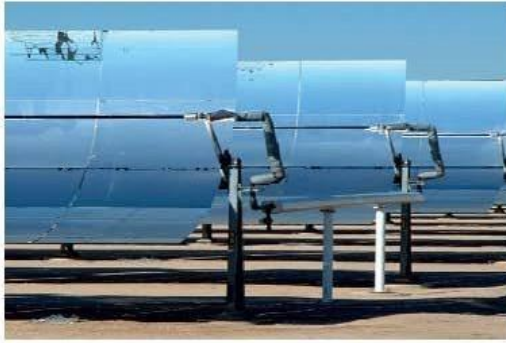
I. 3. La conversion d'énergie solaire

Les différentes technologies solaires

Il existe principalement trois façons d'utiliser directement l'énergie solaire : la thermodynamique, la thermique et le photovoltaïque.

I. 3. 1. Le Solaire à concentration thermodynamique

Le solaire à concentration thermodynamique est une technologie qui utilise des miroirs qui concentrent l'énergie solaire vers un tube contenant un fluide caloporteur qui chauffe jusqu'à une température pouvant atteindre 500°C. La chaleur obtenue est transférée à un circuit d'eau, la vapeur alors produite actionne une turbine couplée à un alternateur qui produit de l'électricité. L'un des grands avantages de cette technologie provient du fait que la chaleur peut être stockée, permettant ainsi aux centrales solaires de produire de l'électricité pendant la nuit. La centrale ANDASOL 1, à Grenade, a ainsi une autonomie de 7 heures, mais des projets en cours ont comme objectif une autonomie de 20 heures [6]. Les miroirs qui collectent l'énergie solaire (placés à 3 ou 4 mètres du sol) forment une zone d'ombre sur le sol, cependant il arrive suffisamment de lumière pour cultiver des fruits ou des légumes. Une partie de l'eau douce formée sur place par condensation en sortie de turbine, peut être utilisée pour l'arrosage.



Capteurs thermodynamique cylindro-paraboliques



Capteurs thermodynamique paraboliques

Figure (I.7) : Deux exemples de modules concentration thermodynamique

I.3.2. Le Solaire Photovoltaïque :

Contrairement à l'énergie solaire thermique qui utilise le soleil comme source de chaleur, l'énergie solaire photovoltaïque utilise le soleil comme source de lumière en transformant en électricité l'énergie des photons arrivant à la surface de la Terre. La lumière solaire (photons) transmet son énergie aux électrons contenus dans un semi-conducteur (qui constitue une cellule photovoltaïque). Cette transformation (effet photovoltaïque) est sans action mécanique, sans bruit, sans pollution et sans combustible. L'effet photovoltaïque a été découvert par le physicien français A. Becquerel en 1839. Le mot « photovoltaïque » vient du mot « photo » (du grec « phos » qui signifie « lumière ») et du mot « Volt » (patronyme du physicien Alessandro Volta qui a contribué de manière très importante à la recherche en électricité) [6,7]

C'est dans la filière photovoltaïque que s'inscrit notre projet.

I.4. Les Panneaux solaires :

La cellule photovoltaïque ou encore photopile est l'élément constitutif des modules photovoltaïques. Un panneau photovoltaïque est constitué de plusieurs cellules en série ou en parallèle afin d'obtenir une tension souhaitée. [8]

I.4.1. Panneaux solaires photovoltaïques :

Un panneau solaire est destiné à récupérer une partie du rayonnement solaire pour le convertir en énergie. Ces panneaux solaires peuvent être classés sous deux catégories distinctes : les panneaux photovoltaïques et les panneaux thermiques. La différence est fondamentale, alors que les premiers transforment le rayonnement solaire en chaleur, les seconds la convertissent en électricité. Chaque modèle a des caractéristiques spécifiques et un impact qui diffère. Lorsque l'on s'intéresse à leur rendement, on peut constater l'existence de fortes disparités selon les technologies utilisées.

[9]

1. Description

Le panneau solaire photovoltaïque est le capteur solaire qui convertit les rayons solaires en électricité.

Grâce aux technologies de ses cellules, le panneau PV capte les photons contenus dans le rayonnement solaire pour produire du courant.

Il est formé par un matériau semi-conducteur avec des cellules photovoltaïques en jonction PN : une couche positive et une autre négative.

Lorsque le photon du rayon solaire arrache un électron à l'atome, une charge positive (un trou) va se former pour produire au final un courant continu.

C'est ce courant continu qui sera transformé en courant alternatif par l'onduleur qui fait, bien entendu, partie de l'installation. Ce courant alternatif sera par la suite utilisé par votre installation domestique.

Le panneau photovoltaïque est le type de panneau le plus utilisé actuellement grâce à son efficacité et à son prix largement plus accessible que celui du panneau hybride. Il est également très facile à installer. Pour avoir une efficacité optimale, il faut observer une pente comprise entre 30 et 35°, idéalement sur un toit orienté Sud.



Figure (I.8) : Le panneau solaire photovoltaïque.

2. Fonctionnement d'un panneau solaire photovoltaïque

Les cellules photovoltaïques sont des composants électroniques capables de produire de l'électricité à partir de l'énergie solaire, et ceci grâce à l'effet photovoltaïque.

Découvert en 1839 par Antoine Becquerel, ce phénomène est basé sur le comportement des matériaux semi-conducteurs lorsqu'ils reçoivent un rayonnement solaire. En effet, lorsque les photons de la

lumière du soleil rentrent en contact avec ces matériaux particuliers, ils transmettent leur énergie aux électrons des semi-conducteurs qui génèrent alors une tension électrique. Le matériau semi-conducteur le plus massivement employé à l'heure actuelle par les fabricants de modules photovoltaïques demeure le silicium.

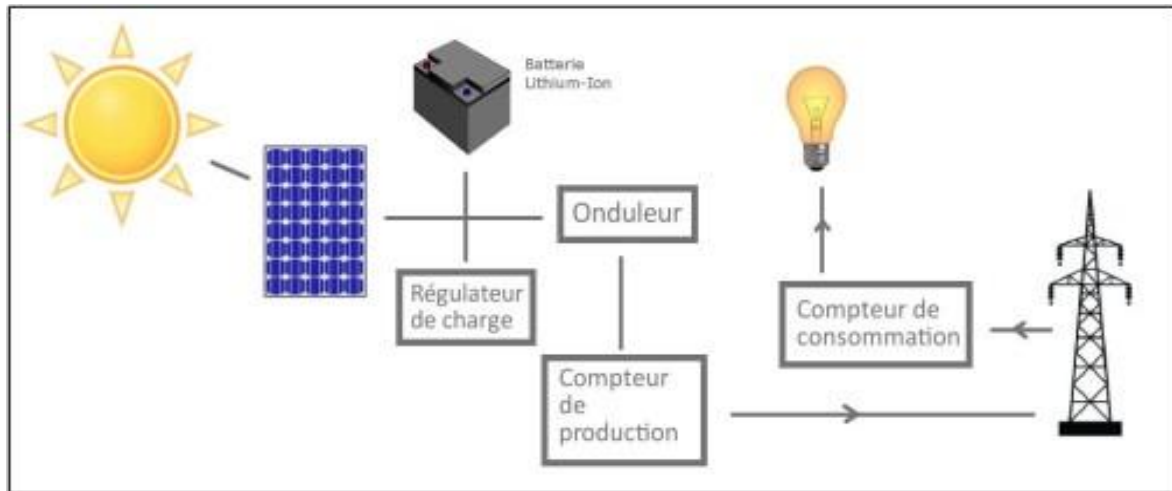


Figure (I.9) : Schéma d'une installation photovoltaïque connectée au réseau.

I.5. Le Solaire thermique :

Le principe de l'énergie thermique consiste à transformer le rayonnement solaire en énergie thermique grâce à un fluide qui circule dans des panneaux exposés au soleil, **figure (I. 10)**. Cette forme de conversion d'énergie peut être directe si on veut uniquement chauffer de l'eau sanitaire. Par contre, si on veut générer de l'électricité, il faudra utiliser des générateurs qui convertissent l'énergie thermique générée en électricité (par exemple, moteurs à air chaud).



Figure (I.10) Module thermique

I.5.1. Panneaux solaires thermiques:

1. Description

Le panneau solaire thermique est un dispositif qui transforme l'énergie solaire en énergie calorifique. Il est utilisé pour avoir de l'eau chaude sanitaire, mais aussi pour alimenter le système de chauffage.

Sachez que contrairement au panneau photovoltaïque, il ne permet pas d'obtenir de l'électricité.

Dans un premier temps, le panneau va capter et absorber le rayonnement solaire et la chaleur pour réchauffer un fluide caloporteur.

Ensuite, ce liquide, de l'eau glycolée la plupart du temps, va circuler et réchauffer l'eau dans un ballon de stockage qui est généralement équipé d'un appoint.

En ce qui concerne son installation, le panneau solaire thermique doit être orienté Sud et présenter une inclinaison de 45°.

1. Constitution

La composition d'un panneau solaire thermique est montrée dans la **figure (I.11)**. Il est composé d'un corps opaque qui absorbe le rayonnement solaire en s'échauffant ; un système de refroidissement par le fluide caloporteur (transportant l'énergie) ; un isolant thermique situé sur les faces non exposées au rayonnement et une couverture transparente sur la face exposée, destinée à assurer l'effet de serre à l'intérieur du capteur.

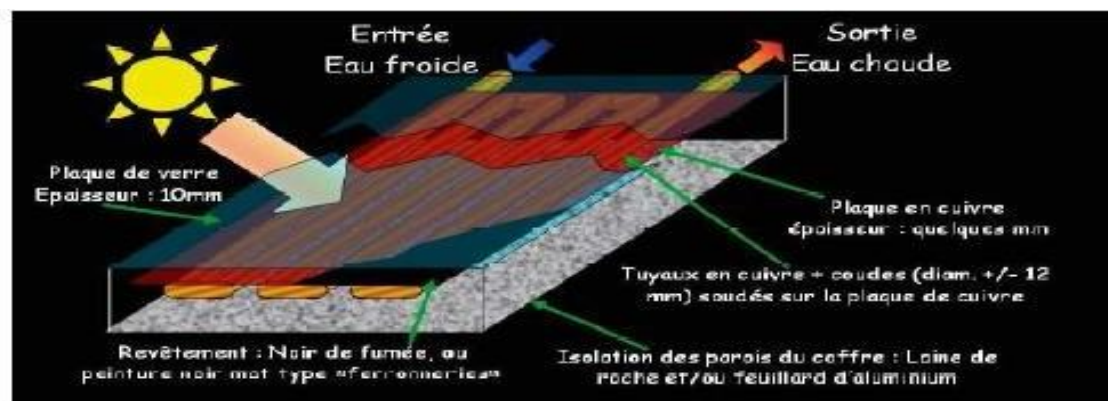


Figure (I.11) : Composition d'un panneau solaire thermique.

L'énergie thermique utilise la chaleur du rayonnement solaire pour le chauffage de bâtiments ou de l'eau sanitaire. Pour cette dernière il est intéressant de savoir que dans certains pays le chauffage d'eau sanitaire représente environ 20% des dépenses énergétique d'un foyer et que l'énergie solaire thermique peut subvenir à environ 80% de cette dépense énergétique.

2. Fonctionnement du panneau solaire thermique

Des capteurs de rayons solaires composent le panneau solaire thermique. Les plaques sur lesquelles elles sont disposées sont fixées sur les toits. Un échangeur thermique se charge de transmettre la chaleur captée au sein d'un réseau d'eau sanitaire ou de chauffage. Ce principe est le même pour tout panneau solaire thermique. Cependant, selon le type de capteur utilisé, le fonctionnement peut varier. À ce titre, on distingue plusieurs sortes de capteurs :

- Les capteurs plans vitrés Une plaque en métal noir qui absorbe les rayons solaires compose ces capteurs. Elle est en contact avec un des tubes qui renferment le fluide caloporteur. Un isolant se charge de garder la chaleur dans les tubes, tandis que du verre en acier trempé veille à la protection de l'installation. De plus, ce vitrage assure l'effet de serre nécessaire pour produire encore plus de chaleur. **Figure(I.12).**

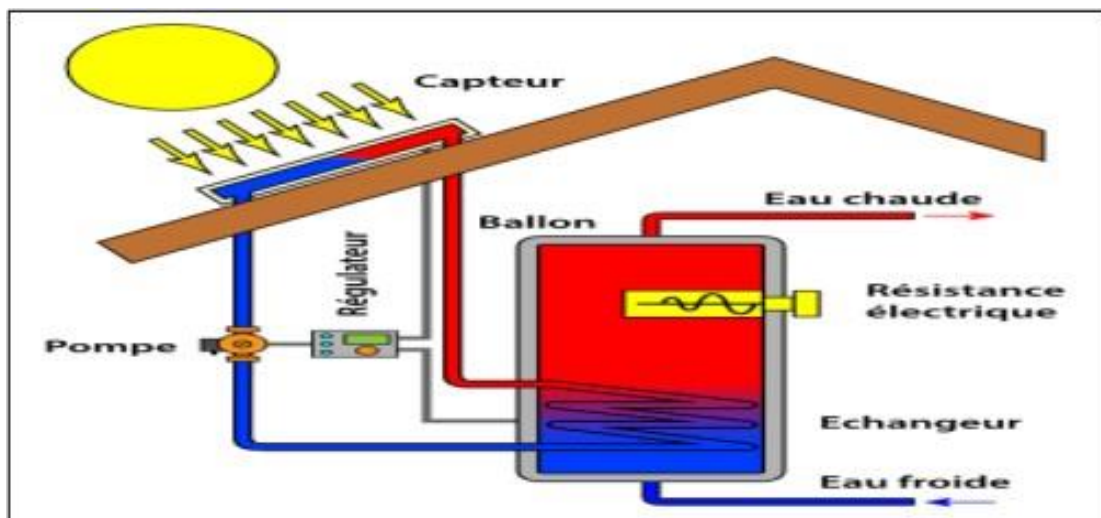


Figure (I .12) : Schéma d'une fonction un panneau thermique

Pour commencer, le rayon solaire traverse une plaque de verre transparente ; le rayon lumineux sera alors absorbé après avoir passé la plaque de verre, par une plaque de métal noir qui absorbera environ 80 à 90% des rayons solaires. Puis, la chaleur ainsi générée est transmise à un circuit d'eau qui alimente un circuit secondaire qui, à son tour, alimente une habitation en eau sanitaire ou en chauffage.

Pour éviter le gel du fluide caloporteur ou sa surchauffe, il est nécessaire d'investir dans des fluides antigel ou dans un système auto-vidangeable.

I. 5. La recherche bibliographique :

I.5.1. Introduction :

La production de l'énergie thermique à partir de l'énergie solaire est aujourd'hui une des techniques les plus prometteuses pour répondre aux besoins énergétiques mondiaux. Actuellement il y a plusieurs millions de mètre carré des capteurs et de systèmes solaires installés dans le monde utilisant les technologies les plus récentes.

Plusieurs études sur les capteurs solaires ont été réalisées ces dernières années.

L'objectif principal de ces travaux été d'améliorer l'efficacité thermique des capteurs solaires et de trouver des solutions technologiques adéquates aux différents problèmes qui peuvent faire face au bon fonctionnement des ces systèmes.

I.5.2. Recherches réalisées sur les capteurs solaires :

A. Ho-Ming Yeh et Tong-Tshien Lin (1995) ont étudié théoriquement et expérimentalement l'influence du rayonnement solaire capturé sur l'efficacité de capteur solaire. Ils ont trouvé que le taux du rayonnement solaire et la surface de contact entre l'absorbeur et le fluide caloporteur accroît avec l'augmentation de la surface du capteur, mais aussi elle augmente le coefficient des pertes thermiques entre la couverture et l'extérieur. [10]

B. Benkhelifa (1998) a présenté un modèle mathématique pour étudier l'influence de quelques paramètres sur le coefficient de perte thermique vers l'avant du capteur. Le model permet de calculer ces pertes thermiques. Il a trouvé que l'augmentation du coefficient de pertes thermiques dépend de l'augmentation de l'émissivité de l'absorbeur ainsi que sa température et le coefficient d'échange convectif avec l'air ambiant. [11]

C. A. Ahmed-Zaïd et al (2001) présentent une comparaison 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, comme le montrent **Fig. (I.13)**, **Fig. (I.14)**, et **Fig. (I.15)**, les chicanes Delta Cintrées Longitudinalement (DCL), Ogivales Cintrées

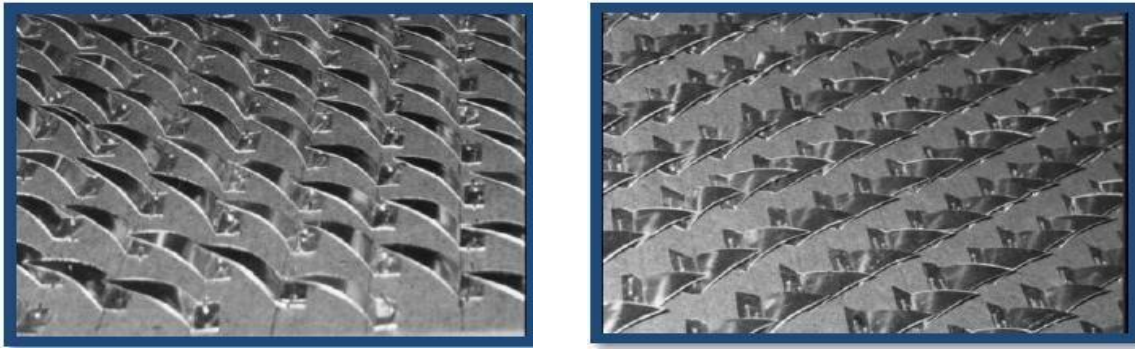


Figure (I.13) : Disposition des obstacles DCL

Longitudinalement (OCL) et transversales-Longitudinales (TL) Après analyse des résultats, le capteur muni d'obstacles TL paraît le meilleur [12].

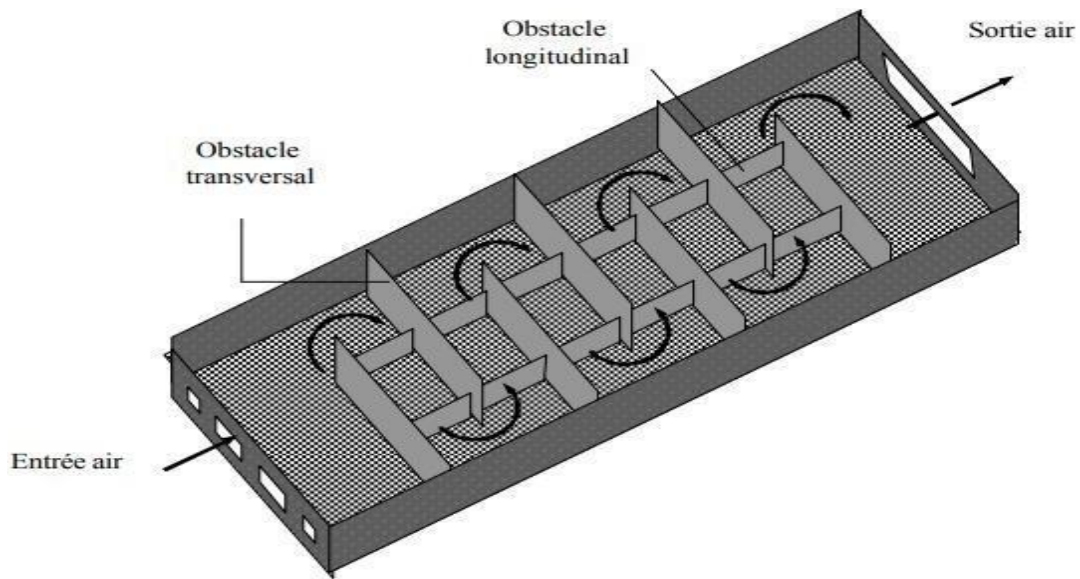


Figure (I.14) : Disposition des obstacles OCL [12]

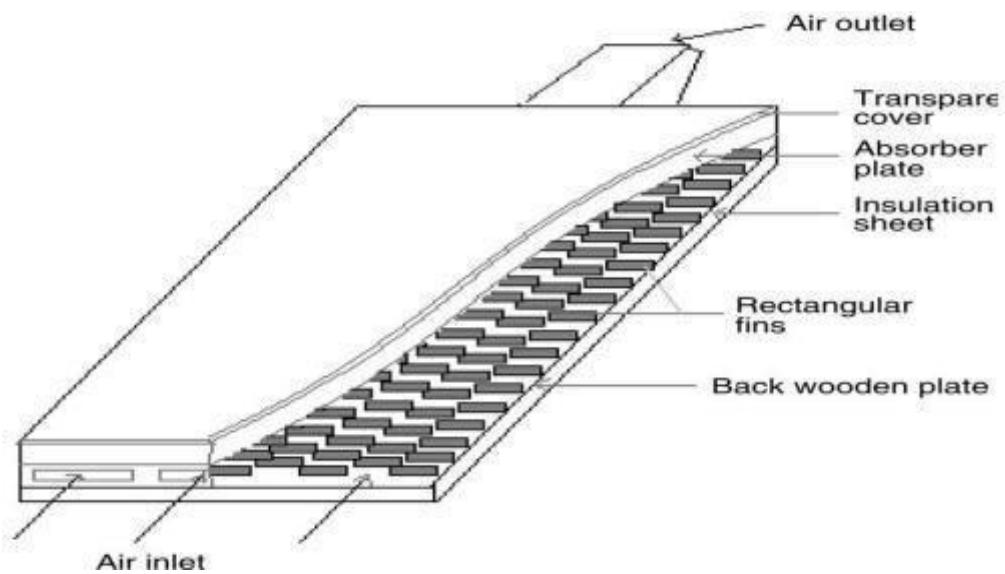


Figure (I .15) : Capteur muni d'obstacles TL. [12]

D. Moumni et al(2004) [13] travers une étude expérimentale sur un banc d'essai comprenant un convertisseur solaire. Ils ont créé un écoulement turbulent entre l'absorbeur et la plaque arrière par l'utilisation des obstacles rectangulaires perpendiculaires à l'écoulement et qui permettent de réduire les zones mortes. **Figure (I.16)**

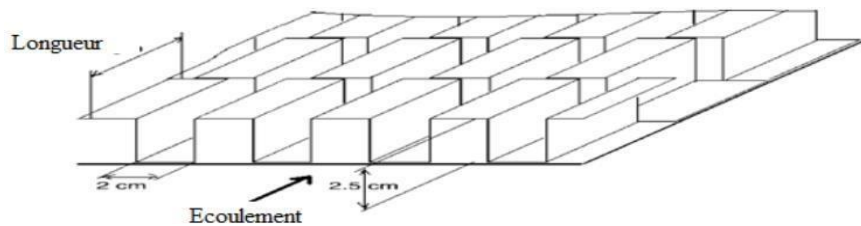


Figure (I.16) : Capteur avec des chicane rectangulaire sur la plaque inférieure en bois [13]

Par comparaison de ce type de capteurs avec un autre sans obstacles, utilisant deux types d'absorbeurs, sélectif et non sélectif, les auteurs ont trouvé que la sélectivité de l'absorbeur ne présente pas une amélioration remarquable en présence des plaques rectangulaires. Ils ont donné également une approche approximative du coefficient du transfert convectif dans le canal d'air tenant compte de la géométrie de l'absorbeur et de la nature de l'écoulement.

S. Youcef-Ali (2005) a étudié expérimentalement un capteur solaire plan à air muni de rugosités dans le canal d'écoulement du fluide caloporteur. Ces obstacles dits chicanent sous forme de plaques rectangulaires minces orientées parallèlement à l'écoulement et soudées à la face inférieure de l'absorbeur [14]. Parallèlement, il a comparé expérimentalement l'efficacité d'un capteur à doubles couvertures avec celui à triples couvertures. Il a montré que les plaques ajoutées augmentent le transfert thermique entre l'absorbeur et l'air ce qui réduit les pertes vers l'extérieur et par conséquent un rendement supérieur. D'autre part, il a montré que la couverture triple donne des performances plus importantes que celles doubles par minimisation des pertes vers l'extérieur.

Turhan Koyuncu (2006) cet article étudié six Modèles différents de capteurs solaires à air avec convection naturel pour le séchage des produits agricoles :

Modèle -1 : à simple vitrage en plastique, l'absorbeur est en carton dur à peinture noire sans effet de serre.

Modèle -2 : à simple vitrage en plastique, l'absorbeur est en tôle d'aluminium peinte en noire sans effet de serre.

Modèle -3 : une seule vitre en plastique, l'absorbeur est en tôle aluminium en forme de zigzague, avec peinture noire, sans effet de serre,

Modèle -4 : à simple vitrage en plastique, l'absorbeur est en tôle d'aluminium peinte en noire avec effet de serre.

Modèle -5 : à simple vitrage en plastique, l'absorbeur en tôle aluminium en forme de zigzague à peinture noire avec effet de serre.

Modèle -6 : double vitre en plastique, l'absorbeur en tôle aluminium peinte en noire avec effet de serre

Il montré que les capteurs à simple vitrage et sans effet de serre sont plus efficaces que ceux à double ou à triple vitrages **Figure (I.17 et 18)**, ces dispositifs de conversion thermique de l'énergie solaire, sont plus appropriés pour la circulation naturelle dans les applications du séchage par de l'énergie solaires [14].

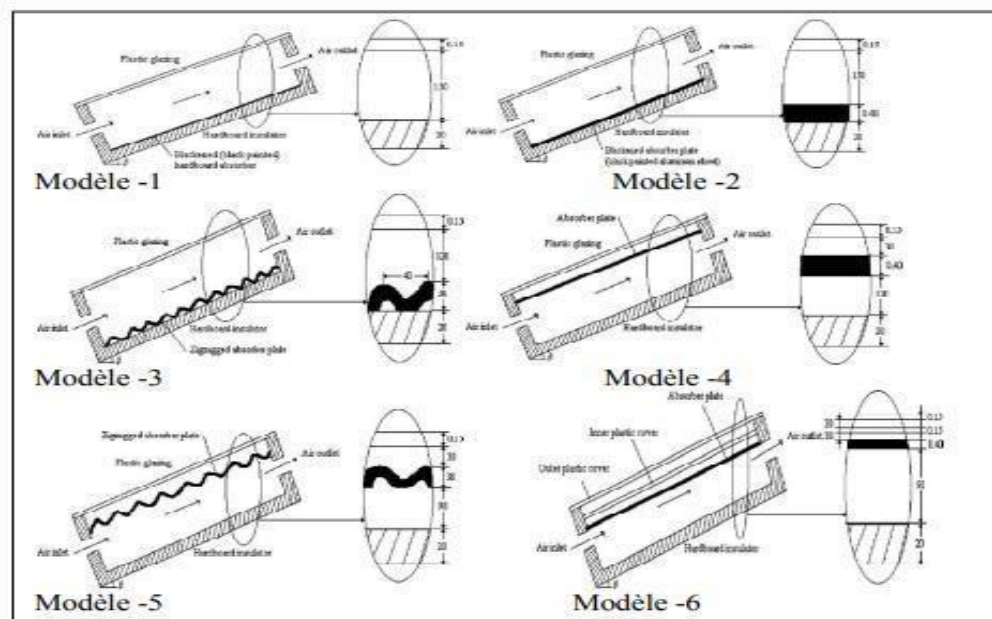


Figure (I.17) : Les figures des six Modèles différents de capteurs solaires à air [14]

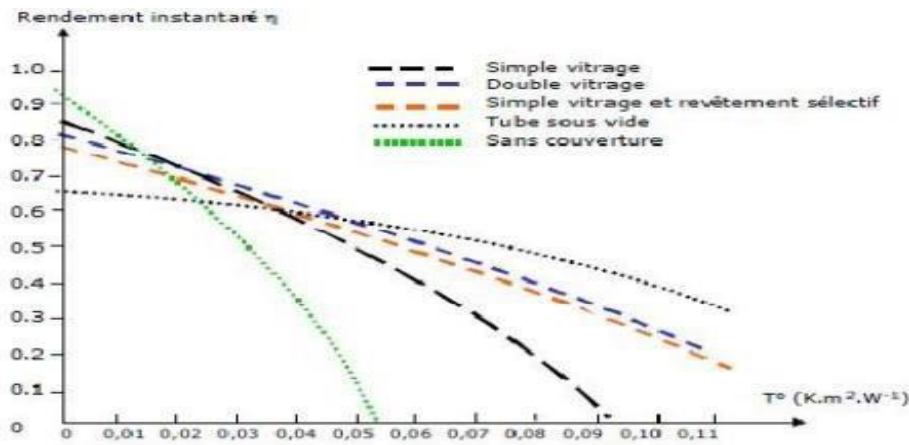


Figure. (I.18) : Les variations du rendement instantané en fonction de la température réduite

E. K. Aoues et Al (2008) Cet article décrit un travail théorique en vue d'améliorer le coefficient de transfert convectif entre le fluide caloporteur et la plaque absorbante du rayonnement solaire. en plaçant des chicanes cylindriques perpendiculairement à l'écoulement dans la veine d'air dynamique entre l'absorbeur et l'isolant [15]. **Figure (I. 19)**

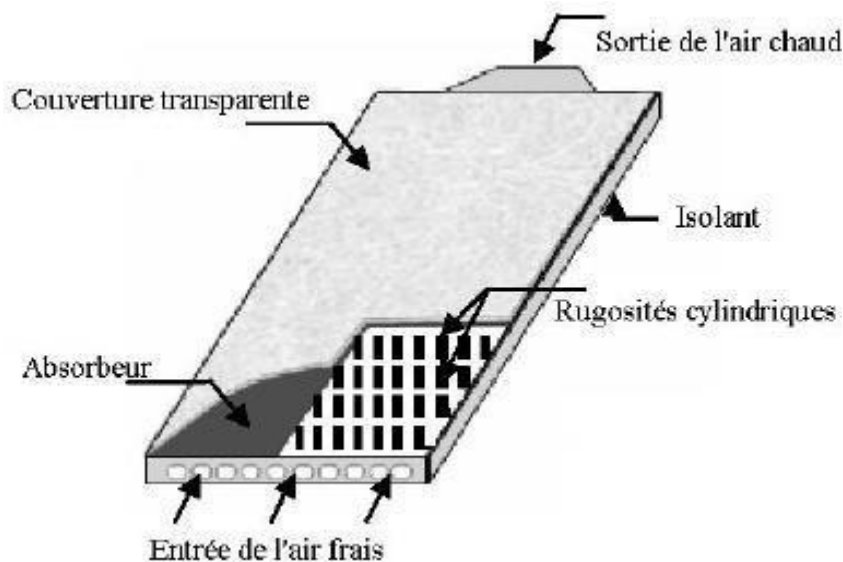
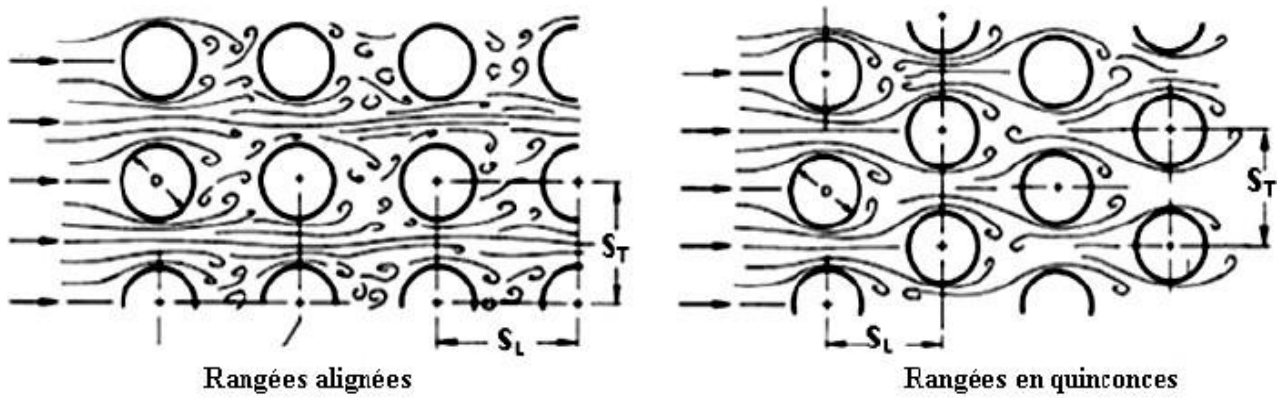


Figure (I.19) : Capteur plan à air muni de rugosités cylindriques [15]

Les cas étudiés dans cet article [15] :

- Le capteur plan à air dépourvu de chicanes.
- Le capteur plan à air muni de chicanes cylindriques arrangées en rangées alignées.
- Le capteur plan à air muni de chicanes cylindriques arrangées en quinconces.

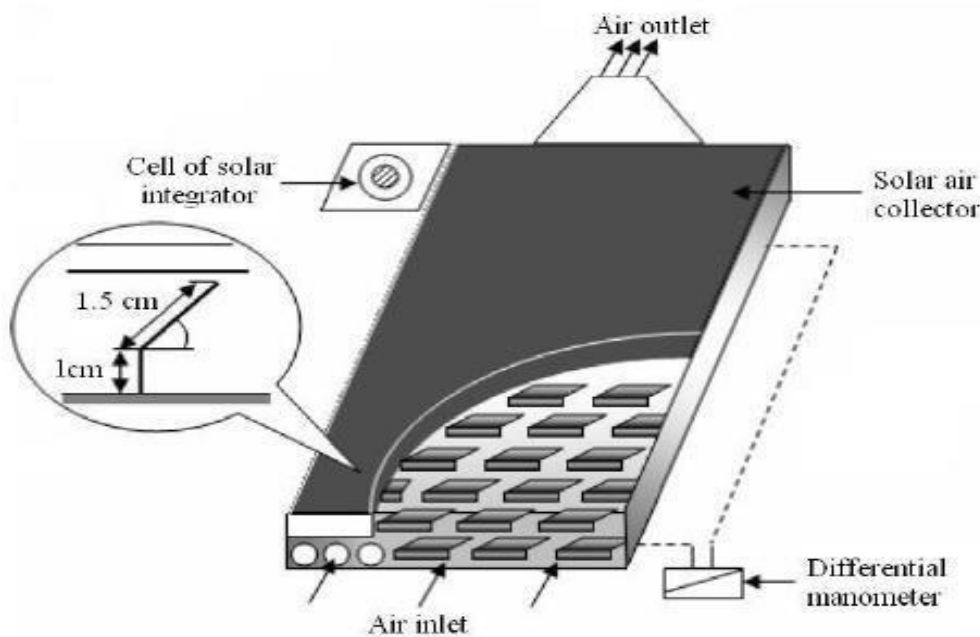


Figure(I.20) : Différentes dispositions des rugosités cylindriques [15]

Le résultat obtenu dans cet article est le meilleur rendement est obtenu avec des chicane cylindriques arrangées en quinconce, et le plus bas pour le capteur lisse [15].

F. K. Aoues et Al (2009) ont introduit dans la veine d'air mobile des chicanes qui jouent un rôle à double aspect, favorisant le transfert thermique au fluide caloporteur :

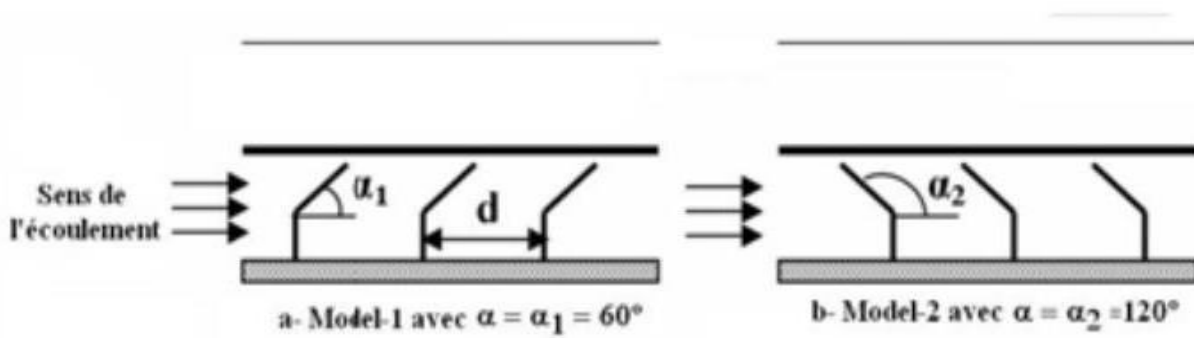
- Elles permettent de rendre turbulent l'écoulement à proximité de la plaque chaude.
- Elles prolongent le parcours du fluide caloporteur.



Figure(I.21) : Dispositif expérimental.

La veine d'air dynamique du capteur est de 25mm de hauteur, comprise entre la plaque absorbante et une plaque en acier galvanisé placée sur l'isolant, cette veine est équipée de rangées d'obstacles métalliques minces soudées perpendiculairement à l'écoulement de l'air sur la plaque inférieure. Ces obstacles présentent une différence dans la forme résidant dans la partie inclinée d'angle α respectivement égale à 60° et 120° . Ces chicanes sont espacées d'une distance

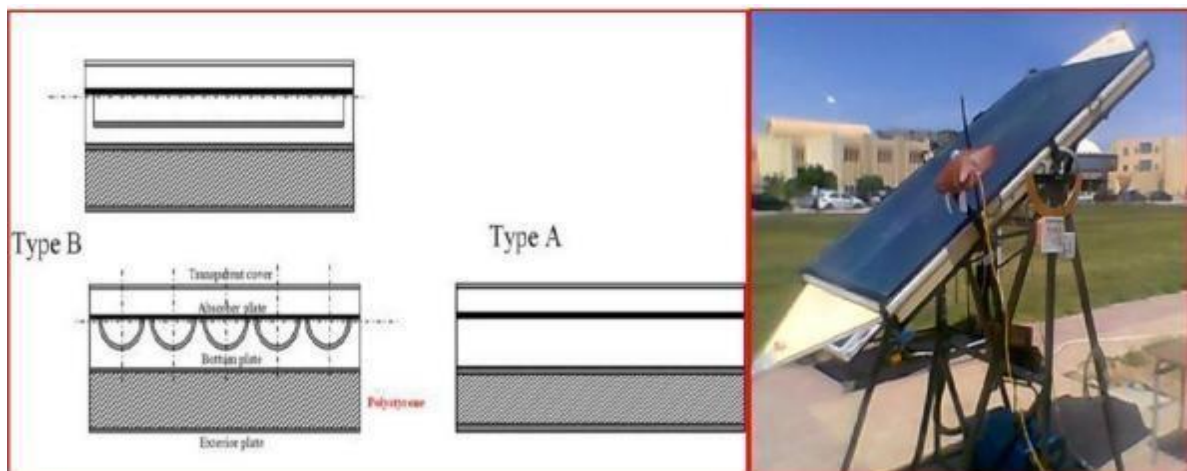
respectivement à $d=10$ cm et $d=5$ cm suivant deux configuration A et B qui se différencient par le nombre de rangés respectivement égale à 152 et 256 chicanes **Figure (I.22)**.



Figure(I.22) : Schéma descriptif des chicanes.

Après une série de tests expérimentaux, les auteurs ont conclu que la géométrie de passage dans la section droite perpendiculaire à l'écoulement joue un rôle important et ont trouvé que les chicanes modèle 1 ($\alpha = 60^\circ$) placées dans les configurations A1, B1 donnent les meilleurs résultats par rapport à ceux des configurations A2, B2 qui sont des chicanes modèles 2 ($\alpha = 120^\circ$). Cela s'explique par le fait que les chicanes du modèle 1 permettent l'orientation du fluide caloporteur en écoulement vers la plaque absorbante, d'où l'augmentation des échanges convectifs. Par contre, les chicanes du modèle 2 orientent le fluide caloporteur vers la plaque inférieure [14].

G. Chabane & all (2012) a mené une étude expérimentale sur les collecteurs thermiques plans sans ailettes (type A) et avec ailettes longitudinales type (B) (voire **fig. (I.23)**). Il a conclu que les collecteurs de type B (avec ailettes) ont une efficacité thermique plus grande que les collecteurs de type A (sans ailettes) pour le même débit d'air $m = 0,015$ kg / s. Cette différence atteint une valeur de 15,93% pour une intensité solaire de 285 W / m². [17].



Figure(I.23) : Sections et photo du dispositif expérimental. [17]

H. Kaoulal et al. (2014) ont étudié théoriquement le comportement d'un capteur solaire plan à air à simple passage entre l'absorbeur et la vitre, intégré à la façade de bâtiment, fonctionnant en régime dynamique en convection naturelle et destinée au chauffage. L'analyse du comportement de ce dernier a permis d'établir un modèle basé sur la résolution des équations de bilans thermiques par la méthode nodale. A l'aide de la simulation numérique sous Matlab en utilisant la méthode de RungeKutta), ils ont pu déterminer les profils de températures, du vitrage, de l'absorbeur, et du fluide caloporteur (l'air) à la sortie du capteur, ainsi que le rendement thermique instantané [18].

I. R. Khama et al (2016) Ont étudié un capteur solaire plan à air pour le séchage des fruits et légumes, sous les conditions météorologiques de la ville de Ouargla au sud-est de l'Algérie. Le capteur solaire plan à air a été face au sud afin de maximiser le rayonnement solaire incident. Il a été incliné d'un angle d'environ 32° . Les auteures ont arrivé aux resultats suivants :

- L'augmentation du rayonnement solaire n'a plus d'influence sur les températures du capteur solaire en ventilation naturelle (mode passif) qu'en ventilation forcée (mode actif)
- En ventilation naturelle, les valeurs du rendement thermique du capteur solaire varient entre 26.61 et 46.32% avec une moyenne de 32.32%, alors qu'en ventilation forcée, elles varient entre 33.45 et 66.56% avec une moyenne de 51.33% **Figure (I.24)**.

Le rendement du capteur solaire augmente linéairement avec l'augmentation du rayonnement solaire ($400 \leq I \leq 800 \text{ W/m}^2$) pour des vitesses de l'air fixées entre 1 et 1.40 m/s, mais l'effet de la vitesse de l'air sur l'efficacité du capteur solaire est négligeable un rayonnement solaire voisin de 800 W/m **Figure (I.5)** [19].

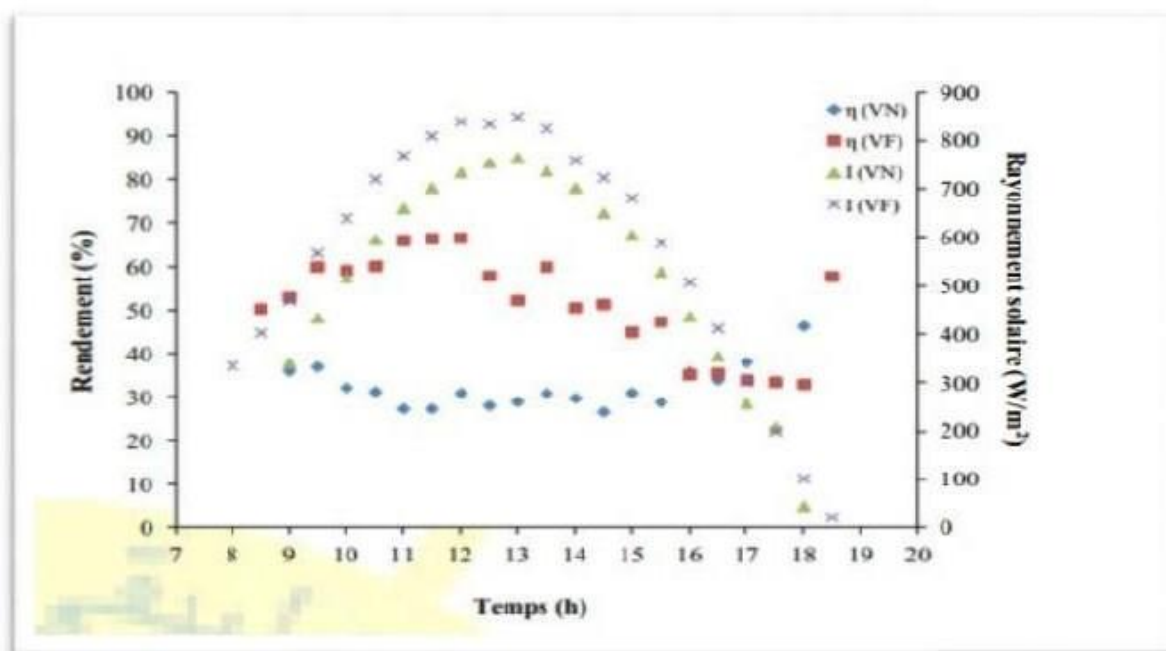


Figure (I. 24) : Variation du rendement du capteur solaire en fonction du solaire et du temps [19]

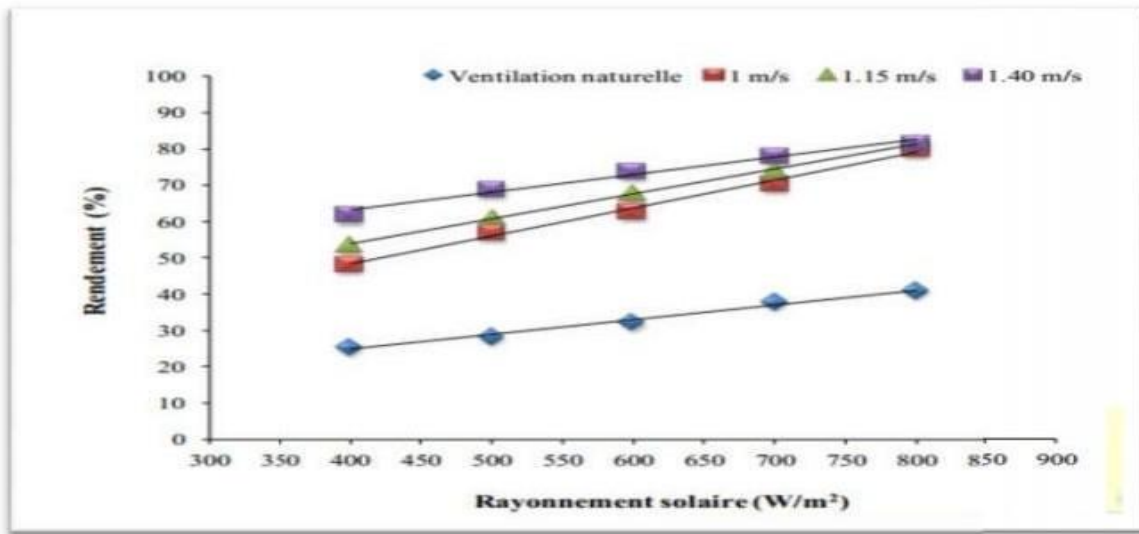


Figure (I.25) : Effet du rayonnement solaire sur le rendement pour différentes vitesses de l'air [19]

J. Boumesli et al (2016) but de cette étude est la détermination des performances thermiques d'un capteur solaire à l'université de Laghouat. Cette étude vise à déterminer l'évolution de certains paramètres tels que : la température de sortie du fluide caloporteur (air), la température de l'absorbeur et la température de Plexiglas sous l'effet de l'inclinaison du capteur pour différents angles alpha et pour un débit volumique égale à 0.01002036 (m3/s).

Cette étude montre que la température de Plexiglas Cette étude montre que la température de

Plexiglas angles étudiés et que la température de l'absorbeur augmente avec l'augmentation de l'angle alpha (voir la Figure I.24). Tandis que de la température de sortie du fluide caloporteur (air) augmente avec le temps, elle ainsi proportionnelle à l'angle d'inclinaison alpha (Figure I.25) [20].

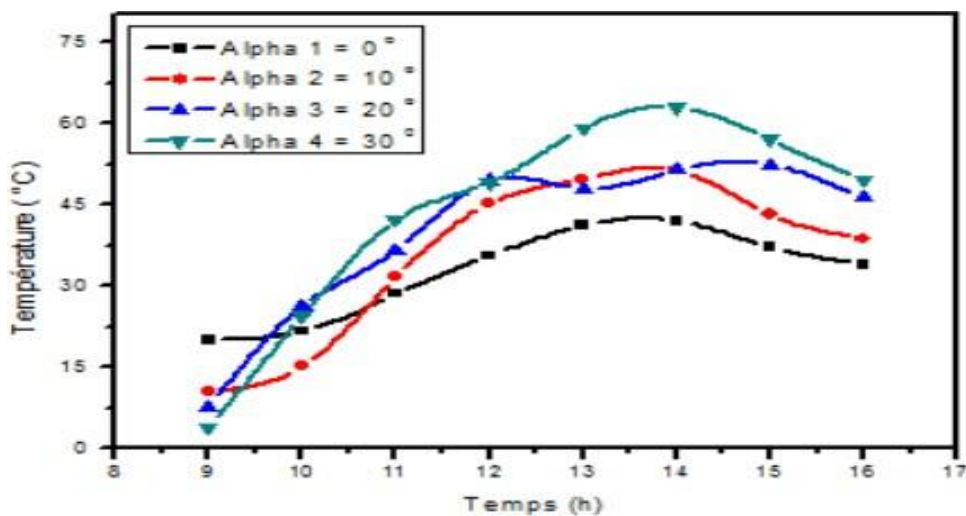
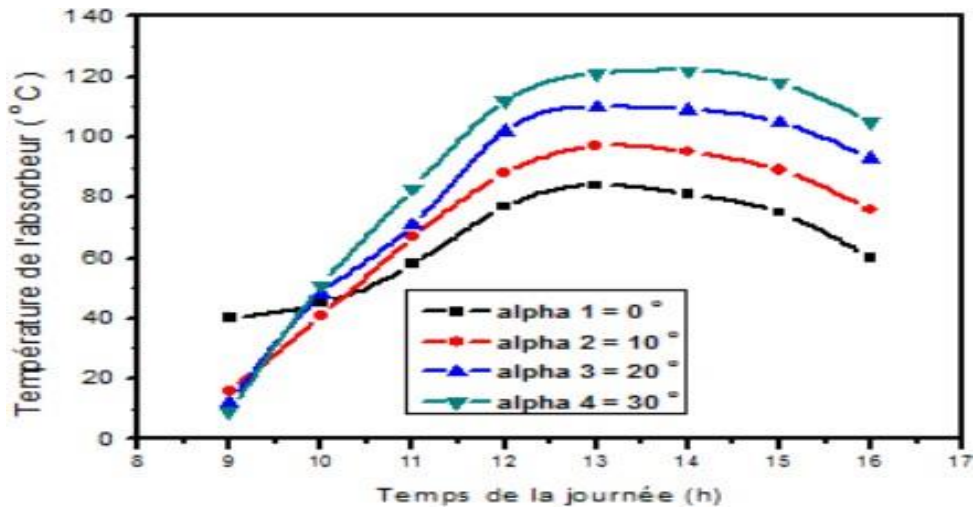


Figure (I.26) : Evolution de la température de Plexiglas en fonction du temps de la journée pour différent angles d'inclinaison[20]



Figure(I.27) : Evolution de la température de sortie en journée pour différent angles d'inclinaison [20]

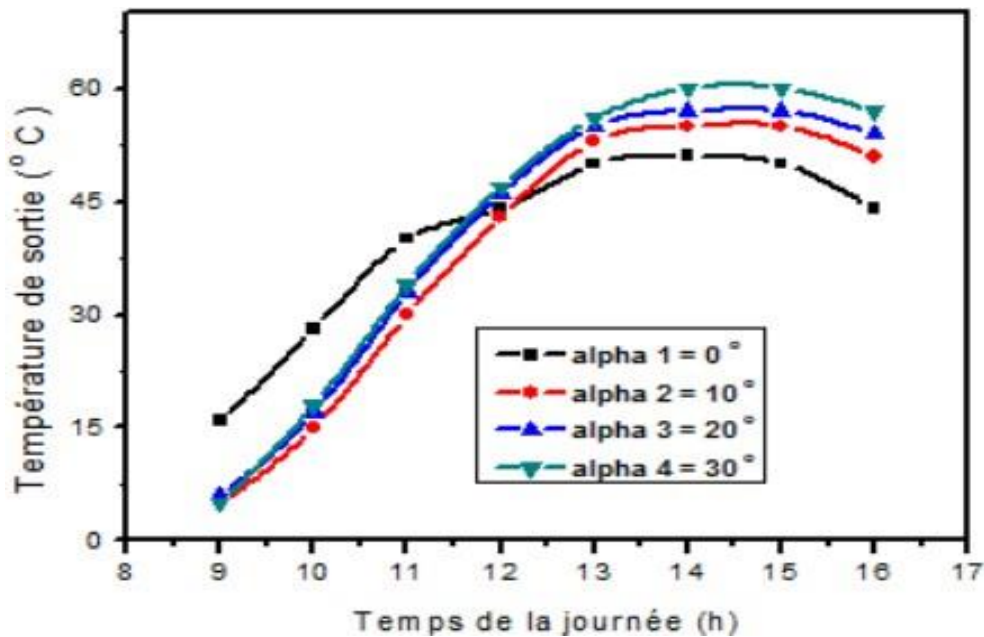


Figure (I.28) : Evolution de la température de sortie en fonction du temps de la journée pour différent angles d'inclinaison.

I.6. CONCLUSION :

A travers cette étude bibliographique, on a remarqué que L'objectif principal de ces travaux été 'améliorer l'efficacité thermique des capteurs solaires et de trouver des solutions technologiques adéquates aux différents problèmes qui peuvent faire face au bon fonctionnement des ces systèmes.

CHAPITRE II

CHAPITRE II

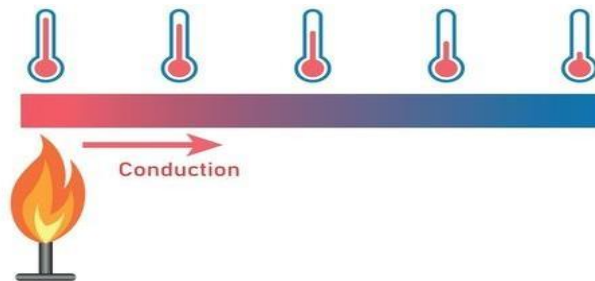
Les Transferts de chaleurs

II.1. Les transferts de chaleur

II.1.1. Transfert de chaleur par conduction

La conduction thermique est un mode de transfert thermique qui apparaît au sein d'un même milieu, et qui est un phénomène analogue à la conduction électrique : Une expérience simple pourrait consister à un prendre une casserole entièrement métallique (manche compris) et la mettre sur une cuisinière, en chauffe. Il est inutile de préciser qu'au bout d'un certain temps, le manche va devenir brûlant, à tel point qu'il deviendra insaisissable. C'est d'ailleurs à cause de ce phénomène de conduction thermique que l'on ne fait pas des manches de casserole en fer, ou autre matériau conducteur thermique. [21]

La conduction est un transfert spécifique, puisqu'elle nécessite un même milieu, ou un contact solide entre deux milieux. Si le transfert thermique s'effectue par conduction, ce contact est nécessaire :



Figure(II.1) : Transfert de chaleur par conduction.

Le flux de chaleur dépend du gradient de température, et de la conductivité thermique du matériau (λ). Il s'agit de la loi de Fourier :

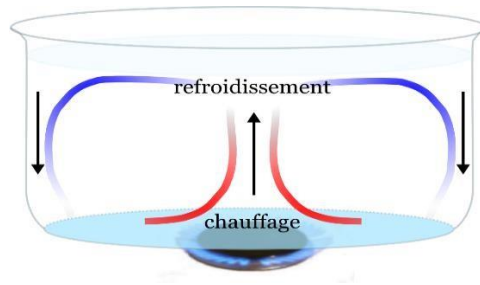
$$\varphi = -\lambda \overrightarrow{\text{grad}}(T) \quad (\text{II.1})$$

II.1.2. Transfert de chaleur par convection

La convection est l'ensemble des mouvements internes (verticaux ou horizontaux) qui animent un fluide et qui impliquent alors le transport des propriétés des particules de ce fluide au cours de son

déplacement. Elle peut être due à des différences de température, une agitation mécanique, un pompage etc.

$$\varphi = hS(T_S - T_\infty) \quad (\text{II.2})$$



Figure(II.2) : Transfert de chaleur par convection. [22]

II.1.2.1. Types de convection

- **Convection naturelle**

La convection naturelle est un phénomène de la mécanique des fluides, qui se produit lorsqu'un gradient induit un mouvement dans le fluide.

- **Convection forcée**

La convection forcée est provoquée par une circulation artificielle (pompe, turbine, ventilateur) d'un fluide.

- **Convection mixte**

La convection mixte est considérant les diverses combinaisons des différences de la température imposé et des configurations géométriques de la cavité.

II.1.3. Transfert de chaleur par Rayonnement

Le rayonnement, parfois dit thermique, est un rayonnement électromagnétique. On l'associe souvent à un rayonnement infrarouge car c'est cette partie du spectre qui est le plus souvent prépondérante dans les échanges thermiques.

Le flux thermique surfacique, s'exprime par rapport à l'émission du corps noir dans la loi de Stefan-Boltzmann :

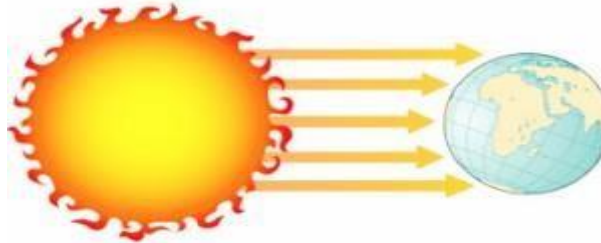
$$\varphi = \varepsilon\sigma T^4 \quad (\text{II.3})$$

Avec

σ : Constante de Stefan-Boltzmann ($5.6703 \times 10^{-8} Wm^{-2}K^{-4}$) ;

ε : Émissivité, indice valant 1 pour un corps noir et qui est compris entre 0 et 1 selon l'état de surface du matériau (sans dimension) ;

T : température du corps (K).



Figure(II.3) : Transfert de chaleur par rayonnement. [24]

II.2. Les nombres adimensionnels

II.2.1. Nombre de Reynolds

Le nombre de Reynolds il est défini comme : [25]

$$Re = \frac{\rho \times v \times L}{\mu} = \frac{U \times L}{\nu} \quad (\text{II.4})$$

U : Vitesse moyenne de l'écoulement. [$m s^{-1}$].

L : Longueur caractéristique. [m].

ν : viscosité cinématique du fluide. [m^2s^{-1}].

μ : Viscosité dynamique du fluide [$Kg m^{-1}s^{-1}$].

ρ : La masse volumique. [$Kg m^{-3}$].

II.2.2. Nombre de Nusselt

C'est le rapport entre le flux de chaleur transféré par convection et le flux de chaleur par conduction. Le nombre de Nusselt est défini comme :

$$Nu = \frac{h \times L}{K} \quad (\text{II.5})$$

L : Longueur caractéristique [m].

K : Conductivité thermique du fluide [$W m^{-1}K^{-1}$].

h : Coefficient de convection.

II.2.3. Nombre de Grashof

Le nombre de Grashof est le rapport entre l'effet de flottaison par force motrice d'Archimède et l'effet résistif de l'écoulement.

$$Gr = \frac{g \times \beta \times L^3 \times (T_p - T_{ext})}{\nu^2} \quad (\text{II.6})$$

g : Accélération de la pesanteur [ms^{-2}].

β : Coefficient de dilatation ou d'expansion thermique [$1/K$].

T_p : Température des parois [K].

T_e : Température externe [K].

L : Longueur caractéristique [m].

ν : Viscosité cinématique [$m^2 s^{-1}$].

II.2.4. Nombre de Prantl

Le nombre de Prantl est défini comme :

$$Pr = \frac{P}{\alpha} \quad (\text{II.7})$$

α : La diffusivité thermique [$m^2 s^{-1}$]

Avec

$$\alpha = \frac{k}{\rho \times C_p} \quad (\text{II.8})$$

Le nombre de Prandtl peut aussi être écrit comme :

$$Pr = \frac{\mu \times C_p}{k} \quad (\text{II.9})$$

C_p : La chaleur spécifique à pression constante [$J kg^{-1}K^{-1}$].

k : La conductivité thermique [$W m^{-1} K^{-1}$].

II.2.5. Nombre de Rayleigh

Le nombre de Rayleigh regroupe les nombres de Prandtl et Grashof et est donné par :

$$Ra = Gr \times Pr = \frac{g \times \beta \times L^3 (T_p - T_{ext})}{V \times \alpha} \quad (\text{II.10})$$

II.3. Les nanofluides

II.3.1. Introduction

Les transferts de chaleur au sein de fluides conduit à de nombreuses applications pratiques et industrielles, y compris dans le transport, l'approvisionnement en énergie, la climatisation et le refroidissement électronique, etc.

L'essor actuel des nanosciences a pour origine la mise en évidence des propriétés spécifiques de la matière aux dimensions nanométriques. Ceci a suscité de nouveaux champs d'étude dans de très nombreux laboratoires et a permis le développement des fluides aux propriétés originales.

Nous restreindrons dans notre travail de thèse aux nano fluides.

II.3.2. Les nano fluides

Les nano fluides sont des dispersions de particules de taille nanométrique (dont le diamètre est typiquement inférieur à 100 nm), appelées nanoparticules, dans un fluide de base afin d'en améliorer certaines propriétés. Dans le cas des fluides caloporteurs, un des premiers paramètres à prendre en compte afin d'évaluer le potentiel d'échange de chaleur est la conductivité thermique. Or, les fluides les plus employés tels que l'eau, l'huile ou l'éthylène-glycol (EG) ne disposent que d'une conductivité thermique faible par rapport à celle des solides cristallins. Avec les nano fluides, l'idée est alors d'insérer, au sein du fluide de base, des nanoparticules afin d'augmenter la conductivité thermique effective du mélange [26]. Ce terme nano fluide a été introduit par Choi. Les types de nanoparticules sont [27] :

- ✓ Métalliques : le cuivre (Cu).
- ✓ Oxydes : l'oxyde de cuivre (CuO), l'oxyde de magnésium (MgO).

Pour un nanofluide, il permet d'assurer la stabilité de la suspension dans le temps et d'éviter tout Un nanofluide est une solution colloïdale contenant des particules solides de petite taille, désignée sous le terme de « nanoparticules », en suspension dans un liquide de base dont on veut modifier au progresser certaines de propriétés, notamment thermiques. Le choix des liquides de bases est primordial phénomène d'aggrégation, la sélection d'un telle fluide se fera en fonction de la nature de nanoparticule, les solvants plus utilisés sont :

- ✓ L'eau

- ✓ L'éthylène-glycol, EG
- ✓ Les huiles
- ✓ Le toluène

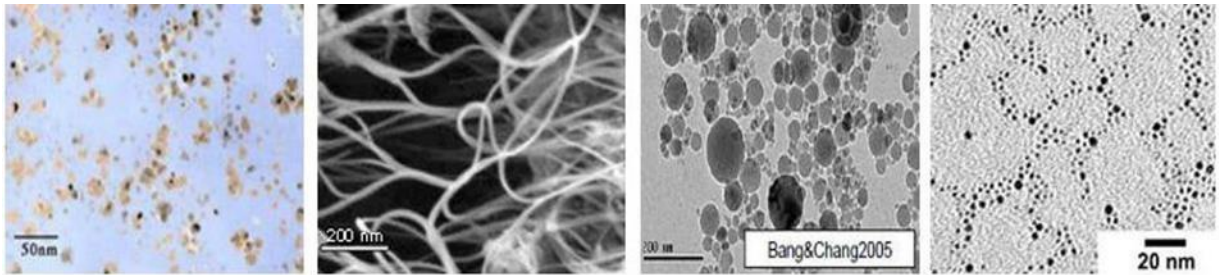


Figure (II.4) : Nanofluides vue au microscope électronique : éthylène glycol + cuivre 0.5% ; eau + nanotube ; eau + alumine ; eau + or à 2n

II.3.4. Préparation des nanofluides

Les procédés de fabrication de nanoparticules sont nombreux. Ils peuvent être classés en deux catégories :

- Les procédés physiques, comme le broyage mécanique.
- Les procédés chimiques, comme la pyrolyse laser ou la précipitation chimique.

En outre, il existe deux méthodes principales pour produire des nanofluides :

A-La méthode en deux étapes

Consiste à produire dans un premier temps les nanoparticules, puis à les disperser dans le fluide de base. Pour permettre une bonne dispersion, une forte action mécanique à l'aide d'un agitateur rotatif ou d'ultrason est souvent nécessaire afin de briser l'agglomérant. En outre, pour

Éviter l'agglomération due aux forces d'attraction entre les particules, on utilise des forces de répulsion électrostatique en chargeant la surface des particules en adaptant le pH.

On peut également utiliser les forces de répulsion stérique à l'aide de molécules adsorbées ou greffées sur la surface.

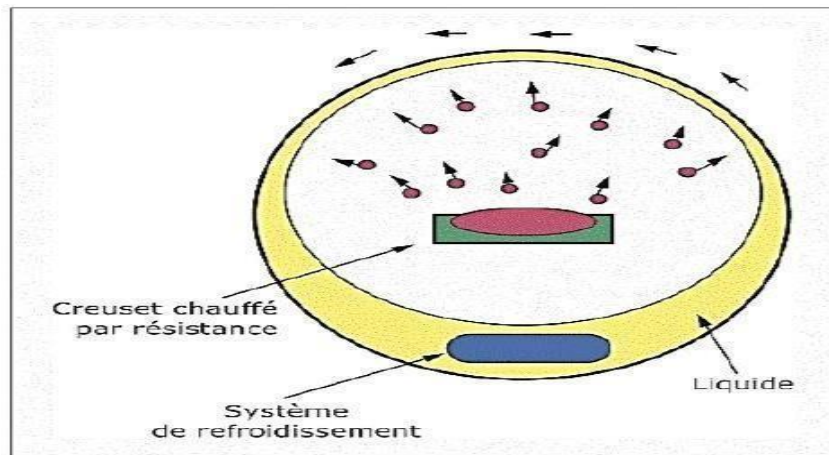
B- La méthode en une seule étape

Consiste à produire les nanoparticules dans le fluide de base.

Moins industrielle, elle n'est utilisable que pour certains nanofluides mais permet d'éviter l'agglomération et plus la conductivité thermique du mélange est améliorée.

Néanmoins, pour une famille de nanofluides donnée, les résultats de la littérature présentent une dispersion assez forte.

Cette dispersion peut être attribuée au mode de synthèse des nanofluides et/ou à la méthode de mesure.



Figure(II.5) : Procèdes de synthèse des nanofluides en une seule étape [27]

Les dispersions de nanoparticules trouvent déjà de nombreux domaines d'applications pour leurs propriétés magnétiques (paliers magnétiques à ferrofluides, agents de contraste en imagerie médicale), pour leurs propriétés électriques (dépôt conducteur électromouillage pour lentilles liquides), et de marquage de cellules ou de contrefaçon avec des nanoparticules Fonctionnalisées.

En thermique, les nanofluides peuvent être utilisés partout où des flux de chaleur importants doivent être évacués par des boucles liquides fermées : refroidissement de composants électriques et électroniques, radars, automobile...etc.).

Les nanofluides pourraient apporter une solution intéressante dans le refroidissement des miroirs, cibles et filtres des lasers et rayons **X** de forte puissance, ainsi que des Micro Electro Mechanical system [27].

Les dispersions de nanoparticules trouvent déjà de nombreux domaines d'applications pour leurs propriétés magnétiques (paliers magnétiques à ferrofluides, agents de contraste en imagerie médicale), pour leurs propriétés électriques (dépôt conducteur électromouillage pour lentilles liquides), et de marquage de cellules ou de contrefaçon avec des nanoparticules Fonctionnalisées.

En thermique, les nanofluides peuvent être utilisés partout où des flux de chaleur importants doivent être évacués par des boucles liquides fermées : refroidissement de composants électriques et électroniques, radars, automobile...etc.).

II.4. Autres applications

- L'échangeur de chaleur
- le refroidissement d'éléments électroniques (produire un nanofluide stable qui est compatible avec des circuits et des composants électroniques).

- Nanoparticules pour l'efficacité des réfrigérateurs (formulations de lubrifiants et liquides de refroidissement mélangés avec des nanoparticules pourraient entraîner une augmentation de l'efficacité énergétique des réfrigérateurs).
- Aéronautique et spatial
- Refroidissement des systèmes nucléaire.
- Transport (gestion de refroidissement / véhicule moteur thermique)
- Autres applications (caloducs, piles à combustible, le chauffage solaire d'eau, forage stockage thermique).

II.5. Les avantages des nanofluides

- Une grande surface de transfert de chaleur entre les particules et les fluides.
- Haute dispersion et stabilité avec prédominante mouvement brownien des particules.
- Réduit par rapport au liquide pur pour obtenir équivalent intensification de transfert de chaleur.
- Particules réduites de colmatage par rapport aux conventionnelles boues, favorisant ainsi la miniaturisation du système.
- Propriétés ajustables, dont la conductivité thermique et la mouillabilité de la surface en faisant varier les concentrations de particules en fonction de différentes applications.

II.6. Les inconvénients des nanofluides

- Fortes pertes de charge.
- Erosion.
- Sédimentation.
- Bouchons dans les écoulements.
- Le coût élevé des nanofluides.
- Difficultés dans le processus de production.

II.7. Domaines d'application des nano fluides

Les dispersions de nanoparticules trouvent de nombreux domaines d'applications pour leurs propriétés magnétiques, électriques et thermiques. Ils sont présents dans les secteurs de l'environnement, de l'énergie, du textile, de la chimie, des cosmétiques, de la santé, de l'automobile, du bâtiment, etc. On les trouve aussi :

- Refroidissement des systèmes nucléaires, des composants électriques et électroniques.
- Transport (gestion de refroidissement / véhicule moteur thermique).
- Echangeurs de chaleur.
- Agents de contraste en imagerie médicale.

- Biomédecine.
- Autres applications : caloducs, piles à combustible, chauffage solaire de l'eau, refroidisseurs, réfrigérateurs domestiques, forages, lubrifiants, stockage thermique, ...

II.8. Propriétés thermo physiques des nanofluides

De nombreuses études ont été menées afin de mesurer, mais aussi d'expliquer et de prédire, l'augmentation de la conductivité thermique des nanofluides.

Différentes méthodes de mesure de conductivité thermique ont été employées, la plus courante reste la méthode utilisant un fil chaud en régime transitoire.

Néanmoins, compte tenu de la dispersion des résultats, des biais expérimentaux ont été suspectés et d'autres méthodes de mesure ont été utilisées, comme la méthode 3ω , les méthodes stationnaires utilisant une différence de température entre deux plaques ou deux cylindres et les méthodes optiques basées sur la variation de l'indice de réfraction en fonction de la température [28].

II.8.1. La fraction volumique (φ)

$$\varphi = \frac{\text{volume solid}}{\text{volume totale du nanofluide}} = \frac{v_s}{v_s + v_f} \quad (\text{II.11})$$

Où

v_s : Volume des nanoparticules solides [m^3].

v_f : Volume du fluide de base [m^3].

II.8.2. Conductivité thermique (k)

A-Modèle de Maxwell

$$k_{nf} = \frac{k_s + 2k_f + 2(k_s - k_f)\varphi}{k_s + 2k_f - k_s - k_f \varphi} k_f \quad (\text{II.12})$$

Où

k_{nf} : La conductivité thermique du nanofluide.

k_f : La conductivité thermique du fluide de base.

k_s : La conductivité thermique des particules solides.

B-Modèle de Hamilton et Crosser

$$k_{nf} = \frac{k_s + (n-1)k_f + (n-1)(k_f - k_s)\varphi}{k_s + (n-1)k_f - (k_f - k_s)\varphi} k_f \quad (\text{II.13})$$

$$n = \frac{3}{\Psi}$$

Où (n) est un facteur de forme empirique donné par :

n=3 pour les particules sphériques et **n=6** pour les particules cylindriques.

Pour ($\Psi=1$) (particules sphériques) le modèle de Hamilton et Crosser est identique au modèle de Maxwell.

C-Modèle de Yu et Choi

$$k_{nf} = \frac{k_s + 2k_f + 2(k_s - k_f)(1 + \beta)^3\varphi}{k_s + 2k_f + 2(k_s + k_f)(1 + \beta)^3\varphi} k_f \quad (\text{II.14})$$

Où β est le rapport de l'épaisseur de la couche nanométrique sur le rayon des particules.

D-Modèles corrélations semi-empirique

Il existe plusieurs corrélations semi-empiriques basées sur des résultats expérimentaux utilisées pour calculer la conductivité thermique des différents nanofluides :

$$K_{nf} = (28.905\varphi^2 + 2.8273\varphi + 1) k_f \quad \text{Pour le nanofluide (EG + } Al_2O_3) \quad (\text{II.15})$$

$$K_{nf} = (-13\varphi^2 + 6.3\varphi + 1) k_f \quad \text{Pour le nanofluide (} Al_2O_3 + \text{eau)} \quad (\text{II.16})$$

$$K_{nf} = (11.6\varphi^2 + 9.6\varphi + 1) k_f \quad \text{Pour le nanofluide (Cu + eau)} \quad (\text{II.17})$$

$$K_{nf} = (7146\varphi^2 + 76.6\varphi + 1) k_f \quad \text{Pour le nanofluide (huile + ntc)} \quad (\text{II.18})$$

Les équations (II.15), (II.16), (II.17) et (II.18) sont des corrélations empiriques utilisées pour estimer la conductivité thermique des nanofluides (EG+Al₂O₃), (Al₂O₃+eau), le nanofluide (Cu+eau) et le nanofluide (huile+nanotube de carbone) respectivement.

II.8.3. Viscosité dynamique (μ)

La viscosité peut être définie comme étant une propriété d'un fluide pour qu'il résiste aux déformations lorsqu'il est mis en mouvement.

On peut donc parler de la viscosité comme étant une mesure du frottement interne d'un fluide. Un liquide très visqueux est un liquide qui présente un frottement interne élevé.

La dispersion des nanoparticules dans un liquide a un effet sur la viscosité dynamique de ce dernier. La viscosité obtenue devient la viscosité dynamique du nanofluide qui peut être influencé énormément par la qualité de la dispersion de la nanoparticule dans le fluide de base et de la température.

Cette viscosité dynamique peut être calculée à partir de la viscosité du fluide de base et la fraction volumique du nanofluide. Pour ce qui suit nous allons citer deux modèles pour le calcul des viscosités apparentes :

A-Modèle d'Einstein

La viscosité dynamique d'un nanofluide est donnée par Einstein (1906) pour un mélange contenant des suspensions diluées de particules fines sphériques et rigides est la suivantes :

$$\mu_{nf} = \mu_f (1 + 2.5\varphi) \quad (\text{II.19})$$

Où

μ_{nf} : La viscosité dynamique du nanofluide.

μ_f : La viscosité dynamique du fluide de base.

φ : La fraction volumique des nanoparticules.

B-Modèle de Brinkman

Par contre, Brinkman (1952) [28] a étudié la formule d'Einstein pour couvrir une large plage de concentrations volumiques.

$$\mu_{nf} = \frac{\mu_f}{(1 - \varphi)^{2.5}} \quad (\text{II.20})$$

II.8.4. La masse volumique (ρ)

La détermination de la masse volumique d'un nanofluide parfaitement homogène (bonne dispersion des nanoparticules dans le fluide) en fonction de la fraction volumique à une température donnée, se fait à partir de la définition de la masse volumique d'un mélange.

Dans le cas d'un mélange, la masse volumique est donnée par la relation suivante :

$$\rho_{nf} = \frac{m_f + m_s}{v_f + v_s} = \frac{\rho_f v_f + \rho_s v_s}{v_f + v_s} \quad (\text{II.21})$$

A partir de la relation (II.1), on déduit alors la masse volumique du nanofluide :

$$\rho_{nf} = (1 - \varphi)\rho_f + \varphi\rho_s \quad (\text{II.22})$$

Où

ρ_{nf} : La masse volumique du nanofluide.

ρ_f : La masse volumique du fluide de base.

ρ_s : La masse volumique des nanoparticules.

II.8.5. La chaleur massique (C_p)

La chaleur massique ou la chaleur spécifique est la capacité calorifique par unité de masse d'une substance ou d'un système homogène $c_p = dQ/mdt$. La chaleur spécifique correspond à

l'apport de chaleur nécessaire pour élever la température de l'unité de substance de 1 K lors de la transformation considérée. Pour la détermination de la chaleur spécifique d'un nanofluide, on peut citer les deux modèles suivantes :

A-Modèle du Pak et Cho

Pak et Cho (1998) (41) ont utilisé la formule suivante :

$$(c_p)_{nf} = (1 - \varphi)(c_p)_f + \varphi(c_p)_s \quad (\text{II.23})$$

B-Modèle du Xuan et Roetzel

Xuan et Roetzel (2000) ont utilisé la formule suivante :

$$(\rho c_p)_{nf} = (1 - \varphi)(\rho c_p)_f + \varphi(\rho c_p)_s \quad (\text{II.24})$$

II.8.6. Coefficient d'expansion volumique (β)

Pour calcul la valeur de ce coefficient pour les nanofluides, de très nombreux auteurs ont utilisé à la suite des premiers travaux sur les nanofluides et par analogie avec la relation (II.22), on déduit l'expression suivante :

$$\beta_{nf} = \frac{(1 - \varphi)(\rho\beta)_f + \varphi(\rho\beta)_s}{(1 - \varphi)\rho_f + \varphi\rho_s} \quad (\text{II.25})$$

Où

β_{nf} : Le coefficient de dilatabilité du nanofluide.

β_f : Le coefficient de dilatabilité du fluide de base.

β_s : Le coefficient de dilatabilité des nanoparticules.

II.9. Nanoparticules et les fluides porteurs

Une nanoparticule est un assemblage de quelques centaines à quelques milliers d'atomes, conduisant à un objet dont au moins l'une des dimensions est de taille nanométrique (1 à 100 nm).

Les nanoparticules se situent à la frontière entre l'échelle microscopique et l'échelle atomique ou moléculaire.

Elles ont un intérêt à la fois fondamental et appliqué et sont très étudiées de nos jours.

De nombreux physiciens et chimistes les synthétisent, d'autres physiciens les étudient afin de comprendre la physique de ces objets nanométriques et des biologistes les utilisent comme marqueurs cellulaires.

Les nanoparticules les plus utilisées pour obtenir des nanofluides sont :

- le cuivre, Cu.

- l'oxyde de cuivre, CuO.
- l'oxyde de magnésium, MgO.

Le liquide de base utilisé est :

- l'eau.

Nous présentons sur le **Tableau (II.1)**, les valeurs des conductivités thermiques des nanoparticules et des fluides de base utilisées pour former des nanofluides.

Les Matériaux	Les formes	Les conductivités thermiques (W/mK)
Des solides métalliques	Cuivre	387.6
Des oxides métalliques	Oxide de cuivre	30
	Oxide de magnésium	76.5

Tableau (II.1) : Valeurs des conductivités thermiques des nanoparticules et des fluides utilisés.

II.10. Conclusion

Les nanofluides, des suspensions de nanoparticules dans des fluides de base, présentent des propriétés thermiques améliorées qui en font des candidats prometteurs pour diverses applications industrielles et technologiques.

Leur capacité à améliorer la conductivité thermique, à augmenter le transfert de chaleur et à réduire la résistance thermique permet de les utiliser dans des secteurs tels que le refroidissement des composants électroniques, les échangeurs de chaleur, les réacteurs nucléaires et les systèmes de climatisation.

Cependant, l'optimisation et l'implémentation des nanofluides restent un défi.

Les questions concernant la stabilité à long terme des suspensions, la compatibilité avec les matériaux utilisés dans les systèmes, ainsi que les coûts de production et de traitement des nanoparticules doivent être résolues.

De plus, l'impact environnemental et les effets sur la santé humaine des nanoparticules nécessitent une évaluation approfondie.

En conclusion, bien que les nanofluides offrent des avantages considérables pour le transfert de chaleur et l'efficacité énergétique, leur utilisation généralisée nécessite encore des recherches approfondies pour surmonter les défis techniques et environnementaux.

Les progrès dans ce domaine pourraient révolutionner les technologies de gestion thermique et améliorer l'efficacité énergétique dans de nombreuses applications industrielles.

CHAPITRE III

CHAPITRE III

Formulation Mathématique et Simulation Numérique

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

Dans notre problème, on s'intéresse à la convection thermique avec rayonnement solaire dans le tube du panneau lorsque ce dernier est soumis à une irradiation solaire sous les conditions normales.

Dans ce chapitre on va formuler notre modèle mathématique, les hypothèses simplificatrices ainsi que les conditions initiales et aux limites appropriées à notre configuration.

La géométrie configuration on considérée est illustrée sur la **figure (III.1) (III.2)**.

Il s'agit d'un panneau solaire thermique fonctionnant avec un absorbeur à tube contenant un fluide qui est l'air ou l'eau (un nano fluide) constitué respectivement des éléments suivants :

- Un vitrage : comme plaque supérieure
- Une plaque absorbante: emmagasiné la chaleur et la transférer vers le fluide caloporteur.
- Un tube dans lequel s'écoule le fluide caloporteur : (air ou eau) son rôle d'évacuer la chaleur emmagasinée par la surface absorbante
- Un isolant à l'arrière : pour minimiser les pertes thermiques

Notre configuration **figure(III.2)** c'est limité à un petit domaine pour faciliter la construction de la configuration.

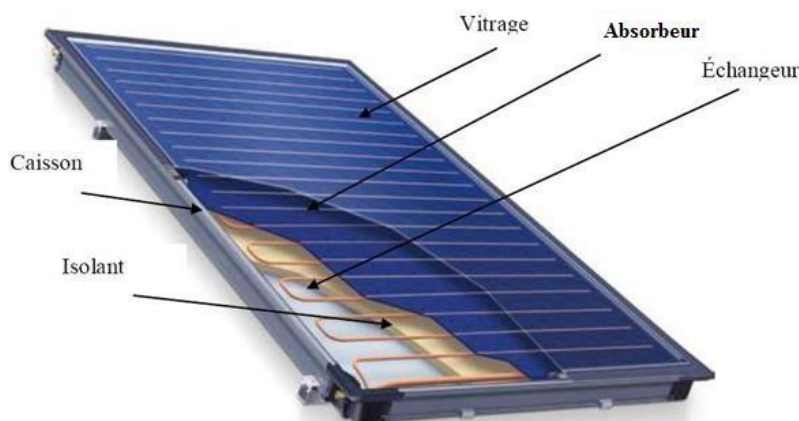


Figure (III.1) : Panneau solaire thermique

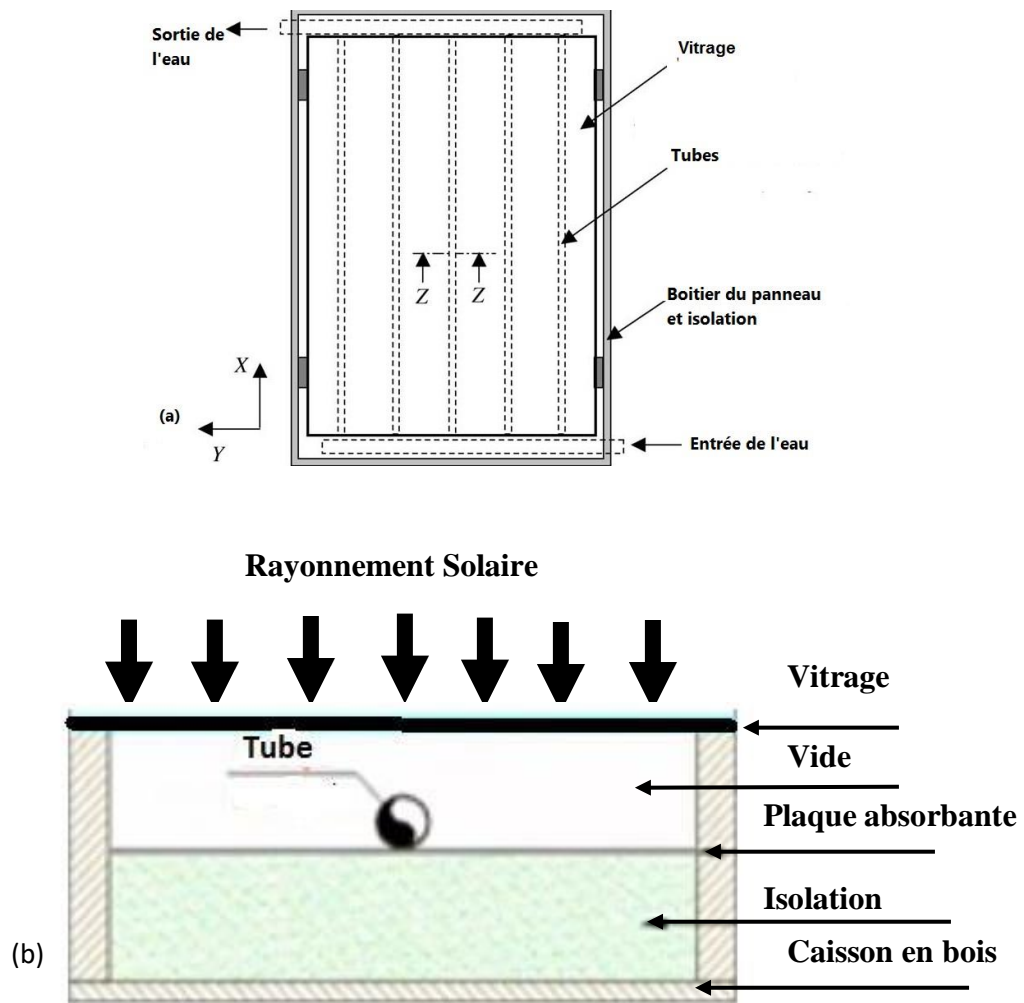


Figure III.2 : Vue de dessus du panneau thermique (a),
la géométrie étudiée (section z-z) (b)

III.3. Hypothèses

Afin de simplifier la formulation mathématique de notre problème, nous adapterons les Hypothèses simplificatrices suivantes :

- L'écoulement du fluide et le transfert de chaleur sont permanents ($\frac{\partial}{\partial t} = 0$).
- 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 T_0 : Température de référence.
- Le transfert de chaleur par rayonnement n'est pas négligeable.
- Le milieu fluide est absorbant.

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 ($\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}$) s'écrivent comme suit :

➤ **Équation de continuité**

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

➤ **Équations de quantités de mouvement suivant x**

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

➤ **Équations de quantités de mouvement suivant y**

$$\frac{\partial(\rho vu)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \tag{III.3}$$

➤ **Équations de quantités de mouvement suivant z**

$$\frac{\partial(\rho wu)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho wv)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w^2)}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) - g \beta (T - T_0) \tag{III.4}$$

➤ **Équation d'énergie**

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

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

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

III.4.1. Equation représentatives pour le nano fluide

Les équations gouvernantes dans le cas d'un nano fluides sont identiques aux précédentes (III.1- III.2- III.3- III.4- III.5- III.6) sauf dans les propriétés du nano fluide et assumant les mêmes hypothèses ces équations s'écrivent comme suit :

➤ **Équation de continuité**

$$\rho_{nf} \left(\frac{\partial(u)}{\partial x} + \frac{\partial(v)}{\partial y} + \frac{\partial(w)}{\partial z} \right) = 0 \quad (III.7)$$

➤ **Équations de quantités de mouvement suivant x**

$$\rho_{nf} \left(\frac{\partial(u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(uv)}{\partial y} + \frac{\partial(uw)}{\partial z} \right) = - \frac{\partial P}{\partial x} + \mu_{nf} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (III.8)$$

➤ **Équations de quantités de mouvement suivant y**

$$\rho_{nf} \left(\frac{\partial(vu)}{\partial x} + \frac{\partial(v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(vw)}{\partial z} \right) = - \frac{\partial P}{\partial y} + \mu_{nf} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (III.9)$$

➤ **Équations de quantités de mouvement suivant z**

$$\rho_{nf} \left(\frac{\partial(wu)}{\partial x} + \frac{\partial(wv)}{\partial y} + \frac{\partial(w^2)}{\partial z} \right) = - \frac{\partial P}{\partial z} + \mu_{nf} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) - g \beta_{nf} (T - T_0) \quad (III.10)$$

➤ **Équation d'énergie**

$$\rho_{nf} \left(\frac{\partial(uT)}{\partial x} + \frac{\partial(vT)}{\partial y} + \frac{\partial(wT)}{\partial z} \right) = \left(\frac{K}{C_p} \right)_{nf} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (III.11)$$

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

$$\rho_{nf} C_{p,nf} \left(\frac{\partial(\rho u T)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v T)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w T)}{\partial z} \right) = k_{nf} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) - \frac{1}{\rho_{nf} C_{p,nf}} \Delta q_r \quad (III.12)$$

Propriétés physiques du nano fluide sont exprimées par les relations suivantes :

- **La densité volumique**

$$\rho_{nf} = (1-\phi) \rho_f + \phi \rho_s \quad (III.13)$$

- **La chaleur spécifique**

D'après modèle du PakEt Cho

$$cp_{nf} = (1-\varphi) Cp_f + \varphi (Cp_s) \tag{III.14}$$

- **Le coefficient de dilatation volumique**

Modèle du PakEt Cho

$$\beta_{nf} = (1-\varphi) \beta_f + \varphi \beta_s \tag{III.15}$$

- **La conductivité thermique**

Modèle de Hamilton et Crosser

$$K_{nf} = \frac{K_s + (n-1)K_f - (n-1)(K_f - K_s)\varphi}{K_s + (n-1)K_f + (K_f - K_s)\varphi} K_f \tag{III.16}$$

- **Viscosité dynamique**

Pour la viscosité la formule utilisée est celle du modèle de **Brinkman**

$$\mu_{nf} = \frac{\mu_f}{(1-\varphi)^{2.5}} \tag{III.17}$$

III.5. Le couplage convection-rayonnement

Plusieurs études ont montré que le rayonnement a un effet sur les écoulements et le transfert de chaleur.

Le couplage convection-rayonnement considère uniquement les échanges radiatifs entre les différentes surfaces du domaine, associant le fluide à un milieu transparent non-participatif.

Aussi, il ne s'effectue qu'au niveau des parois. Pour la modélisation du rayonnement thermique, le code CFD FLUENT propose cinq modèles différents : modèle de rayonnement de transfert discret (DTRM), modèle de rayonnement Rosse land, modèle des ordonnées discrètes DO, modèle de rayonnement surface-to Surface S2S et le modèle de rayonnement de modèle de rayonnement P-1 qu'on a opté pour cette étude.

III.6. Bilan thermique du capteur hybride PV/T à base

➤ **Pour le vitrage :**

$$M_v C_v \left(\frac{dT_v}{dt} \right) = P_{v,v} A_v - h_{rv} (T_{ciel} - T_v) A_v - h_{vv} (T_a - T_v) A_v - h_{cv} (T_{Pvc} - T_v) A_v \tag{III.18}$$

Avec:

: Masse du vitrage, (kg)

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

: Surface de la vitre, (m²)

P_v : Quantité d'énergie absorbée pour le vitrage, (W/m²)

h_{vv} : Coefficient d'échange thermique par convection entre la vitre et l'ambiance, (W/m².K)

h_{rv} : Coefficient d'échange thermique par rayonnement entre la vitre et le ciel, (W/m².K)

T_a : Température du vitrage, (K)

T : Température ambiante (K)

T_{ciel} : Température du ciel (K)

La puissance absorbée par le vitrage P_v est calculée par l'équation suivante [42]:

$$P_v = p_{glob} \times \alpha_v \quad (III.19)$$

Tel que:

P_{glob} : représente l'intensité de rayonnement global incident sur un plan incliné, cette quantité est estimée par la méthode développée [42].

α_v : Représente le coefficient d'absorption du vitrage

r_v : Coefficient de transmission de la vitre

➤ **Pour l'absorbeur**

$$M_{abs} C_{p_{abs}} \left(\frac{dT_{abs}}{dt} \right) = h_{cc} (T_{pv} - T_{abs}) A_{pv} + h_{vabs} (T_f - T_{abs}) A_{abs} + h_{rabs} (T_{is} - T_{abs}) A_{abs} + A_{abs} \times P_{abs} \quad (III.20)$$

M_a : Masse de l'absorbeur, (kg)

C_{p_a} : Chaleur spécifique du absorbeur, (J/ kg.K)

A_{abs} : Surface de l'absorbeur, (m²)

h_{vabs} : Coefficient d'échange thermique par convection entre l'absorbeur et le fluide, (W/m².K)

h_{rabs} : Coefficient d'échange thermique par rayonnement entre l'absorbeur et l'isolant, (W/m².K)

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

La puissance absorbée par l'absorbeur P_a (W/m²) est donnée par la relation suivante [43]:

$$P_{abs} = \tau_v \times \alpha_{abs} \times P_{glob} \quad (III.21)$$

Avec:

α_{abs} : Coefficient d'absorption de l'absorbeur.

➤ **Pour l'écoulement du fluide dans le conduit**

$$M_f c_{p_f} \left(\frac{dT_f}{dt} \right) = h_{vabs} (T_{abs} - T_f) A_{abs} + h_{vis} (T_{is} - T_f) A_{is} - \dot{m} C (T_{sortie} - T_{entre}) A_f \quad (III.22)$$

Avec:

M_f : Masse du fluide, (kg)

C_p eau : Chaleur spécifique du fluide, (J/ kg.K)

A_f : Surface traversée par le fluide,(m²)

h_{vis} : Coefficient d'échange thermique par convection entre le fluide et l'isolant, (W/m².K)

T_{entree} et T_{sortie} : Représentent respectivement la température à l'entrée et à la sortie du tube,(K)

\dot{m} : Débit massique du fluide, (kg/s).

➤ **Pour l'isolant**

$$M_{is} C_{p, is} \left(\frac{dT_{is}}{dt} \right) = h_{vis}(T_f - T_{is})A_{is} + (h_{ci} + h_{va})(T_a - T_{is})A_{is} + h_{rabs}(T_{abs} - T_{is})A_{is} + A_{is} \times h(T_{sol} - T_{is}) \quad (III.23)$$

Avec:

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

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

A_{bis} : Surface de l'isolant, (m²)

h_{ci} : Coefficient d'échange thermique par conduction à travers l'isolant, (W/m².K)

h_{ra} : Coefficient d'échange thermique par rayonnement entre l'isolant et le sol, (W/m².K)

h_{va} : Coefficient d'échange thermique par convection de l'air qui se trouve entre l'isolant et le sol, (W/m².K)

T_{sol} : Température du sol, (K)

III.7. 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:

$$h_c = \frac{k}{e} \quad (III.24)$$

Avec :

e : Epaisseur de la paroi, (m)

k : Conductivité thermique du matériau, (W /m.K)

Le coefficient d'échange thermique par conduction entre la Pvc et le verre

$$h_{pvcv} = \frac{k_v}{e_v} \quad (III.25)$$

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

h_{Pvc} : Le coefficient d'échange thermique par conduction entre la Pvc et le absorbeur peut être calculé par :

$$h_{cPvc} = \frac{k_{Pvc}}{e_{Pvc}} + \frac{k_{abs}}{e_{abs}} \quad (III.26)$$

k_{Pvc} , k_{abs} et e_{Pvc} , 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 :

$$h_{ci} = \frac{k_i}{e_i} \quad (III.27)$$

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 peut être exprimé par Swinbank par la relation suivante [45] :

$$h_{rv} = \sigma \varepsilon_v (T_v^4 - T_{ciel}^4) / (T_v - T_a) \quad (III.28)$$

Avec:

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

ε_v : Emissivité du vitrage

Selon Ong, 1995[46], Température du ciel est évaluée par la relation suivante :

$$T_{ciel} = 0,05(T_a)^{1,5} \quad (III.29)$$

Le coefficient d'échange thermique par rayonnement entre l'absorbeur et l'isolation peut être exprimé par [45]:

$$h_{rt} = \frac{\sigma(T_{abs} + T_{is})(T_{abs}^2 + T_{is}^2)}{\left(\frac{1}{\varepsilon_{is}} + \frac{1}{\varepsilon_{abs}} - 1\right)} \quad (III.30)$$

Avec :

ε_{is} et ε_{abs} : Représentent respectivement l'émissivité de l'isolant et le absorbeur Le coefficient d'échange thermique par rayonnement entre l'isolant et le sol peut être calculé par:

$$h_{ra} = \sigma \varepsilon (T_{sol} + T_{is})(T_{sol}^2 + T_{is}^2) \quad (III.31)$$

➤ 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 du canal (L_c) qui est dans ce cas un canal rectangulaire, est présentée par un diamètre hydraulique, noté (D_h).

En l'espèce, la convection forcée est mise en jeu entre deux plaques parallèles et un fluide à l'intérieur d'un canal. Pour cela on a utilisé des corrélations expérimentales, en définissant le nombre de Reynold, de Prandtl et de Nusselt [45,47].

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

$$h_{vt} = h_{vis} = Nu \times \frac{k_{eau}}{D_h} \text{(III.32).}$$

Avec:

K_{eau} : Conductivité thermique de l'eau, (W/ m .K)

D_h : Diamètre hydraulique du canal, (m)

III.8. Le rendement

L'étude la plus significative des performances thermiques d'un capteur plan est de déterminer son rendement instantané, le rendement η_{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 :

$$\eta = \frac{P_u}{P_{ab}} = \frac{P_u}{A \times G} \text{(III.33)}$$

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

$$P_u = m C_p (T_{fs} - T_e) \text{(III.34)}$$

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.9. Procédure de résolution numérique

Pour résoudre les équations représentatives du mouvement, il est indispensable d'utiliser un outil numérique convenable à cet effet.

Pour réaliser nos simulations nous avons utilisé le code de calcul « **Fluent** » 6.3.26 qui utilise la méthode des volumes finis. Le préprocesseur **Gambit** a été utilisé pour faire la construction de la géométrie, génération de maillage et l'incorporation des conditions aux limites.

III.10. Définition de la CFD « **Computational Fluid Dynamics** »

La CFD "Computational Fluid Dynamics" « Dynamique des Fluides Numérique », est un ensemble de méthodes numériques permettant d'obtenir une solution approximative d'un problème de dynamique des fluides et/ou de transfert thermique.

Les équations qui interviennent sont celles de la mécanique des fluides (les équations d'Euler, les équations de Navier-Stokes) que l'on peut éventuellement coupler aux équations de transfert thermique ou de réaction chimique., résolues par des méthodes numériques. FLUENT peut modéliser les phénomènes suivants:

- Écoulement dans des géométries 2D ou 3D en utilisant des maillages adaptatifs non structurés.

III.11. Présentation des logiciels Gambit et Fluent

III.11.1. 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.

C'est le deuxième type de maillage que nous avons choisi.

III.11.2. 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

III.11.3. Les avantages de fluent (CFD)

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

III.11.4. 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 convergence
- Affichage des résultats

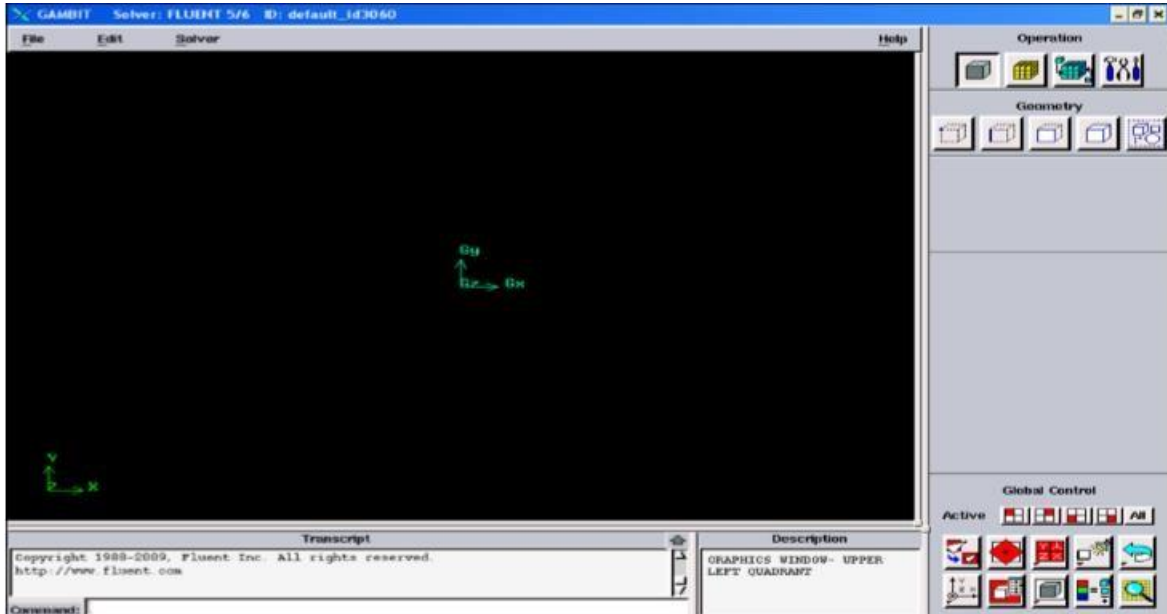
III.12. La conception du domaine physique

III.12.1.Création de la géométrie

Le chemin d'application de gambit est le suivant :

C: /Fluent .Inc/ntx86/Gambit.exe

Vous pouvez créer un raccourci dans la barre des tâches. S'il y a un problème d'exécution, Supprimer tous les fichiers « .Lok » dans le répertoire.

C: /Fluent.Ic/ntbin/ntx86 et relancer Gambit.exe.

Figure(III.3): vue globale de Gambit.

III.13. Les opérations pour construire une géométrie

La résolution par le logiciel de simulation numérique des écoulements FLUENT nécessite la présentation de logiciel GAMBIT.

III.13.1. Préprocesseur Gambit

Le GAMBIT est un logiciel de DAO (Dessin Assisté par Ordinateur) et de génération de maillage.

Il permet de réaliser des géométries en 2D ou 3D et de déconstruire le maillage.

Les options de génération de maillage de GAMBIT offrent une flexibilité de choix.

La géométrie peut être décomposée en plusieurs parties pour générer un maillage structuré, sinon GAMBIT génère automatiquement un maillage non structuré adapté à la géométrie construite.

Les défauts sont détectés à l'aide de son interface comportant plusieurs fenêtres d'outils de création, génération, vérification du maillage du modèle étudié et l'incorporation des conditions aux limites.

III.13.2. Interface de Gambit

Le préprocesseur Gambit est un outil dans la programmation et la simulation en mécanique des fluides et en dynamique des structures.

Il fait partie de la suite de logiciels développés pour faciliter la modélisation, la génération et la préparation des simulations numériques, notamment en conjonction avec le solveur Fluent.

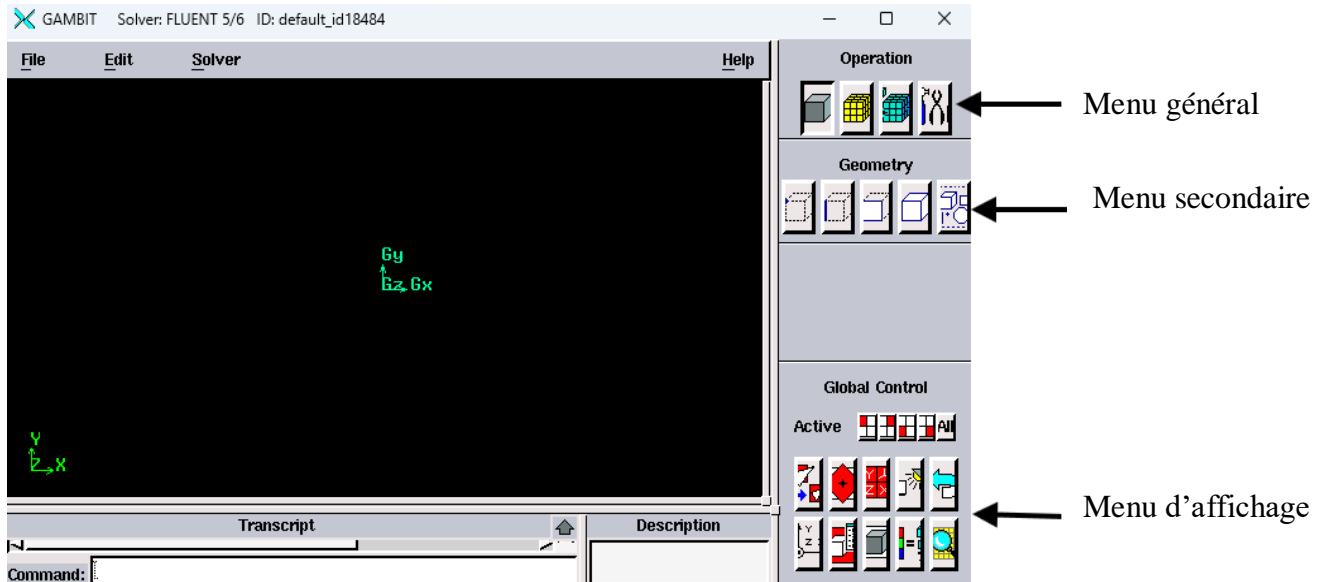


Figure (III. 4) : Vue globale.

III.13.3. Création d'une face rectangulaire

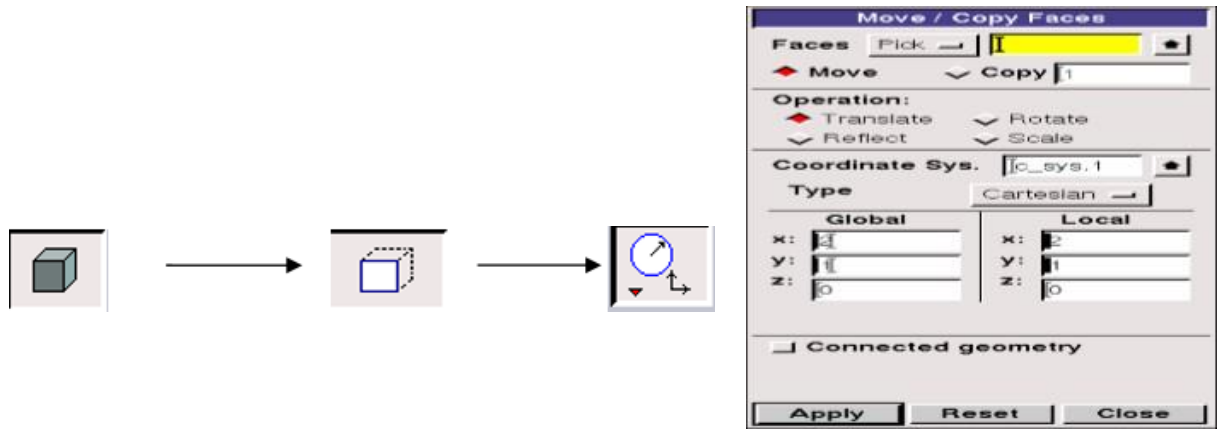
Appuyer sur les boutons suivant successivement pour crées une face rectangulaire



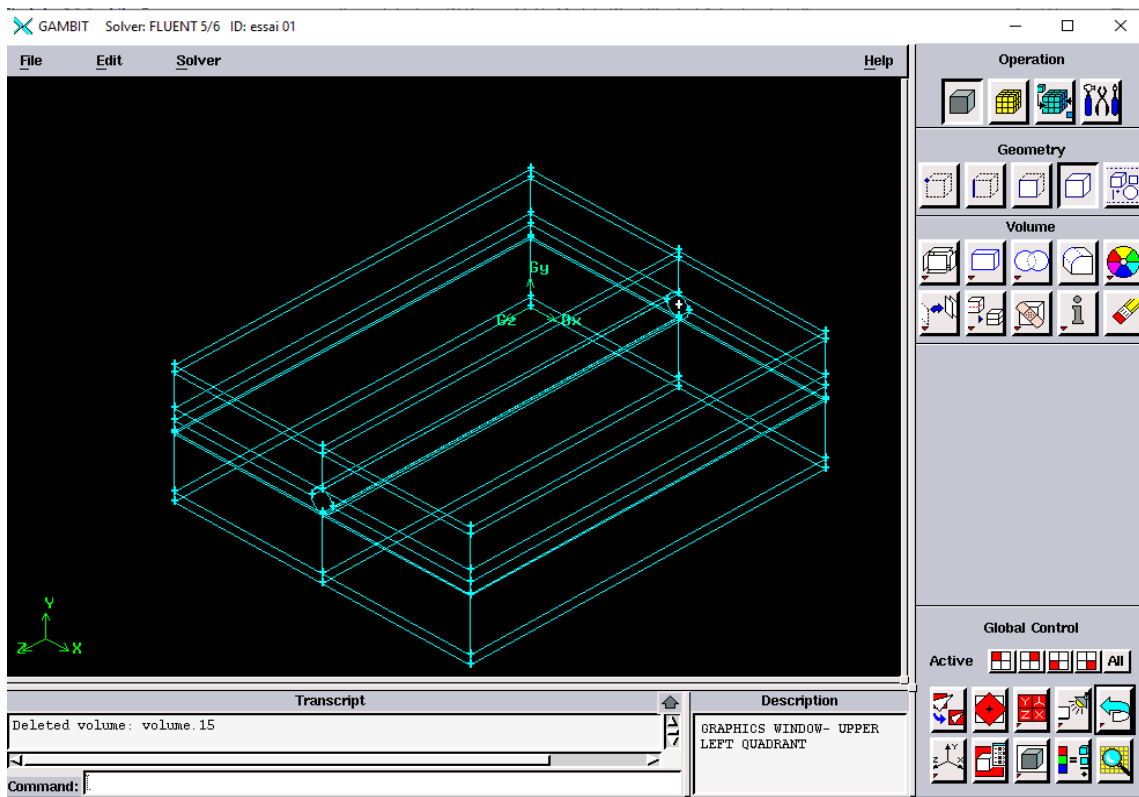
Figure(III.5) : Création d'une face rectangulaire.

III.13.4. Création des faces circulaires

Appuyer sur les boutons suivant successivement pour créer une face circulaire :



Figure(III.6) : Création d`une face circulaire.



Figure(III.7) : Création des faces circulaires.

III.12.4. Création des volumes

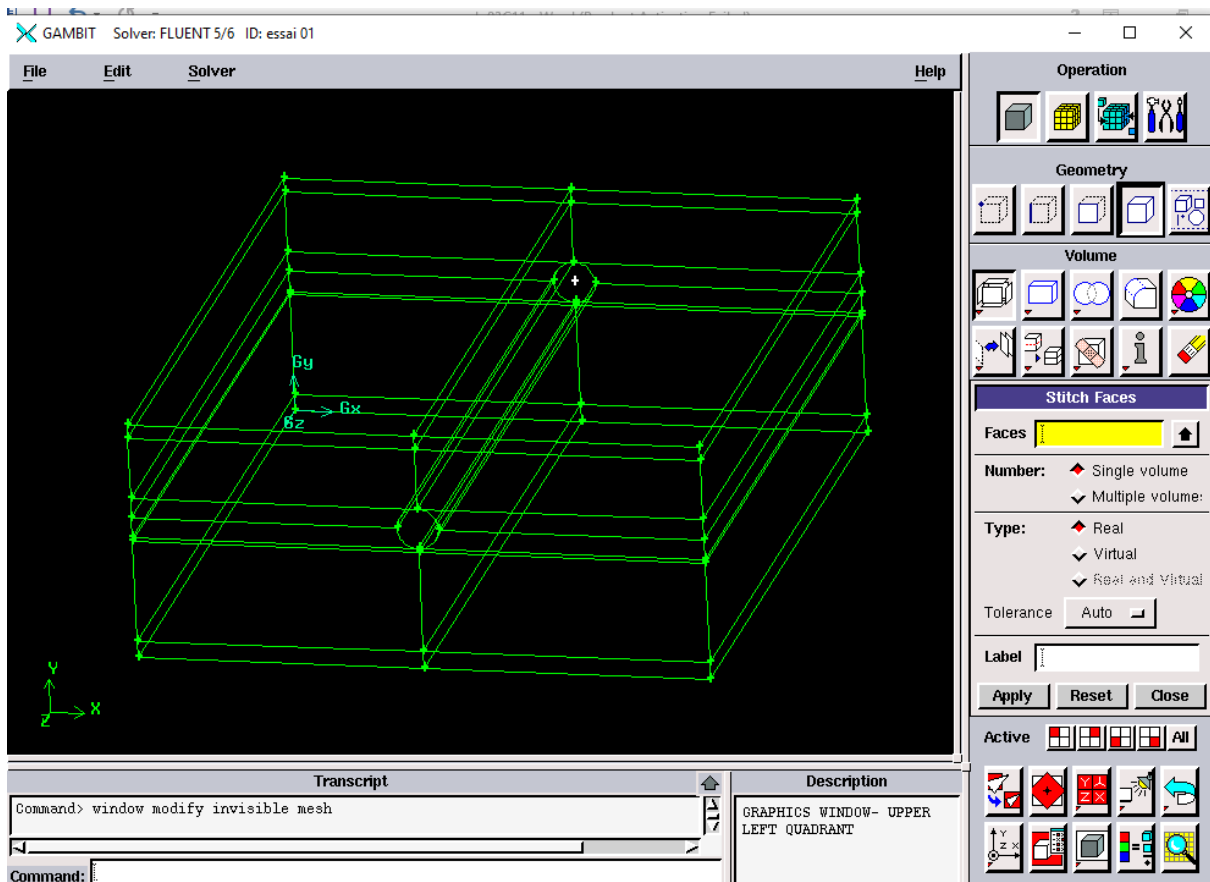
Appuyer sur les boutons ci-dessous successivement pour la création des volumes.



Figure(III.8) : création d`un volume



Figure(III.9) : Création d'un volume

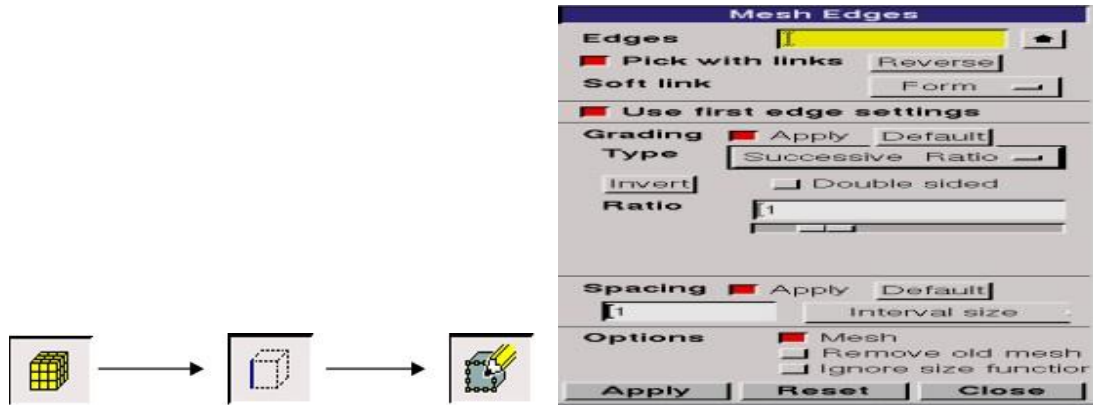


Figure(III.10) : Configuration de gambit avant maillage.

III.12.6. Le maillage du domaine physique

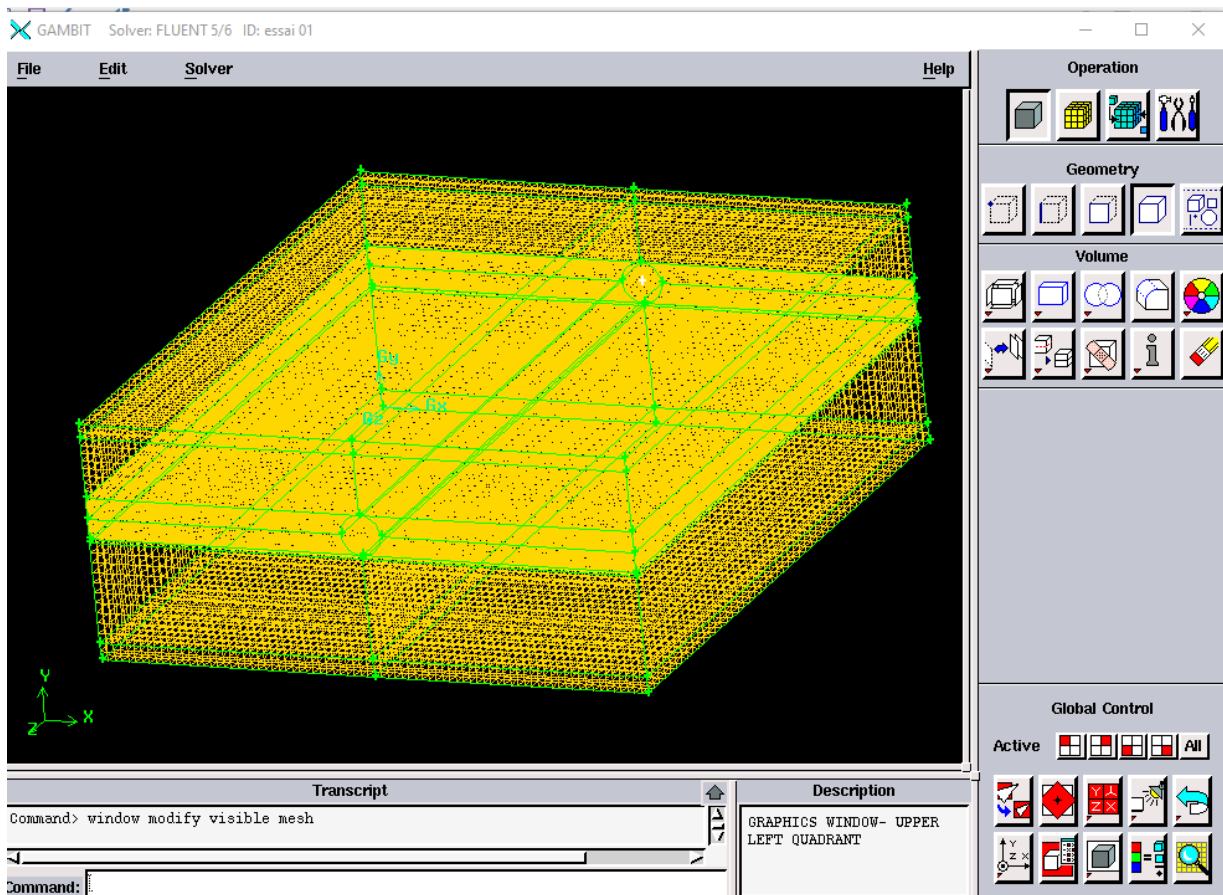
C'est la subdivision du domaine d'étude en grilles longitudinales et transversales dont l'intersection représente un nœud, ou on trouve les composantes u , v et w du vecteur vitesse qui se trouve au milieu des segments reliant deux nœuds adjacents. La discrétisation du domaine est obtenue par un maillage constitué d'un réseau de points.

III.12.6.1. Maillage des lignes (edges)



Figure(III.11):Maillage des lignes (edges).

III.12.6.2. Maillage des volumes



Figure(III.12) : Maillage des volumes.

III.13. Conditions aux limites et définition de domaines

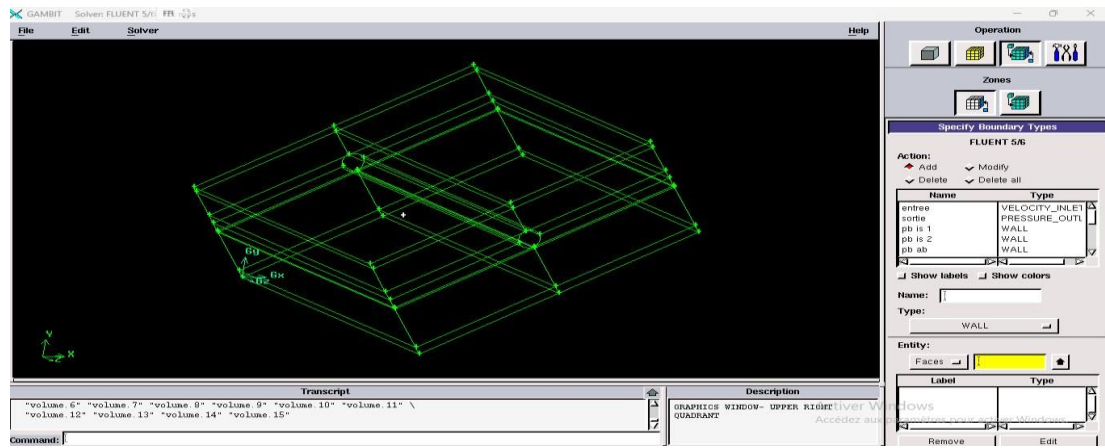


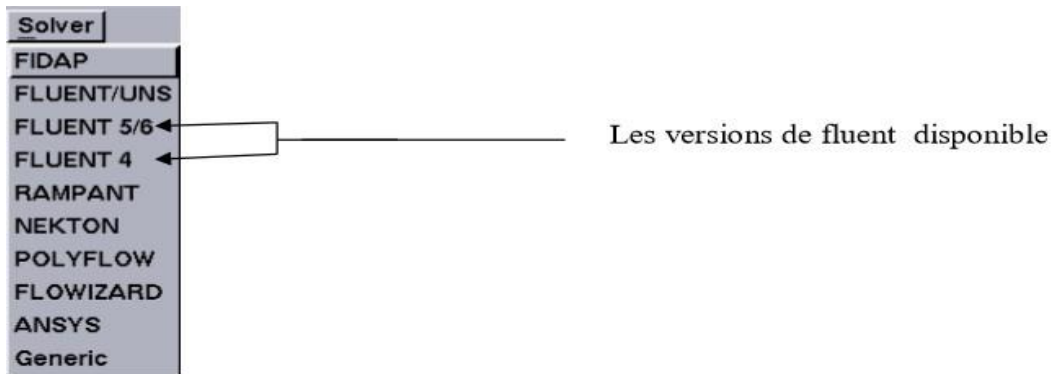
Figure (III. 13) : présentation des conditions aux limites.

Comme conditions aux limites, on peut imposer une vitesse à l’entrée de la conduite, et une condition de la pression à la sortie.

La figure suivante résume les différentes conditions qu’on peut imposer pour un écoulement laminaire à la cour d’une conduite avec un obstacle rectangulaire avec cinq étages. Ensuite, on procède à la définition des domaines de calcul.

III.14. Choix de la version Fluent

On peut choisir la version disponible de Fluent depuis Gambit comme suit:



Figure(III.14) : choix de la version fluent.

III.14.1. L'exportation du fichier. M_{sh}

Une fois que la géométrie a été créée, que les conditions aux limites ont été définies, il faut exporter le maillage, depuis le préprocesseur Gambit vers le solveur Fluent en format. M_{sh} (M_{sh} =maillage en anglais) pour que Fluent soit capable de le lire et de l'utiliser.

III.14.2. 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.

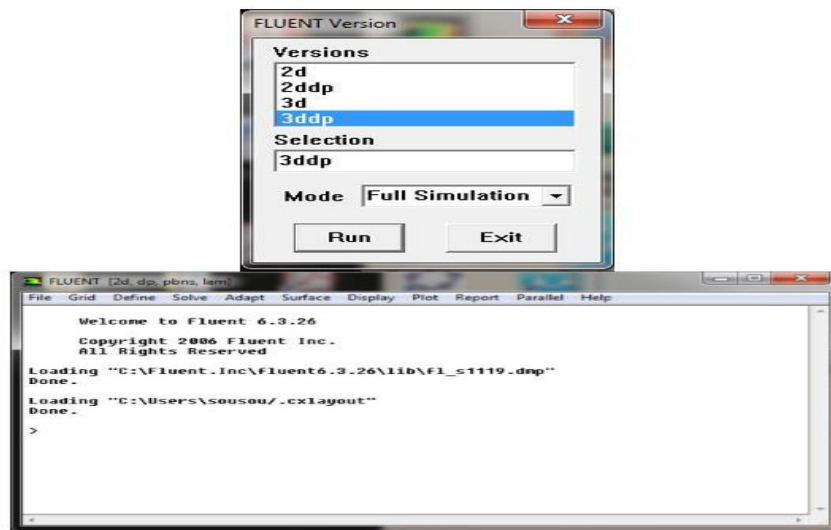
- **nom-fichier.lok** : Pour l'utilisation. Le fichier le plus important crée par l'utilisateur prend l'extension nom-fichier .msh

III.15. La procédure de calcul par Fluent

III.15.1. 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.15): Vue globale de Fluent.

III.15.2. Importation de la géométrie (*. msh)

Pour commencer la simulation il faut importer le fichier (*.msh) généré sous Gambit.

File => Read =>Case...

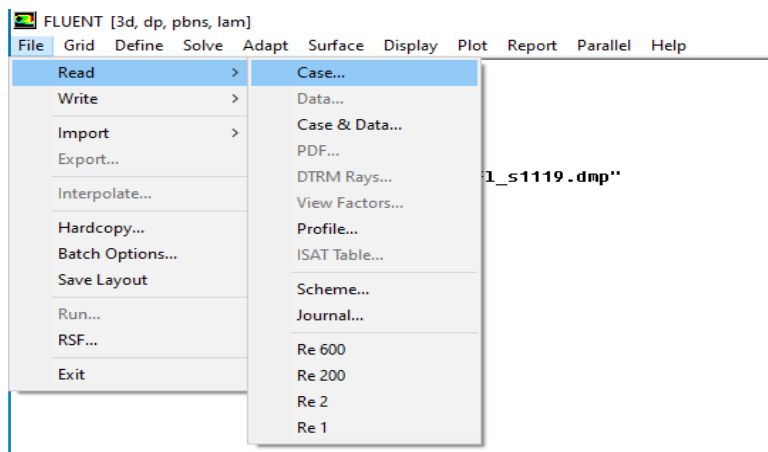


Figure (III. 16) : Importation de la géométrie.

III.15.3. Vérification du maillage

Grid =>Check

On doit dans cette étape vérifier le maillage s’il ne comporte pas des erreurs ou des volumes négatifs.

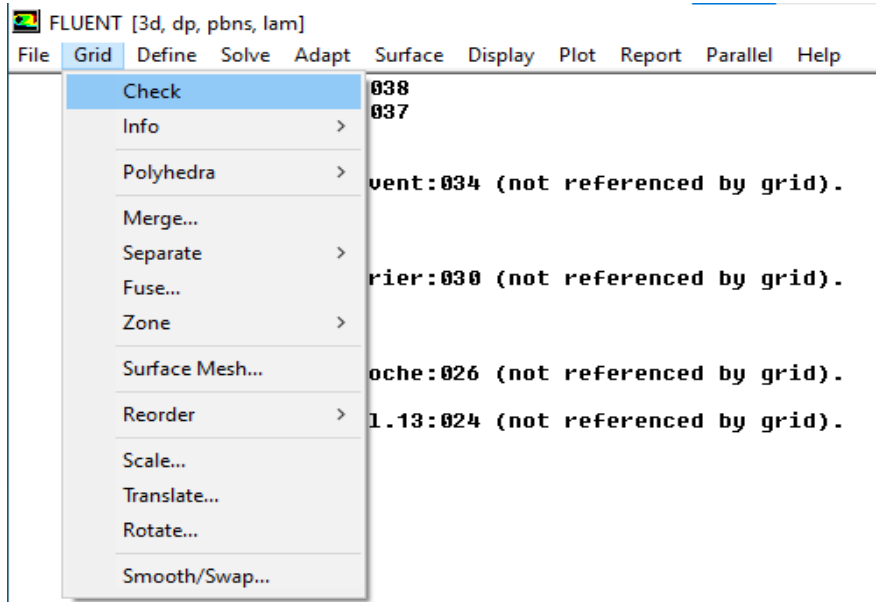


Figure (III. 17) :Vérification du maillage.

III.15.4. Affichage de la grille

Display =>Grid

Cette option sert à afficher le maillage, et cela permis nous de vérifier les conditions aux limites prédéfinies sur Gambit.

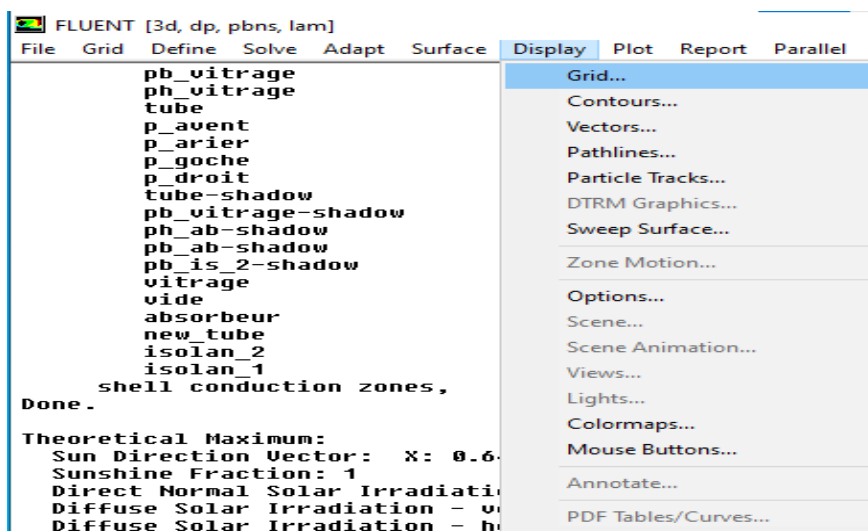


Figure (III. 18) : Affichage de la grille.

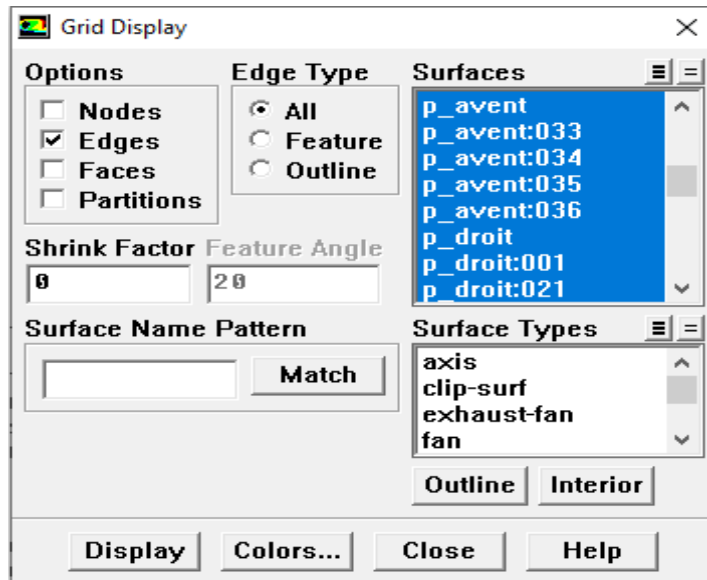


Figure (III. 19) : affichage des conditions aux limites.

III.15.5. Choix du solveur et l'état de l'écoulement

Define =>Models =>Solver...

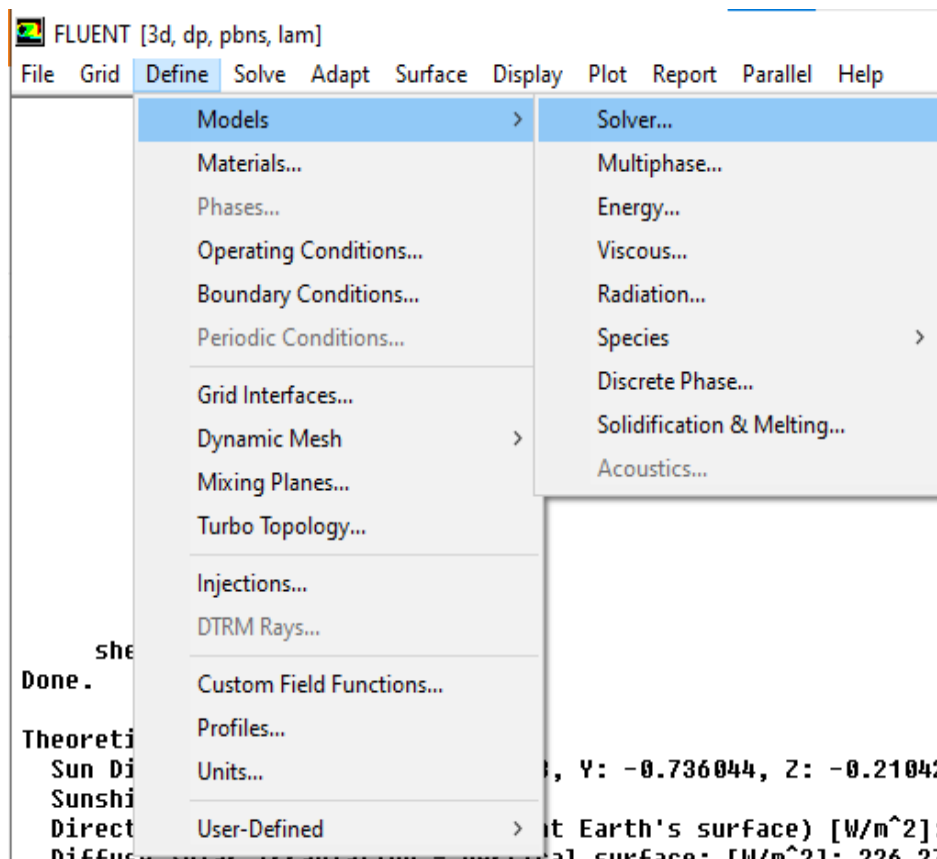


Figure (III. 20) : Choix du solveur.

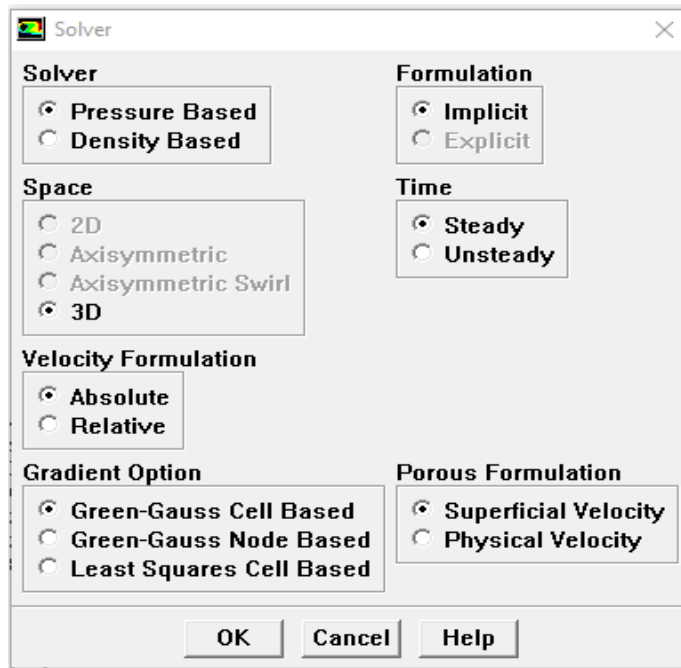


Figure (III. 21) : interface du Choix du solveur.

-Pressure Based : il est le plus approprié pour les écoulements incompressibles.

-Steady : l'écoulement est stationnaire.

III.15.6. Choix du modèle de turbulence

Define =>Models =>Energy...

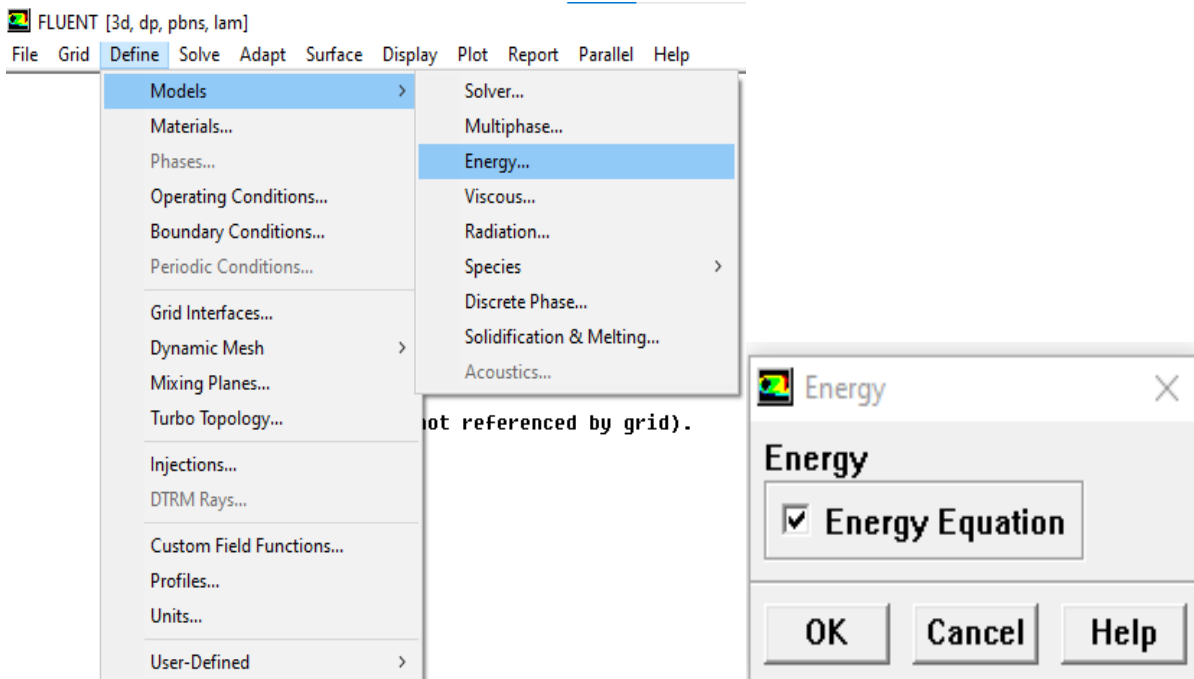


Figure (III. 22) : Choix de l'Energy.

III.15.7. Pression de référence

Define => Operating conditions

Il faut choisir la valeur de la pression de référence. Fluent laisse par défaut la valeur de la pression atmosphérique (101325pa).

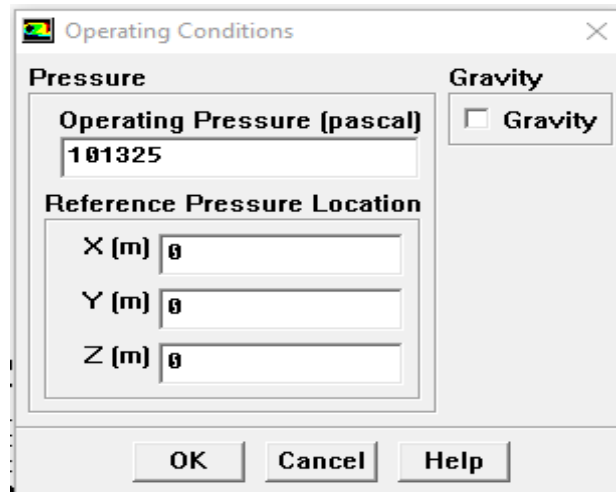


Figure (III. 23) : pression de référence.

III.15.8. Conditions aux limites

Define =>Boundary Conditions

Dans cette étape, on doit introduire les valeurs des conditions aux limites.

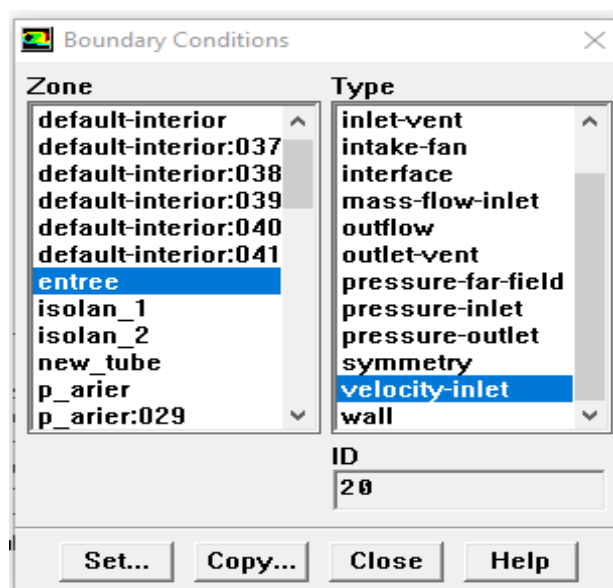


Figure (III. 24) : La vitesse d'entrée (conditions aux limites).

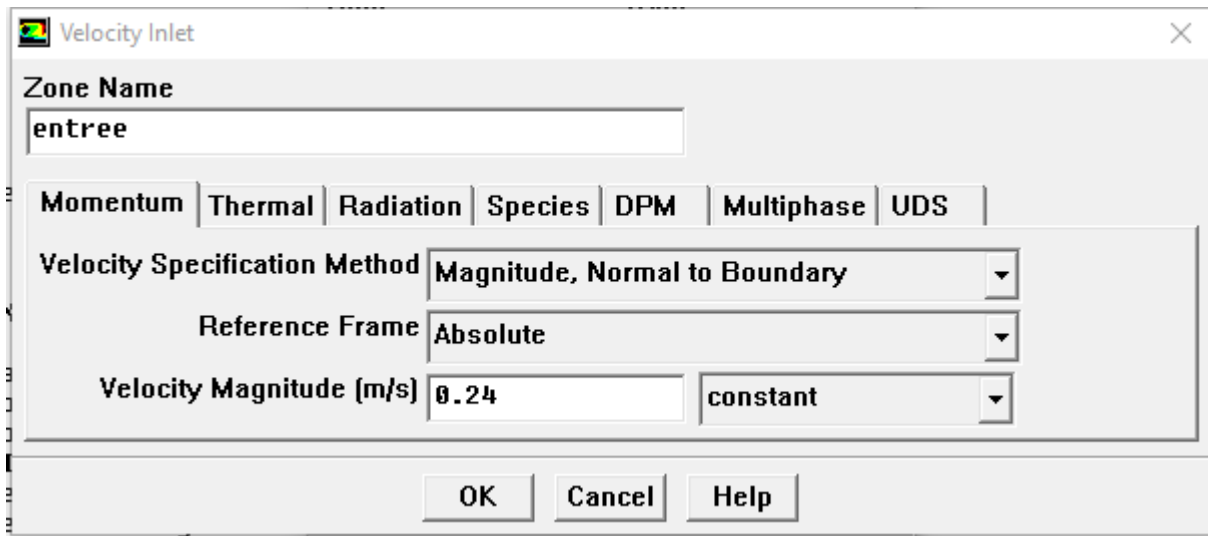


Figure (III. 25) : interface de la vitesse d'entrée.

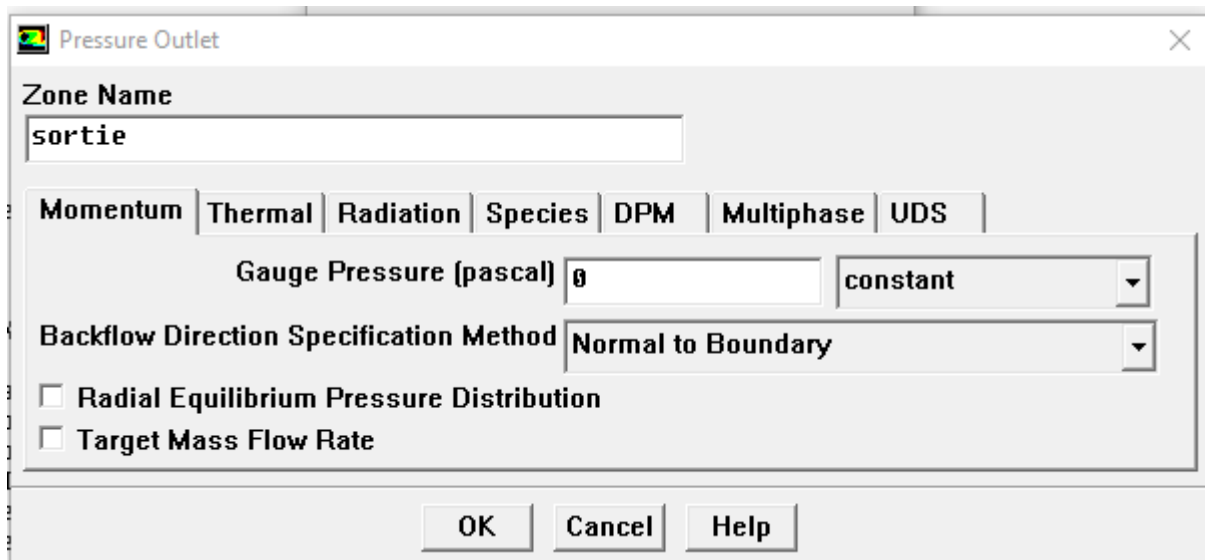


Figure (III. 26) : interface de la pression de sortie.

III.15.9. Initialisation du calcul

Pour commencer le calcul, il faut d'abord donner des valeurs initiales.

Solve => Initialise => Initialise

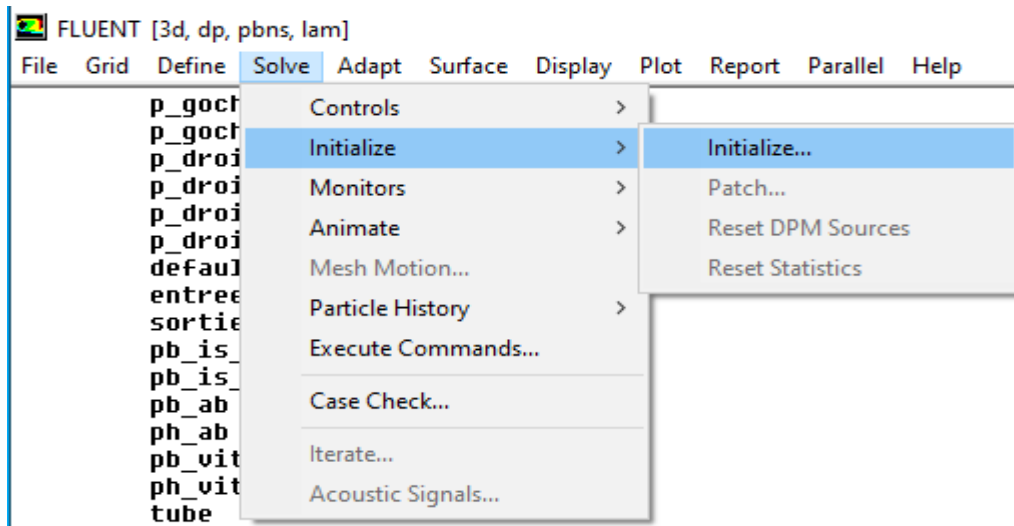


Figure (III. 27) : initialisation de calcul.

III.15.10. Choix des critères de convergences

Solve => Monitors => Residual

Il s'agit de choisir les critères de convergence qui doivent être vérifiés pour que les calculs seront stoppés.

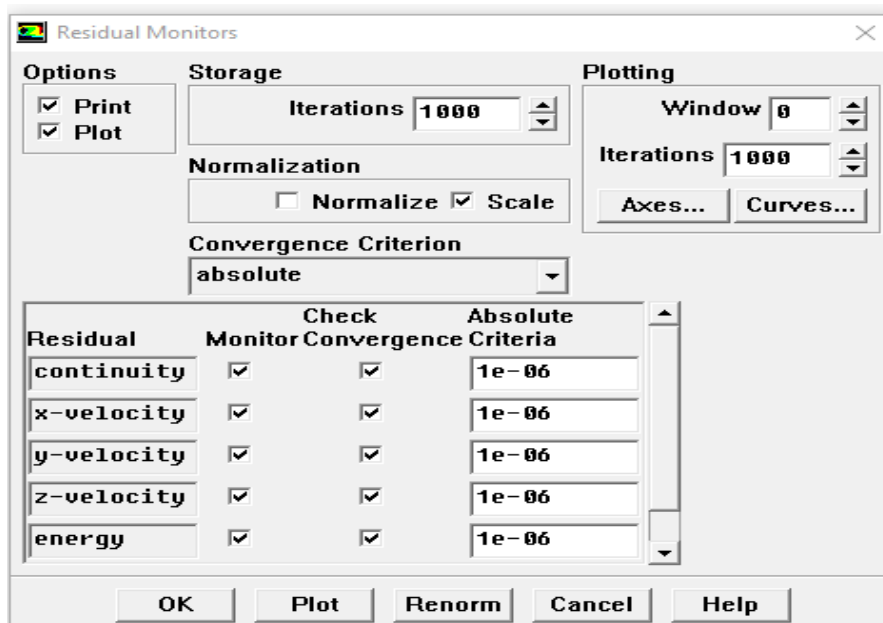


Figure (III. 28) : interface des critères de convergence.

III.15.11. Lancement du calcul

Solve => Iterate

Pour commencer le calcul, on doit limiter le nombre d'itérations.

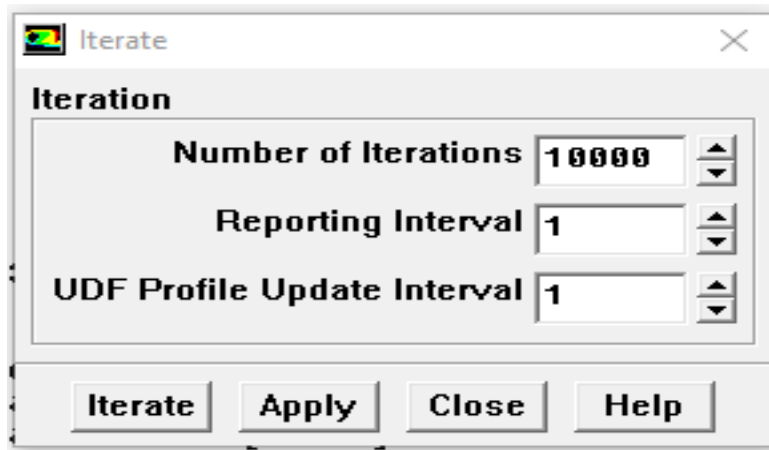


Figure (III. 29) : lancement du calcul.

III.15.12. Allures de convergence des résidus

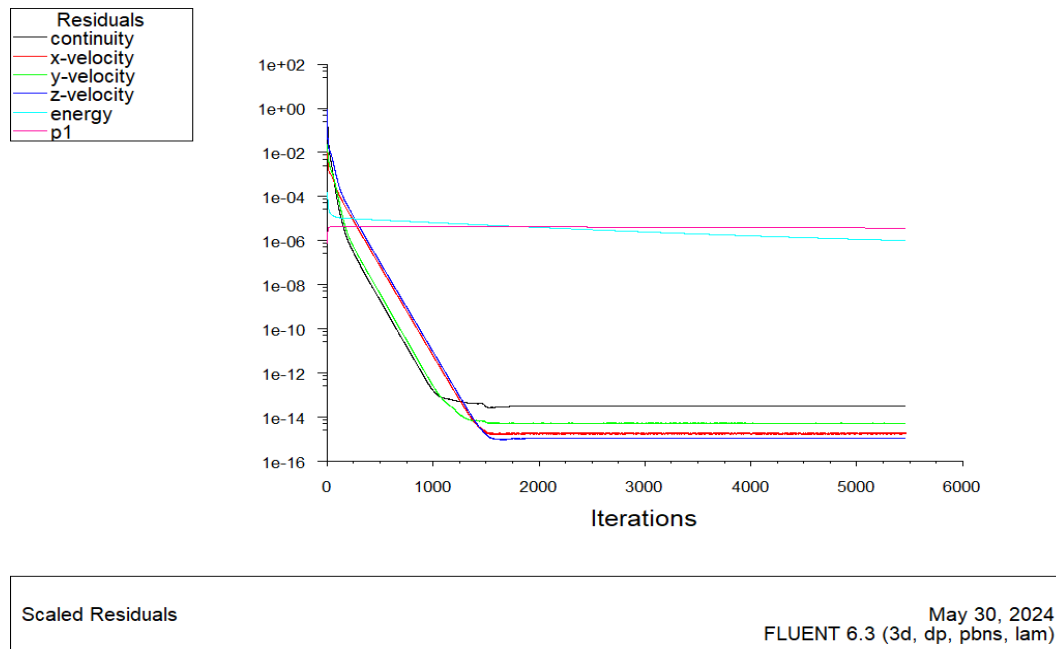


Figure (III. 30) : Allures de l'évolution des résidus de calcul.

III.16. Conclusion

Après avoir présenté les principes de base de la procédure de résolution numérique et le logiciel qui réalise la géométrie et le maillage GAMBIT avec le code de simulation FLUENT.

Nous avons spécifié les conditions aux limites de toute la frontière du domaine d'écoulement pour résoudre les équations régissant le mouvement du fluide en écoulement dans le tube du panneau solaire thermique en tenant compte du modèle de rayonnement.

CHAPITRE IV

Chapitre IV

Résultats et discussions

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre nous présentons les résultats de simulations d'un panneau thermique fonctionnant avec de l'eau et de l'air. Notre travail a porté sur l'étude du transfert de chaleur dans le tube contenant le fluide caloporteur pour le cas de l'eau ensuite le nanofluide (eau/Cu et eau/CuO et eau/MgO). C'est-à-dire les nanofluide de fluide de base l'eau où on a ajouté des nanoparticules de Cuivre ou de CuO ou de MgO.

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

Latitude de 35°67'N et une Longitude de 4°54'E et un décalage horaire de 1heure. Pour une date le 21 Juin à 13h dans les conditions normales.

La fluide eau est porté à la température ambiante $T_a=300K$, le panneau thermique est soumis à un rayonnement incident, la face supérieur du panneau qui est le vitrage est soumise à une température $T_v=390K$ et un coefficient de transfert de chaleur convectif $h_v=9w/m^2K$.

L'objectif de ce travail est de déterminer le taux de transfert de chaleur du nanofluide et l'eau dans le tube en variant le débit de ce dernier c'est-à-dire pour des nombres de Reynolds $Re=2$ pour l'eau ensuite pour les nanofluides (eau/Cu et eau/CuO et eau/MgO) à des concentrations $\phi=0.01$ à 0.09 , et $Re=200, 400, 600, 800$ pour l'air.

Nous présentons pour notre configuration, les contours de la température en fonction du nombre de Reynolds et les concentrations des nanofluides ainsi que le nombre de Nusselt. Pour présenter les résultats de simulation, on a utilisé le logiciel Origine version 2021 pour tracer les courbes.

IV.2. Les paramètres utilisés

- Les propriétés physiques de l'eau à la température ambiante $T_a=300K$:
 - Masse volumique : $\rho= 998.2 \text{ kg/m}^3$.
 - La capacité calorifique : $C_p = 4182 \text{ J/kg.K}$.
 - Conductivité thermique $\lambda =0.6 \text{ W/m.K}$.
 - Viscosité dynamique $\mu =0.001003\text{kg/ms}$.
- Les propriétés thermo physique du fluide de base et des particules solide
- 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 $\mu = 1.7894 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}$.

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 (53192)

$n_{\text{nœuds}}$, (269213) $n_{\text{nœuds}}$, (339860) $n_{\text{nœuds}}$ et (374417) $n_{\text{nœuds}}$.

Le tableau IV.5, montre la variation de la température du fluide dans le tube pour ces différents maillages en fonction du temps de calcul pour un nombre de Richardson $Ri=28$. La **figure (VI.1)**, montre aussi la variation de température du fluide en fonction des nombres de nœuds de chacune des grilles.

Notre choix s'est orienté vers la grille (339860) $n_{\text{nœuds}}$ ce dernier à donner des résultats et un temps de calcul acceptables. **Figure (IV.2)**.

Mallaige	(53192) nœuds	(269213) nœuds	(339860) nœuds	(374417) nœuds
Temps	10min	14min	10min	13min
Température de fluide (K)	300.68251	300.23007	300.19277	300.1777

Tableau (IV.1) : variation de la température en fonction du maillage.

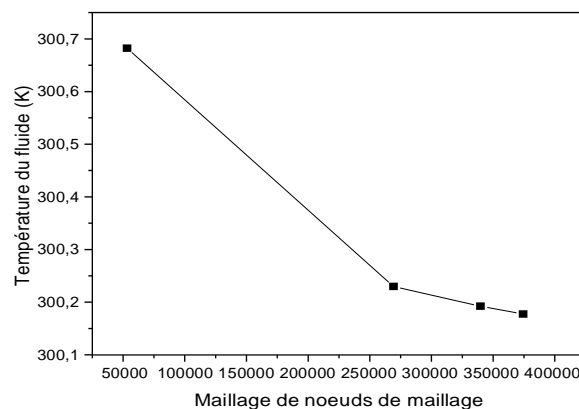


Figure (IV 1) : Variation de la température en fonction du maillage

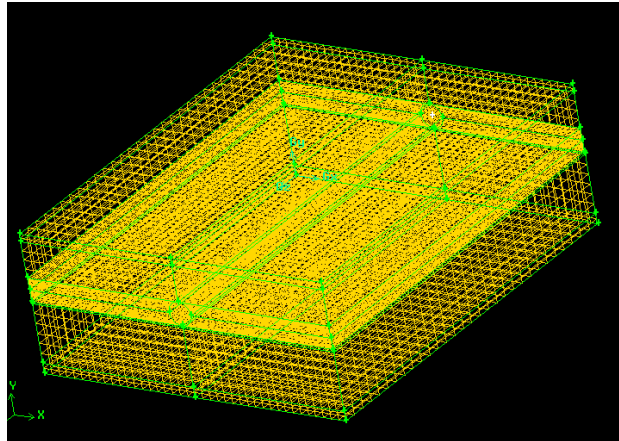


Figure (IV.2) : Maillage de la configuration

IV.4. Influence du nombre de Reynolds

Pour voir l'influence du nombre de Reynolds sur le transfert de chaleur dans le tube où s'écoule le fluide caloporteur, les simulations ont été faites pour des nombres de 200 ; 400 ; 600 et 800 pour l'air. Nous avons utilisé trois types de nanofluides dont le fluide de base est l'eau avec des nanoparticules de Cuivre (eau/Cu) et des nanoparticules de CuO (eau/CuO) et des nanoparticules de MgO (eau/ MgO) à des concentrations de $\phi=0.01$ à $\phi=0.09$ pour $Re=2$.

IV.5. Les Contours de température

➤ Nano fluides(eau/Cu)

Les **Figures (IV.3) (IV.4)** montrent la variation des contours de température dans le panneau thermique ainsi que dans le tube le nombre de Reynolds $Re=2$ pour le nano fluide eau /Cu à des concentrations $\phi=0.01$ et $\phi=0.09$.

Nous constatons que la zone la plus chaude du panneau est la face supérieure qui est le vitrage ensuite cette chaleur est transmise par rayonnement ensuite vers la plaque absorbante puis le fluide et en fin l'isolant. Nous constatons aussi que la température à l'entrée du tube est froide à la sortie est plus chaude

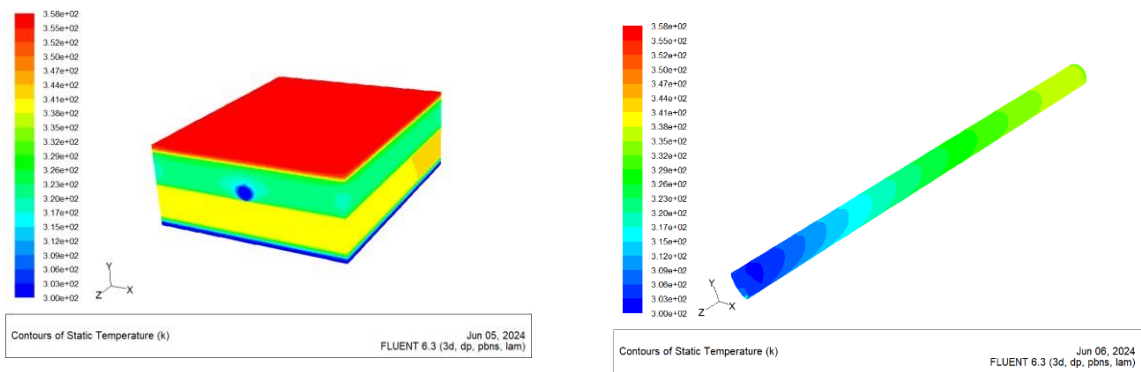


Figure (IV.3) : Champs de Températures pour $Re=2$ et le nano fluide (eau/Cu) pour $\phi=0.01$

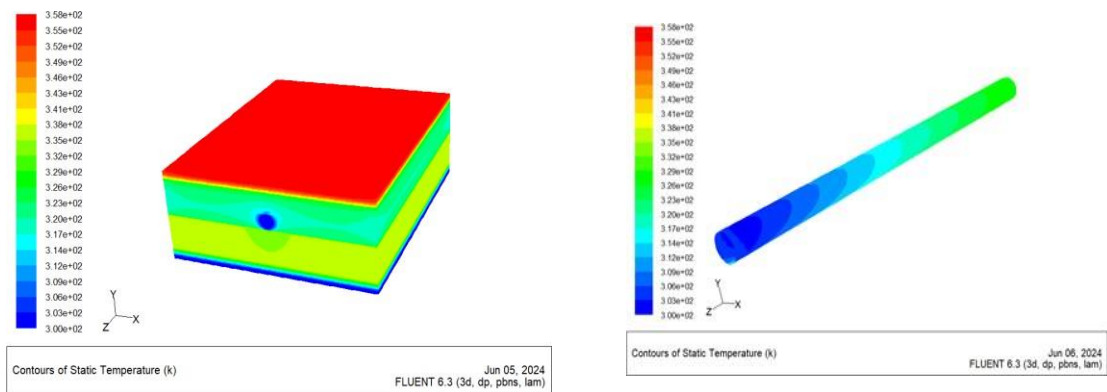


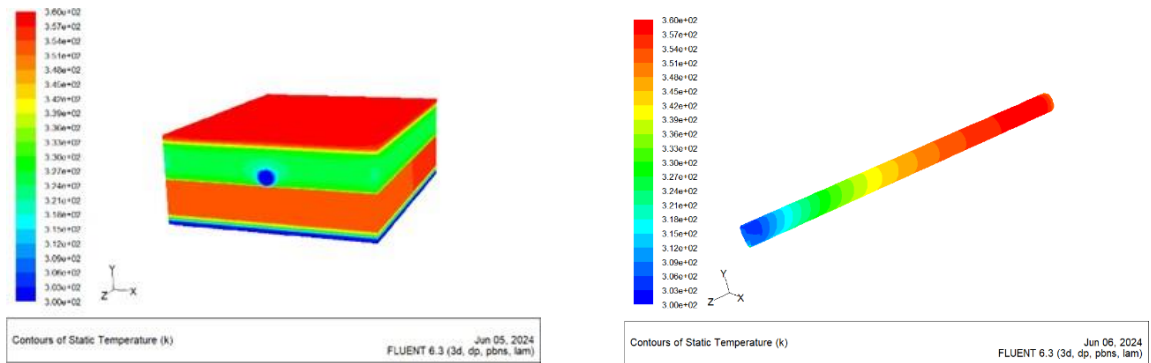
Figure (IV.4) : Champs de Températures pour $Re=2$ et le nano fluide (eau/Cu) pour $\phi=0.09$.

➤ Nano fluides (eau/CuO)

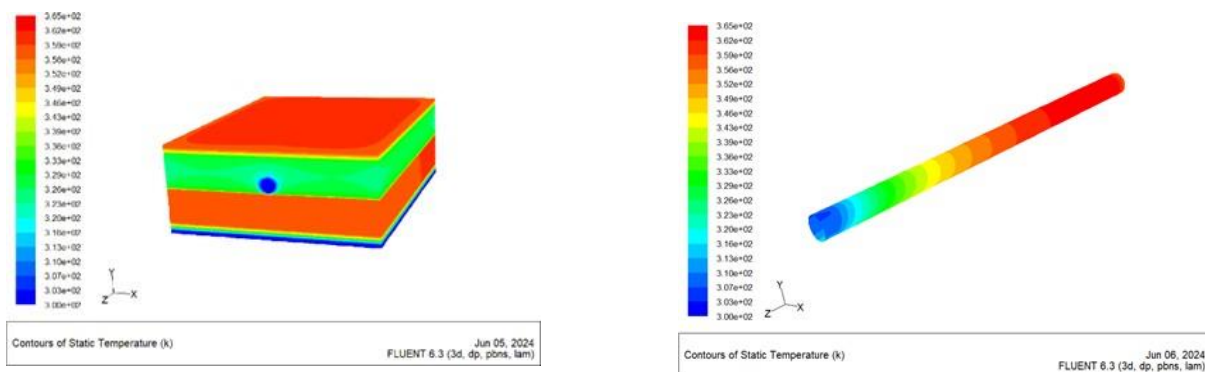
Les figures (IV.5) (IV.6) montrent la variation des contours de température du fluide dans le tube pour les nombres de Reynolds $Re=2$ et le nano fluide (eau/CuO) à des concentrations $\phi=0.01$, et $\phi=0.09$.

Nous constatons que la zone la plus chaude du panneau est la face supérieure qui est le vitrage ensuite. La chaleur est transmise ensuite vers la plaque absorbante puis le fluide et en fin l'isolant.

La température du fluide a augmenté quand on a changé le nano fluide ainsi lorsqu'on a augmenté la concentration. Le maximum de température a changé de 358K pour le nanofluide eau/Cu à 365K pour le nanofluide eau/CuO quand $\phi=0,09$.



Figures(IV.5) : Champs de Températures pour $Re=2$ et le nano fluide (eau/CuO) pour $\phi=0.01$

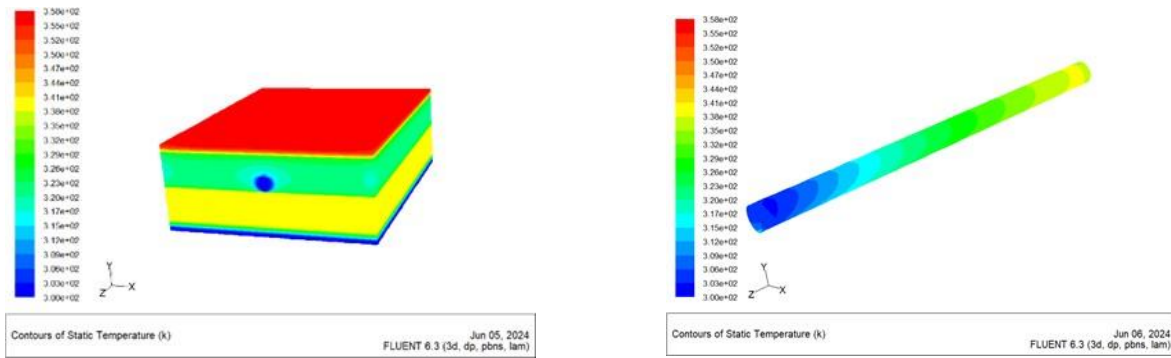


Figures(IV.6) : Champs de Températures pour $Re=2$ et le nano fluide (eau/CuO) pour $\phi=0.09$

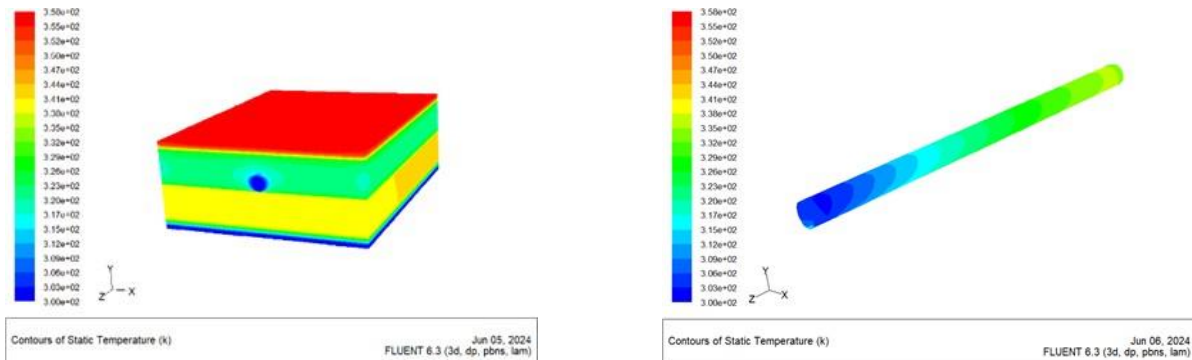
➤ **Nano fluides (eau/MgO)**

Les **figure (IV.7) (IV.8)** montre la variation des contours de température du fluide dans le tube pour les nombres de Reynolds $Re=2$ pour le nano fluide (**eau/MgO**) à des concentrations $\phi=0.01$, et $\phi=0.09$. Nous constatons que la zone la plus chaude du panneau est la face supérieure qui est le vitrage ensuite cette chaleur est transmise vers la plaque absorbante puis le fluide et en fin l'isolant.

Le maximum de température dans ce cas atteint 350K qui est plus faible que celle du nanofluide eau/CuO.



Figures(IV.7) : Champs de Températures pour $Re=2$ et le nano fluide (eau/MgO) pour concentration $\phi=0.01$



Figures(IV.8) : Champs de Températures pour $Re=2$ et le nano fluide (eau/MgO) pour concentration $\phi=0.09$

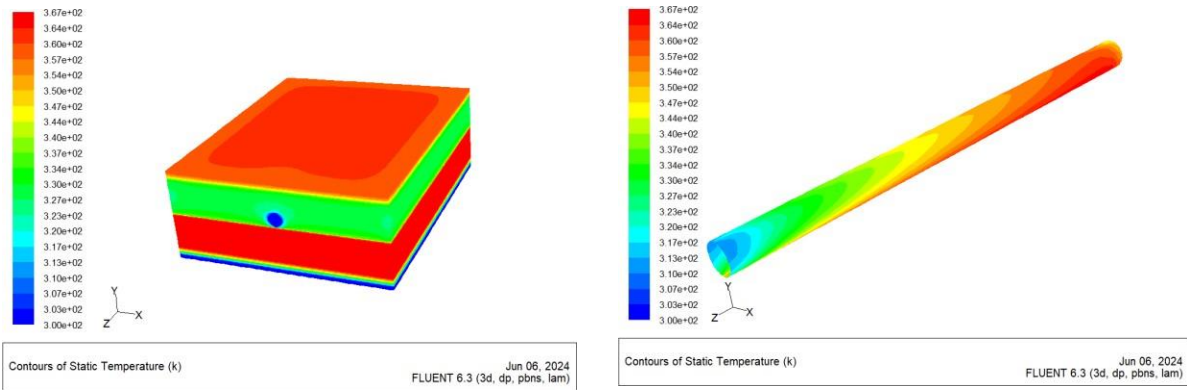
➤ **L'air**

Les figures (IV.9) ; (IV.10) ; (IV.11) ; (IV.12) montrent la variation des contours de température du fluide dans le tube pour le nombre de Reynolds $Re=200$; $Re=400$; $Re=600$ et 800 pour l'air.

Nous constatons que la zone la plus chaude du panneau est la face supérieure qui est le vitrage ensuite cette chaleur est transmise vers la plaque absorbante puis le fluide et en fin l'isolant.

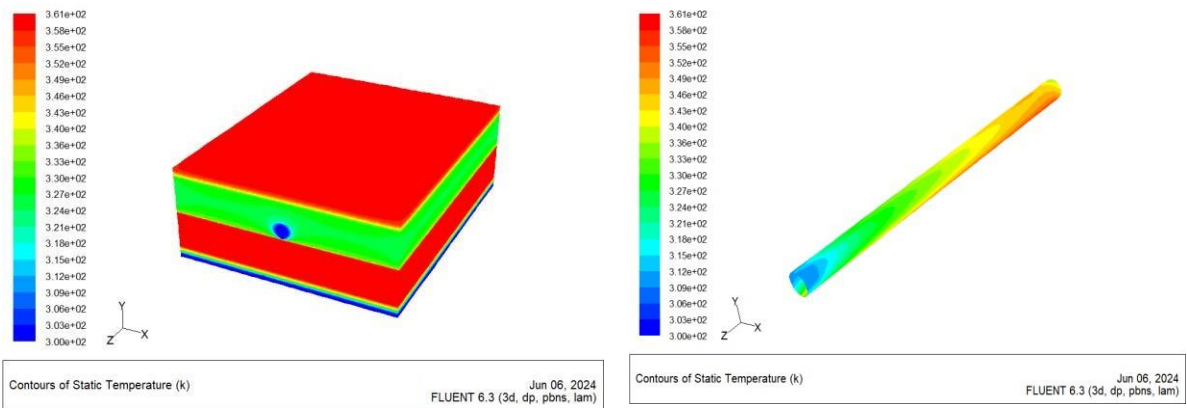
La température du fluide diminue quand le nombre de Reynolds augmente mais cette variation est très faible. Le maximum de température atteint $367K$ quand $Re=200$ et $360K$ pour $Re=800$. La température à l'entrée du tube est $300K$ et à la sortie elle est plus élevée comme le montre les figures.

➤ Pour Re=200



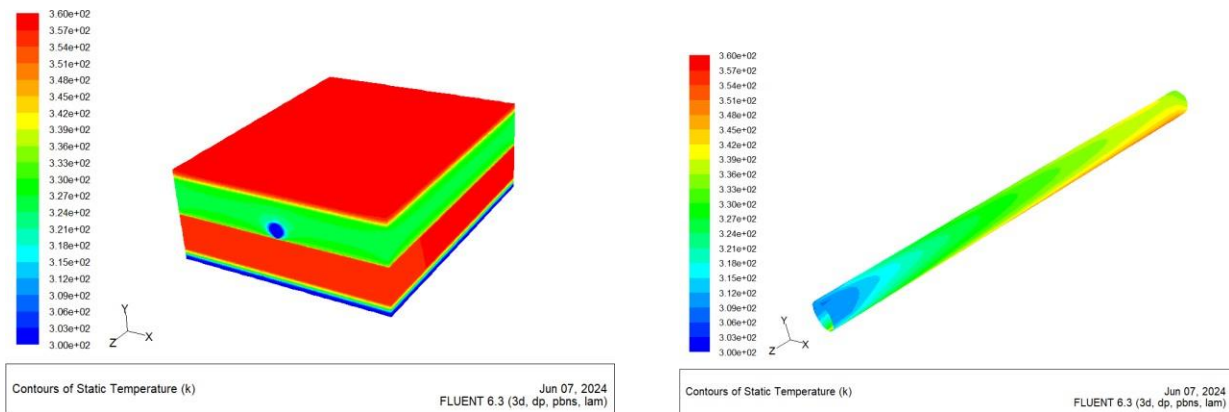
Figures(IV.9) : Champs de Températures pour Re=200 et l'air

➤ Pour Re=400



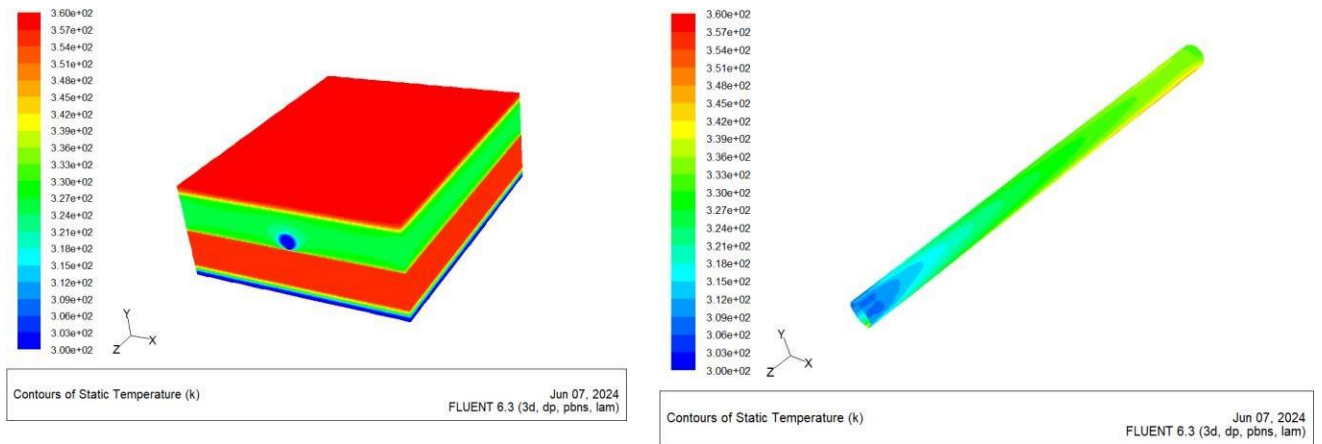
Figures(IV.10) : Champs de Températures pour l'air à Re=400

➤ Pour Re=600



Figures(IV.11) : Champs de Températures pour l’air à $Re = 600$

➤ Pour $Re=800$



Figures(IV.12) : Champs de Températures pour l’air à $Re=800$

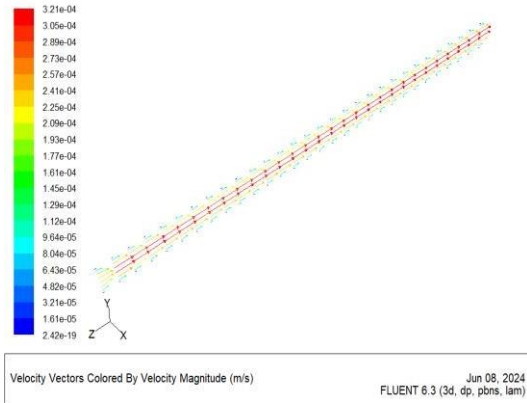
IV.6. Les vecteurs vitesse

➤ Nano fluides(eau/Cu)

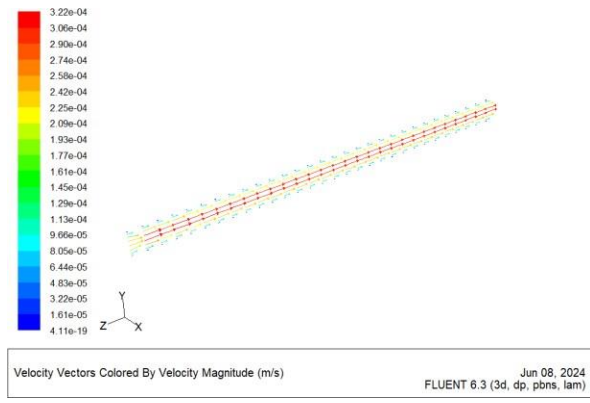
Les figure (IV.13) (IV.14) montrent les champs des vecteurs vitesses du fluide dans le tube pour les nombres de Reynolds $Re=2$ pour le nano fluide (eau/Cu) à des concentrations $\phi=0.01$, et $\phi=0.09$.

Nous constatons que la plus grande vitesse du fluide est à la sortie du tube.

Nous constatons aussi que la vitesse augmente lorsque le nombre de Reynolds augmente, ainsi que la concentration.



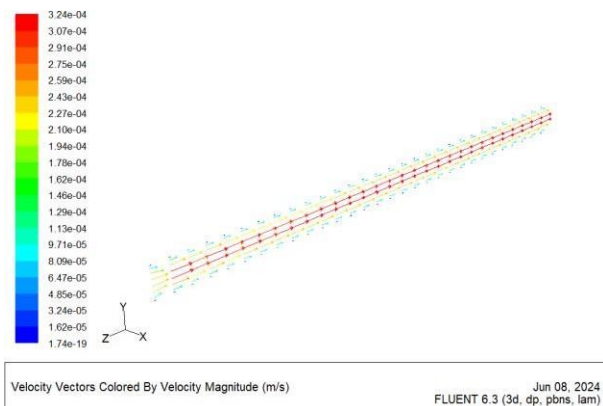
Figures(IV.13) : vecteur de la vitesse
pour $Re=2$, (eau/Cu), $\phi=0.01$



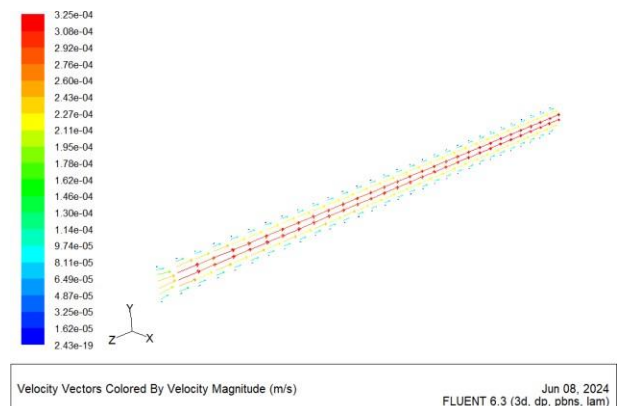
Figures(IV.14) : vecteur de la vitesse
pour $Re=2$, (eau/Cu), $\phi=0.09$

➤ **Nano fluides (eau/CuO)**

Les **figure (IV.15) (IV.16)** montrent la variation des vecteurs vitesses du fluide dans le tube pour les nombres de Reynolds $Re=2$ pour le nano fluide (**eau/CuO**) à des concentrations $\phi=0.01$, et $\phi=0.09$.



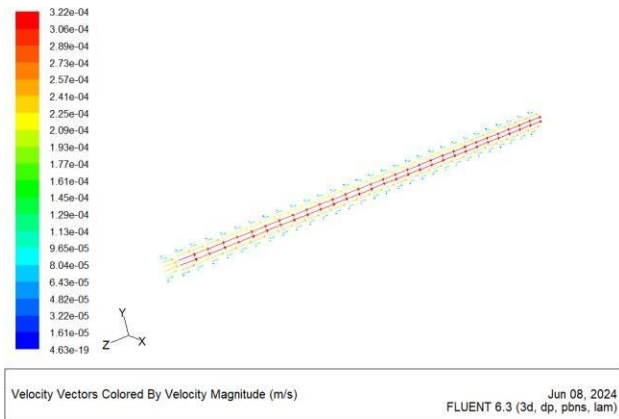
Figures(IV.15) : vecteur de la vitesse
pour $Re=2$, (eau/CuO), $\phi=0.01$



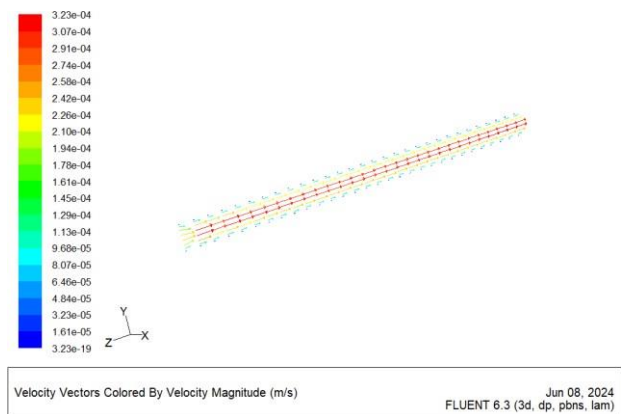
Figures(IV.16) : vecteur de la vitesse
pour $Re=$, (eau/CuO), $\phi=0.09$

➤ Nano fluides (eau/MgO)

Les figures (IV.17) (IV.18) montre la variation des vecteurs vitesses du fluide dans le tube pour le nombre de Reynolds $Re=2$ pour le nano fluide (eau/MgO) à des concentrations $\phi=0.01$, et $\phi=0.09$.



Figures(IV.17) : vecteur de la vitesse pour $Re=2$, (eau/MgO), $\phi=0.01$



Figures(IV.18) : vecteur de la vitesse pour $Re=2$, (eau/MgO), $\phi=0.09$

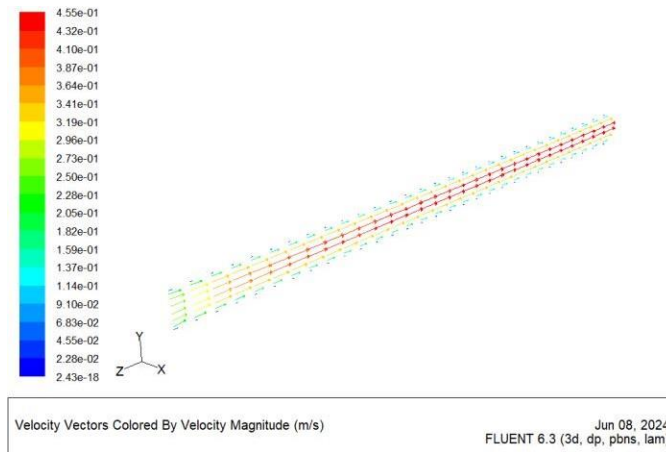
➤ L'air

Les figures (IV.19) ; (IV.20) ; (IV.21) ; (IV.22) montrent la variation des vecteurs vitesses du fluide dans le tube pour les nombres de Reynolds $Re=200$; $Re=400$; $Re=600$; $Re=800$; pour l'air.

Nous constatons que la plus grande vitesse du fluide est au début du tube, puis diminue.

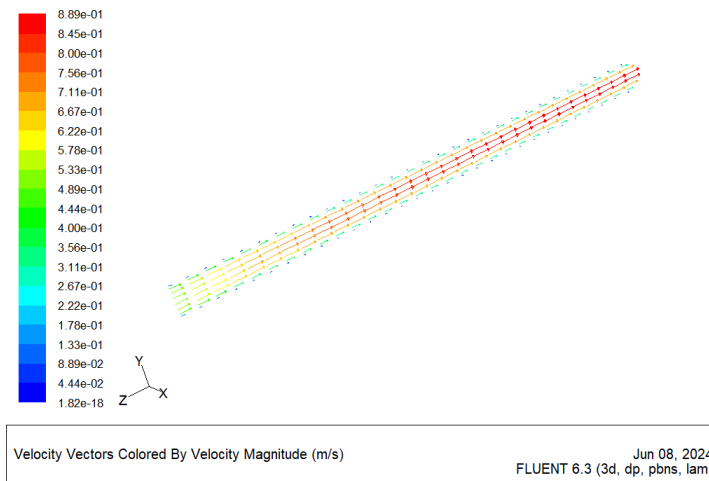
Nous constatons aussi que la vitesse augmente lorsque le nombre de Reynolds augmente, mais cette différence est faible.

- Pour $Re=200$



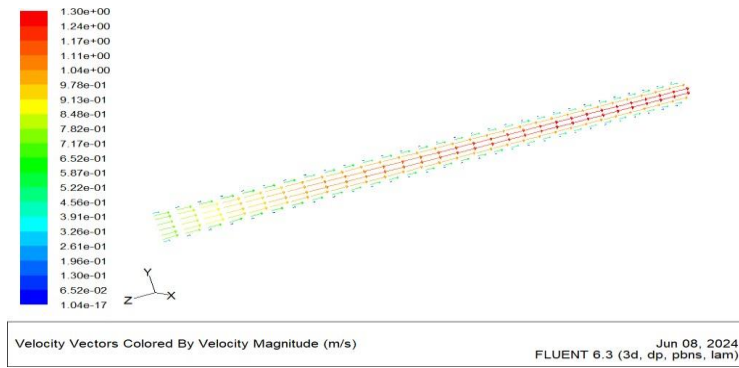
Figures(IV.19) : vecteur de la vitesse pour l'air à Re=200

- Pour Re=400



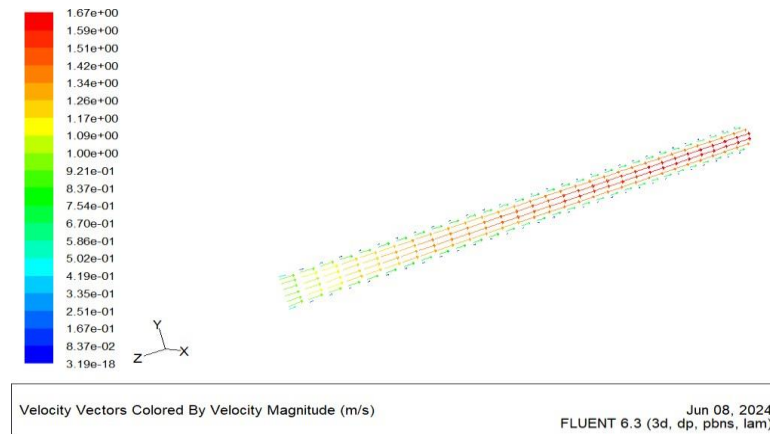
Figures(IV.20) : vecteur de la vitesse pour l'air à Re=400

- Pour Re=600



Figures(IV.21) : vecteur de la vitesse pour l’air pour Re=600

- Pour Re=800



Figures(IV.22) : vecteur de la vitesse pour l’air à Re=800

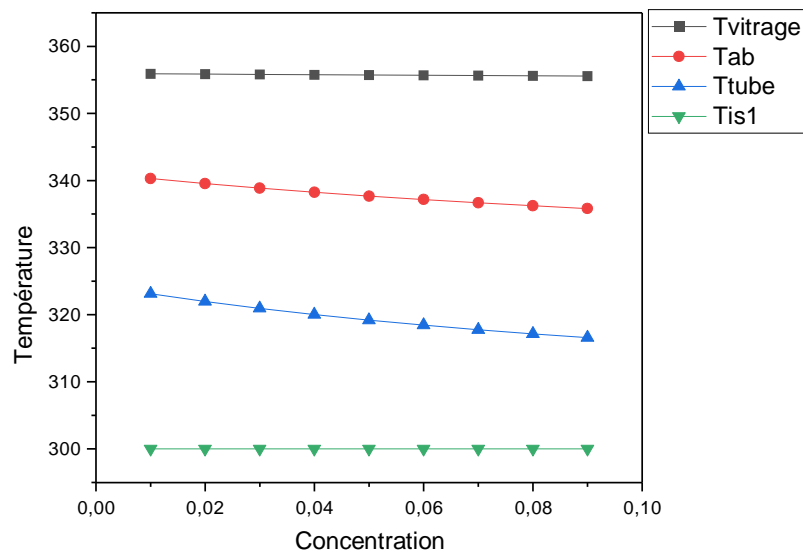
IV.7. Influence de la concentration du nano fluide

Pour voir l’influence de la concentration du nanofluide sur le transfert de chaleur dans les éléments du panneau, la **figure (IV.23)** montre la variation de la température dans le panneau en fonction de la concentration du nanofluide (eau/Cu) pour le nombre de Re=2.

Il est claire que la température du vitrage est la plus élevée et celle de l’isolant est la plus faible.

La température diminue quand le nombre de Reynolds augmente.

- Pour le nano fluide (eau/Cu)



Figure(IV.23) : Variation de la température des éléments du panneau en fonction de la concentration pour (eau/Cu) $Re=2$

➤ Pour le nano fluide (eau/CuO)

La figure (IV.24) montre la variation de la température dans le panneau en fonction de la concentration du nanofluide (eau/CuO) pour le nombre de $Re=2$.

Il est clair que la température du vitrage est la plus élevée et celle de l'isolant est la plus faible. La variation de la température du fluide c'est elle qui varie le plus en fonction de la concentration.

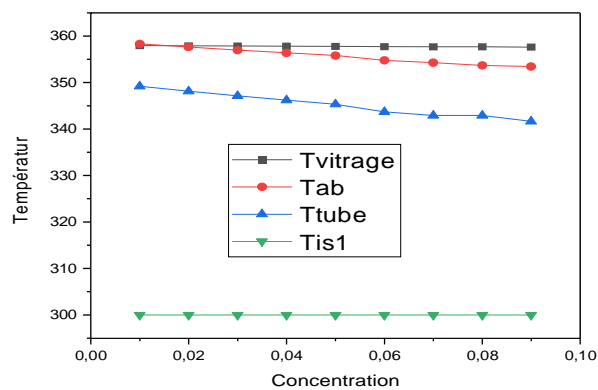


Figure (IV.24) : Variation de la température des éléments du panneau en fonction de la concentration pour (eau/CuO) $Re= 2$

➤ Pour nano fluide (l'eau/MgO)

La **figure (IV.25)** montre la variation de la température dans le panneau en fonction de la concentration du nano fluide (eau/MgO) pour le nombre de $Re=2$.

Il est clair que la température du vitrage est la plus élevée et celle de l'isolant est la plus faible.

La température varie légèrement quand la concentration augmente atteinte dans le vitrage environs 356K alors que dans le fluide 325K et environs 340K dans l'absorbeur.

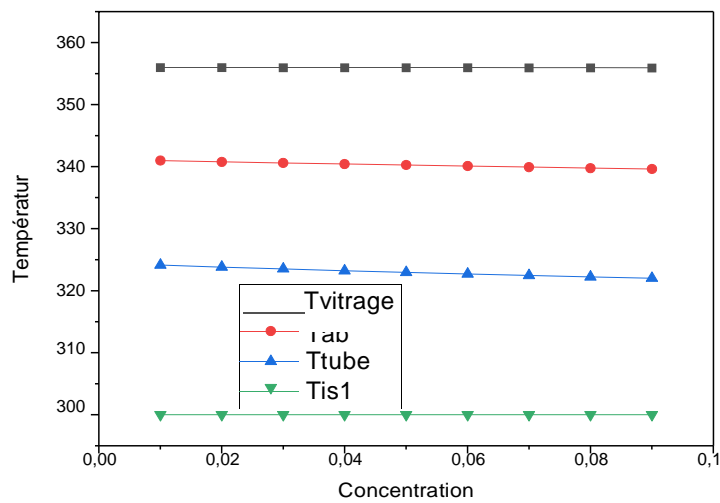


Figure (IV.25) : Variation de la température des éléments du panneau en fonction de la concentration pour (eau/MgO) $Re=2$

IV.8. Le nombre de Nusselt Nu

Les **figures (IV.26), (IV.27), (IV.28)**, montrent l'évolution du nombre de Nusselt du nanofluide eau/Cu et celui de l'eau/CuO et celui de l'eau/MgO en fonction de la concentration ϕ .

Nous constatons que le nombre de Nusselt diminue quand la concentration augmente pour les trois nanofluides, le nanofluide eau/CuO donne un meilleur taux de transfert de chaleur.

➤ Pour les nanofluides

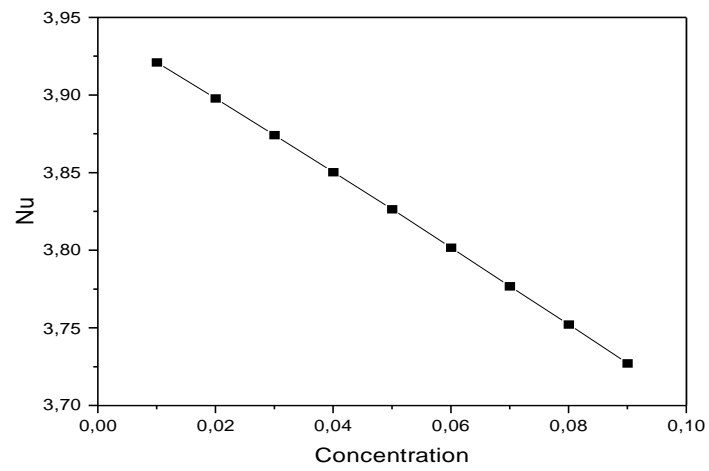


Figure (IV.26) : Variation du nombre de Nusselt en fonction de la concentration pour le nano fluide (eau/Cu)

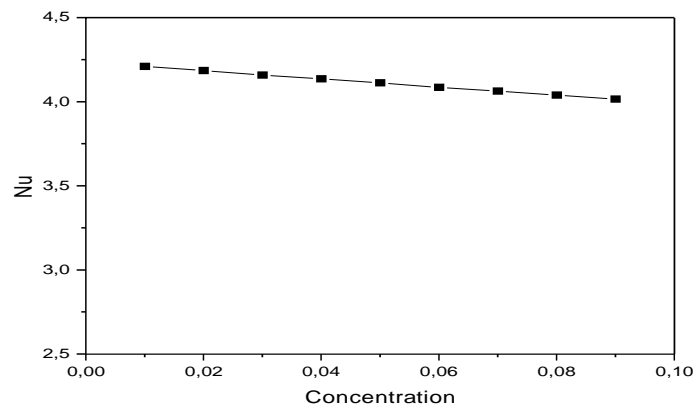


Figure (IV.27) : Variation du nombre de Nusselt en fonction de la concentration pour le nano fluide (eau/CuO)

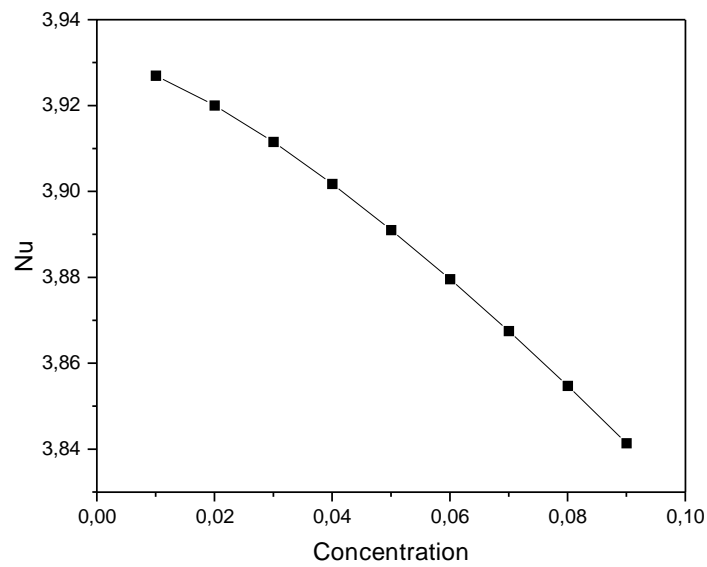


Figure (IV.28) : Variation du nombre de Nusselt en fonction de la concentration pour le nano fluide (eau/MgO)

➤ **Lair**

La **Figure (IV.29)** montre l'évolution du nombre de Nusselt de l'air en fonction du nombre de Reynolds.

Nous constatons que le nombre de Nusselt augmente quand le nombre de Reynolds augmente pour l'air, il donne un meilleur taux de transfert de chaleur.

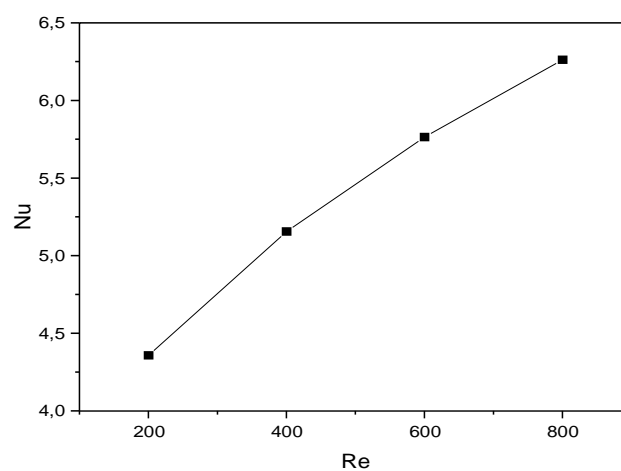


Figure (IV.29) : Variation du nombre de Nusselt en fonction du nombre de Reynolds pour l'air

IV.9. Le Rendement

Les figures (IV.30), (IV.31), (IV.32), montrent l'évolution du rendement du nano fluide (eau/Cu) et celui de l'eau/CuO et celui de l'eau/MgO en fonction de la concentration ϕ .

Nous constatons que le rendement augmente quand la concentration augmente pour les trois nano fluides, le nano fluide (eau/Cu) donne un meilleur taux de transfert de chaleur.

➤ Le nano fluide (eau/Cu)

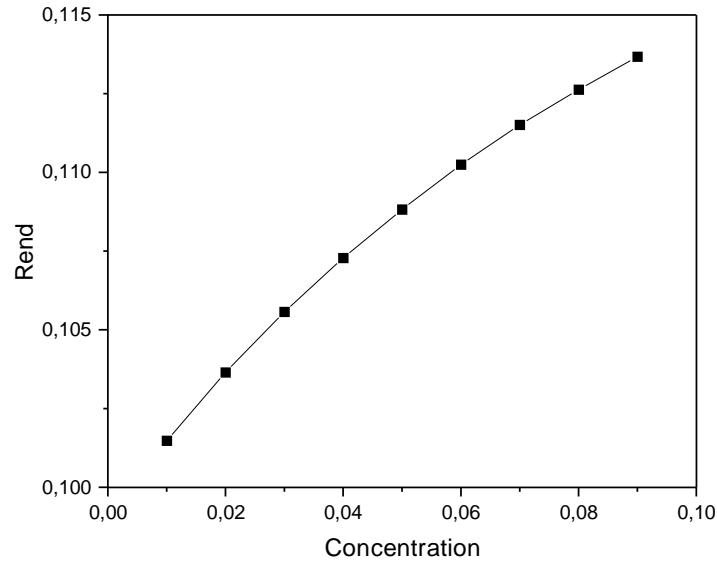


Figure (IV.30) : Variation du rendement en fonction de la concentration pour le nano fluide (eau/Cu)

➤ Le nano fluide (eau/CuO)

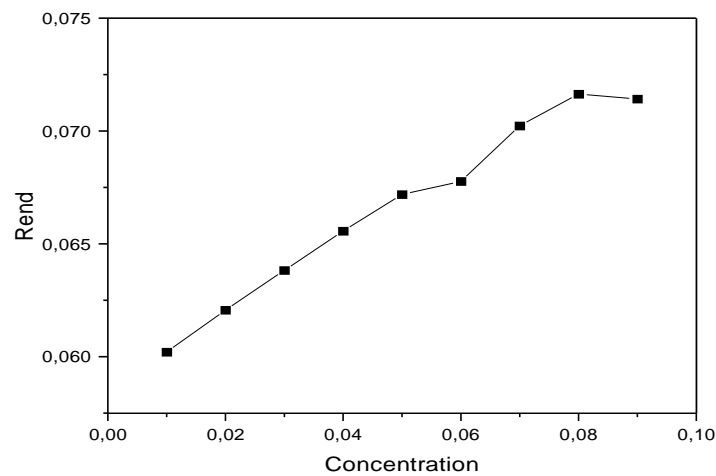


Figure (IV 31) : Variation du rendement en fonction de la concentration pour le nano fluide (eau/CuO)

➤ **Le nano fluide (eau/MgO)**

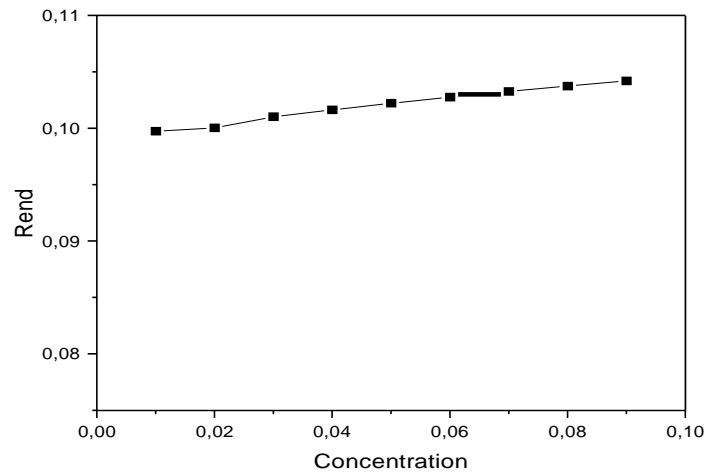


Figure (IV 32) : Variation du rendement en fonction de la concentration pour le nano fluide (eau/MgO)

➤ **L'air**

La **figure (IV.33)** montrent l'évolution du rendement de l'air en fonction du nombre de Reynolds.

Nous constatons que le rendement augmente quand le nombre de Reynolds augmente pour l'air.

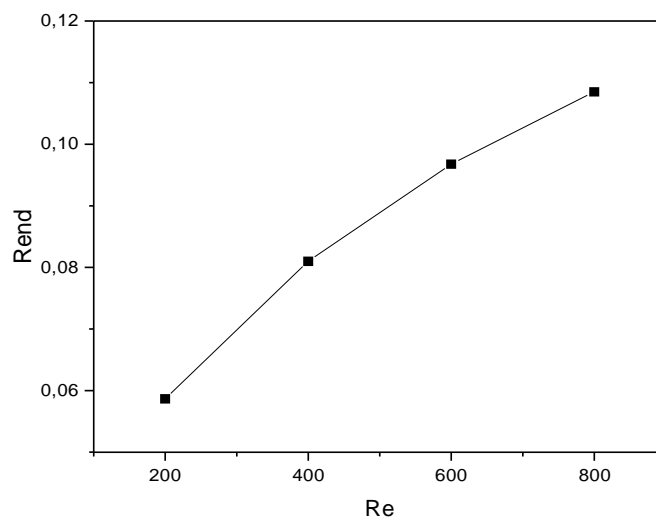


Figure (IV.33) : Variation du rendement en fonction du nombre de Reynolds pour l'air

IV.10. Conclusion

Les simulations ont permis de démontrer l'influence significative de divers paramètres sur le transfert de chaleur dans un panneau thermique, notamment le choix du fluide caloporteur, la concentration de nanoparticules, et le nombre de Reynolds. L'air et les nanofluides, en particulier ceux à base de CuO, offrent des améliorations notables en termes de taux de transfert de chaleur par rapport aux autres. Ces résultats sont prometteurs pour l'optimisation de la performance des panneaux thermiques, en particulier dans les régions avec des conditions climatiques similaires à celles de M'sila.

Conclusion Générale

Ce travail représente, une étude numérique du transfert de chaleur de l'écoulement d'un fluide dans le tube d'un panneau solaire thermique.

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

Les résultats obtenus représentent les variations des contours de température ainsi que le nombre de Nusselt relatifs à l'écoulement en fonction des nombres de Reynolds et des concentrations des nano fluides.

Le travail présenté a pour les objectifs suivants :

Comprendre le processus de transfert de chaleur avec rayonnement dans un panneau solaire thermique en utilisant comme fluide caloporteur l'air puis un nano fluide.

Des simulations ont été effectuées pour des nombres des différents nombres de Reynolds et des différentes concentrations des nanoparticules dans le fluide de base qui est l'eau.

Le logiciel Fluent a été utilisé avec le couplage de la convection et le rayonnement avec le choix du model de rayonnement de P1.

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 et l'isolant.
- La température du fluide diminue quand le nombre de Reynolds augmente.
- La concentration des nanoparticules dans la base fluide a une influence sur le taux de transfert de chaleur, ce dernier diminue quand la concentration des particules nanométriques augmente.
- Le nano fluide (eau/CuO) a donné un meilleur taux de transfert de chaleur que celui du nano fluide (eau/Cu) et (eau/MgO) ce taux de transfert de chaleur augmente avec le nombre de Reynolds pour le cas de l'air qui a donné un rendement meilleur que les autres.

A travers ce travail, nous concluons que le fluide caloporteur a un grand effet sur l'amélioration des performances des panneaux thermiques

Référence

- [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] thème : ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAIQUE ET SYSTEME PHOTOVOLTAIQUE AUTONOME ; TOUMI Nihed & KOUDA Iskandar ; Université Badji Mokhtar –Annaba ; Année : 2020/2021
- [6] José Miguel Navarro « Cellules Photovoltaïques Organiques Transparentes Dans Le Visible ».Thèse de doctorat. Université Toulouse III - Paul Sabatier, 2008.
- [7] L. de Schoulepnikoff et Gymnase Auguste Piccard « Quelle source d’énergie pour les vingt prochaines années ? ». Travail de maturité Alexandra Catana, 3M7, 2009.
- [8] F. ADAMO, F. ATTIVISSIMO, A. DI NISIO, A. M. L. LANZOLLA and M.SPADAVECCHIA, “Parameters estimation for a model of photovoltaic panels”, XIX IMEKO World Congress Fundamental and Applied Metrology, September 2009, Lisbon, Portugal, pp. 964-967.
- [9] MILOUDI K, ZINE A, BOUSBIA S. Étude de Défauts et Défaillances sur les Panneaux Photovoltaïques et leur Maintenance ; mémoire de Master.Université El Oued ; Année Universitaire : 2020/2021.
- [10] https://www.cder.dz/vlib/revue/pdf/v004_n2_texte_1.pdf.
- [11] <https://slideplayer.fr/slide/2877045/>
- [12] http://archives.univ-biskra.dz/bitstream/123456789/18287/1/Abdelkader_SMATTI.pdf
- [13]http://thesis.univbiskra.dz/532/1/developpement_d_un_logiciel_de_simulation_des_performances_thermiques_des_capteurs_solaires_palns.pdf
- [14] <https://docplayer.fr/4415628-I-1-introduction-i-2-etude-bibliographique.html>
- [15] <http://thesis.univ-biskra.dz/1143/3/Chapitre%2001.pdf>
- [16] V. Siddharta, Thermal performance optimization of a flat plate solar air heater using genetic algorithm, Applied Energy, 87, 1793-1799, 2010.

- [17] <https://docplayer.fr/24762476-Theme-etude-dynamique-et-thermique-d-un-capteur-solaire-a-air-a-doublepasse-avec-milieu-poreux.html>
- [18] E.K. Akpınar, and F. Kocyigit, Experimental investigation of thermal performance of solar air heater having different obstacles on absorber plates, Int. Commun Heat Mass Transfer, 37, 416-421, 2010.
- [19] S. Karsli, Performance analysis of new-design solar air collectors for drying applications, Renew. Energy, 32, 1645-1660, 2007.
- [20] https://www.researchgate.net/figure/Schema-du-capteur-plan-a-air-muni-de-rugosites_fig1_228876547
- [21] http://kelian.clerc.free.fr/transf_thermique.html#conduction
- [22] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Convection>.
- [23] https://fr.wikipedia.org/wiki/Transfert_thermique#Rayonnement.
- [24] <https://goodbye-kwh.com/transfert-de-chaleur-par-rayonnement-definition-partie-1/>
- [25] KHIDER fatma Zohra, Amélioration de la convection mixte en utilisant des ailettes cylindriques avec des ouvertures au niveau de la base, Mémoire de Master Université de M'sila, 2016.
- [26] Y. Xuan and Q. Li. Heat transfer enhancement of nanofluids. International Journal of Heat fluid flow, 21(1), 58–64, 2000.
- [27] ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAIQUE ET SYSTEME PHOTOVOLTAIQUE AUTONOME, TOUMI Nihed KOUDA Iskandar, Université Badji Mokhtar –Annaba, Année Universitaire : 2020/2021
- [28] Q. Li. and Y. Xuan. Convective heat transfer performances of fluids with nanoparticles. Proc of twelfth International Heat Transfer, 483-488, 2002.

