

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Energétique

Par :

Aberkane Boubekour

Benabdeslam Kouceilla

Thème

Étude numérique d'un écoulement convectif dans un capteur solaire

Soutenu le 01 juillet 2024 devant le jury composé de :

M. Mendil Fatsah

Président

M. Hamici Nadjib

Rapporteur

M. Sahi Adel

Examineur

Année Universitaire 2023-2024



Déclaration sur l'honneur

Engagement pour respecter les règles d'authenticité scientifique dans l'élaboration d'un travail de recherche

Arrêté ministériel n° 1082 du 27 Décembre 2020(*)
fixant les règles relatives à la prévention et la lutte contre le plagiat

Je soussigné,

Nom : Aberkane
Prénom : Boubekour
Matricule : 191933013843
Spécialité et/ou Option : Énergétique
Département : Génie Mécanique
Faculté : Technologie
Année universitaire : 2023/2024

et chargé de préparer un mémoire de (*Licence, Master, Autres à préciser*) : Master

Intitulé : **Étude numérique d'un écoulement convectif dans un capteur solaire.**

déclare sur l'honneur, m'engager à respecter les règles scientifiques, méthodologiques, et les normes de déontologie professionnelle et de l'authenticité académique requises dans l'élaboration du projet de fin de cycle cité ci-dessus.

Fait à Béjaïa le

01/07/2024

Signature de l'intéressé

(*) Lu et approuvé

.....



Déclaration sur l'honneur

Engagement pour respecter les règles d'authenticité scientifique dans l'élaboration d'un travail de recherche

Arrêté ministériel n° 1082 du 27 Décembre 2020(*)
fixant les règles relatives à la prévention et la lutte contre le plagiat

Je soussigné,

Nom : Benabdeslam
Prénom : Kouceilla
Matricule : 191933009547
Spécialité et/ou Option : Énergétique
Département : Génie Mécanique
Faculté : Technologie
Année universitaire : 2023/2024

et chargé de préparer un mémoire de (*Licence, Master, Autres à préciser*) : Master

Intitulé : **Étude numérique d'un écoulement convectif dans un capteur solaire.**

déclare sur l'honneur, m'engager à respecter les règles scientifiques, méthodologiques, et les normes de déontologie professionnelle et de l'authenticité académique requises dans l'élaboration du projet de fin de cycle cité ci-dessus.

Fait à Béjaïa le

01/07/2024

Signature de l'intéressé

(*) Lu et approuvé

.....

Remerciements

*Nous remercions en premier lieu Dieu tout puissant de nous
Avoir accordé la puissance et la volonté pour achever ce
Travail.*

*Nous tenons à remercier vivement nos professeurs et à tête
Notre prometteur Mr Hamici Nadjib pour son aide durant
La réalisation de ce Mémoire.*

*Nous tenons aussi à remercier tous ce qui ont contribué de près
Ou de loin, pendant la réalisation de ce modeste travail et nos
Amis qui m'ont aidé durant nos études. Et un grand merci au
Enseignants département génie Mécanique
Qui ont pris en charge les étudiants de cette promotion de
Master.*

Dédicace

Je rends grâce à dieu de m'avoir donné la santé, et la volonté ainsi que la conscience d'avoir

Terminé mes études.

Je dédie cette thèse :

*A mes très chères parents mon père, la personne la plus chère dans ma vie, ma raison de
vivre,*

*Il m'a encouragé et il m'a aidé à accomplir ce mémoire, pour me faire réussir et Ma chère
mère,*

*La lumière de ma vie, la source de tendresse, qui m'a soutenu et encouragé durant ces années
d'études. Que dieu vous garde, Je vous aime de tout mon cœur.*

A toutes mes connaissances et tous mes amours ; A toutes mes connaissances et tous mes

*Amours A mes très chers frères en reconnaissances de leurs amour, encouragements, que
dieu me*

Les gardes.

A ma chère proche amis et mon Aberkane Boubekeur pour son entente et sa sympathie, qui

M'a supporté et m'a fait confiance tout au long de ce travail.

A mon ami Said Ziani et mes collègues de la promotion 2024 (Génie Mécanique).

*A ma famille et mes meilleures amies, Qu'elles m'ont encouragé et supporté tous au long de
mon*

Parcours, et m'ont soutenu de loin ou de près.

Benabdeslam Kouceilla

Dédicace

Au nom d'Allah, le Miséricordieux et le Tout-Miséricordieux, je rends grâce pour m'avoir accordé la santé,

La persévérance et la clairvoyance nécessaires pour atteindre ce moment tant attendu de la fin de mes études.

À mes parents, qui ont été mes phares et mes piliers, je dédie humblement ce travail.

Leur amour indéfectible et leur soutien inestimable ont illuminé mon chemin et nourri mes aspirations.

Que leur lumière continue à guider mes pas alors que je m'engage vers de nouveaux horizons.

Je tiens à exprimer ma sincère gratitude à mon ami généreux Benabdeslam Kouceilla

Pour son aide précieuse dans la réalisation de ce travail.

Notre collaboration a été essentielle pour le mener à bien. Je lui souhaite le meilleur pour l'avenir et lui adresse mes plus sincères prières pour son succès continu.

Sans oublier notre ami Said Ziani et Karim Djama

Ainsi que mes collègues de la promotion 2024 (Génie Mécanique).

Je souhaite également exprimer ma profonde gratitude à toutes les âmes chères qui ont enrichi mon parcours :

Mes sœurs, tous les membres de ma famille, grands-parents, cousins, tantes et oncles, ainsi qu'à mes amis, camarades et à tous les enseignants qui ont partagé avec moi cette aventure,

Pour leur soutien inconditionnel et leurs encouragements constants.

ABERKANE BOUBEKEUR

Sommaire

Remerciements	i
Dédicace	ii
Dédicace	iii
Sommaire	iv
Liste des figures	vi
Liste des tableaux	viii
Nomenclature :	ix
INTRODUCTION GENERALE	1
Chapitre I : Généralités sur les capteurs solaires	3
I.1 Introduction :	3
I.2 Énergie solaire :	3
I.3 Types d'énergies solaires :	4
I.3.1 Énergie solaire photovoltaïque :	4
I.3.2 Énergie solaire thermique :	4
I.4 Les capteurs solaires :	5
I.5 Composantes d'un capteur solaire :	5
I.6 Différents types de capteurs solaires thermiques :	6
I.7 Effet de serre dans les capteurs solaires :	8
I.8 Paramètres et caractéristiques de fonctionnement des capteurs solaires :	8
I.9 Conclusion :	8
Chapitre II : Analyse bibliographique	10
II.1 Introduction :	10
II.2 Utilisation des ailettes :	10
II.3 Amélioration du processus d'absorption :	11
II.4 Amélioration des performances d'un capteur solaire plan à air :	11
II.5 Amélioration significative du transfert de chaleur :	12
II.6 Utilisation des ailettes coniques :	13
II.7 Amélioration les performances globales du capteur solaire :	14
II.8 Amélioration des performances thermiques du chauffage solaire à écoulement décalé jet-plaque :	15
II.9 Optimisation des chauffe-eau solaires à air par des ailettes rugueuses :	15

II.10 Amélioration des performances thermiques des chauffe-eau solaires par des configurations de nervures innovantes :	16
II.11 Optimisation des performances des chauffe-eau solaires par un réseau ondulé à double porosité :	17
II.12 Modélisation numérique du flux de fluide dans un capteur solaire plan à air en convection forcée :	18
II.13 Comparaison des approches numérique et expérimentale pour l'évaluation des performances thermiques d'un collecteur solaire plan :	19
II.14 Conclusion :	20
Chapitre III :Position du problème	22
III.1 Introduction :	22
III.2 Domaine d'étude :	22
III.3 Formulation mathématique :	25
III.3.1 Hypothèses simplificatrices :	25
III.4 Conditions aux limites :	27
III.5 Validations de la Problématique :	27
III.6 Maillage des géomètres :	28
III.7 Schémas numériques :	29
III.8 Conclusion :	31
Chapitre IV :Résultats et discussions	32
IV.1 Introduction :	32
IV.2 les caractéristiques de transfert de chaleur moyen :	32
IV.2.1 Chicane hexagonales :	32
IV.2.2 les chicanes rectangulaires :	36
IV.3 L'étude des contours de l'énergie cinétique turbulente :	36
IV.4 L'étude de la température à la sortie de capteur solaire :	39
IV.4.1 les chicanes hexagonales :	39
IV.4.2 Chicane rectangulaires :	41
IV.5 L'étude des contours de la température :	43
IV.6 Conclusion :	45
Conclusion Générale	46
Références Bibliographiques	48
Résumé :	50
Abstract :	50

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1 : Bilan radiatif de terre	4
Figure I.2 : Centrale photovoltaïque.....	4
Figure I.3 : Fonctionnement d'énergie thermique	5
Figure I.4 : Principe des capteurs solaires	5
Figure I.5 : Schéma de principe d'un capteur plan vitré	6
Figure I.6 : Capteurs plans non vitré	7
Figure I.7 : Capteur à tube sous vide	7

Chapitre II

Figure II.1 : (a) Géométrie du conduit nervuré et domaine de la solution. (b) Maillage rectangulaire avec adaptation de la grille pour yCZ1 à la paroi	10
Figure II.2 : Schéma d'un agencement de plaques d'absorbeur à ailettes	11
Figure II.3 : Géométrie étudiée	12
Figure II.4 : Plaque d'absorbeur rendue rugueuse.....	13
Figure II.5 : Déploiement des persiennes	13
Figure II.6 : Géométrie du problème	14
Figure II.7 : Vue en coupe schématique - vue en coupe de l'air solaire conventionnel à plaques parallèles chauffage avec flux d'air dans le canal	15
Figure II.8 : Disposition générale des côtes brisées en forme d'arc	16
Figure II.9 : Canal SAH rugueux avec (a) nervures en forme d'onde carrée (b) Plusieurs nervures transversales brisées	17
Figure II.10 : Schéma de configuration expérimental (a) vue de côté (b) vue en coup	18
Figure II.11 : Configuration du problème	19
Figure II.12 : Schéma de la veine d'air dynamique en configuration 2D	20

Chapitre III

Figure III.1 : Géométrie étudiée avec des chicane hexagonales	22
Figure III.2 : Géométrie étudiée avec des chicane rectangulaire	23
Figure III.3 : Différentes configurations de rugosité avec des chicane hexagonales en	

section	24
Figure III.4 : Différentes configurations de rugosité avec des chicanes rectangulaire en section	25
Figure III.5 : Comparaison des Profils de Turbulence Cinétique à un nombre de Reynolds 18000 : (a) : étude de Yadav ; (b) notre étude de validation	27
Figure III.6 : Maillage structuré de la première géométrie étudiée (chicanes hexagonales) .	28
Figure III.7 : Maillage structuré de la deuxième géométrie étudiée (chicanes rectangulaire).....	29

Chapitre IV

Figure IV.1 : Variation du nombre de Nusselt en fonction du nombre de Reynolds pour différentes valeurs du pas de la rugosité relative et pour une valeur fixe de la hauteur de la rugosité relative	33
Figure IV.2 : Variation du nombre de Nusselt en fonction du pas de la rugosité relative pour différentes valeurs du nombre de Reynolds et pour une valeur fixe de la hauteur de la rugosité relative	35
Figure IV.3 : Variation du nombre de Nusselt en fonction du pas de la rugosité relative pour différentes valeurs du nombre de Reynolds pour le cas de chicanes rectangulaires	36
Figure IV.4 : La représentation des contours de l'énergie cinétique turbulente pour $P/h_1 = 3.57$ et $h_1/D = 0.084$ à un nombre de Reynolds de (a) $Re = 8000$, (b) $Re = 12000$, (c) $Re = 15000$, (d) $Re = 18000$, (e) $Re = 21000$	38
Figure IV.5 : Variation de la température de sortie en fonction du nombre de Reynolds pour différentes valeurs du pas de la rugosité relative et pour des valeurs fixe de la hauteur de la rugosité relative	40
Figure IV.6 : Variation de la température de sortie en fonction du nombre de Reynolds pour différentes valeurs du pas de la rugosité relative et pour une valeur fixe de la hauteur de la rugosité relative	41
Figure IV.7 : La représentation des contours de la température pour $P/h_1 = 3.57$ et $h_1/D = 0.084$ à un nombre de Reynolds de (a) $Re = 8000$, (b) $Re = 12000$, (c) $Re = 15000$, (d) $Re = 18000$, (e) $Re = 21000$	44

Liste des tableaux

Tableau III.01 : Différentes rugosités relative utilisées pour chaque type de chicane hexagonale	23
Tableau III.02 : Différentes rugosités relative utilisées pour chaque type de chicane rectangulaire.....	24
Tableau III.03 : la variation de nombre de nusselt par rapport au nombre de cellules du maillage.....	28
Tableau III.04 : Propriétés thermo-physiques typiques de l'air à une température de 300 K	30

Nomenclature

Symboles	Définition	Unité (SI)
C_p :	Chaleur spécifique de l'air	[J/kg K]
D :	Diamètre équivalent ou hydraulique du conduit	[m]
h_1 :	Hauteur de la chicane hexagonale	[m]
h_2 :	Hauteur de la chicane rectangulaire	[m]
h :	Coefficient de transfert de chaleur	[W/m ² K]
H :	Profondeur du conduit	[m]
I :	Intensité turbulente / intensité du rayonnement solaire	[W/m ²]
λ :	Conductivité thermique de l'air	[W/mK]
L :	Longueur du conduit	[m]
L_1 :	Longueur d'entrée du conduit	[m]
L_2 :	Longueur de test du conduit	[m]
L_3 :	Longueur de sortie du conduit	[m]
m :	Débit massique	[kg/s]
P :	Pas	[m]
T_s :	Température de sortie du fluide	[K]
T_e :	Température d'entrée du fluide	[K]
v :	Vitesse de l'air dans le conduit	[m/s]
p :	Pression	[Pa]

Paramètres sans dimension :

h_1/D :	Hauteur relative de la rugosité dans les chicanes hexagonales.
h_2/D :	Hauteur relative de la rugosité dans les chicanes rectangulaires.
Nu :	Nombre de Nusselt.
P/h_1 :	Pas relatif de la rugosité dans les chicanes hexagonales.

P/h_2 :	Pas relatif de la rugosité dans les chicanes rectangulaires.
Re :	Nombre de Reynolds.
$\alpha_k ; \alpha_\varepsilon$:	Sont les coefficients de Prandtl turbulent pour k et ε respectivement.
$C_{1\varepsilon} ; C_{2\varepsilon} ; C_\mu$:	Constantes empiriques du modèle k - ε .

Symboles grecs :

μ :	Viscosité dynamique	[Ns/m ²]
μ_t :	Viscosité turbulente	[Ns/m ²]
ρ :	Densité de l'air	[kg/m ³]
ε :	Taux de dissipation	[m ² /s ³]
ω :	Taux de dissipation spécifique	[1/s]
k :	Énergie cinétique turbulente	[m ² /s ²]
Γ :	Diffusivité thermique moléculaire	[m ² /s]
Γ_t :	Diffusivité thermique turbulente	[m ² /s]
$u_i u_j$:	Produit des composantes de la vitesse dans les directions i et j respectivement	[m ² /s ²]
$u_i ; u_j$:	Composantes fluctuantes de la vitesse dans les directions i et j respectivement	[m ² /s ²]
$\overline{u_j u_i}$:	Tenseur de Reynolds, qui représente l'effet moyen de la turbulence	[m ² /s ²]
$X_i ; X_j$:	Coordonnées spatiales	[m]
G_k :	Taux de production de l'énergie cinétique turbulente	[m ² /s ²]
R_ε :	Terme de source supplémentaire	[m ² /s ²]
μ_{eff} :	Viscosité effective	[N·s/m ²]

Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE

L'importance de l'énergie pour les sociétés humaines est indéniable. Elle influence profondément les comportements des individus, qu'elle soit abondante ou rare.

La récolte et l'utilisation des énergies fossiles ont conduit à une importante pollution de l'air et de l'atmosphère au cours des derniers siècles. Cette émission de gaz à effet de serre a ensuite entraîné des perturbations environnementales à l'échelle mondiale. La réduction de l'impact de l'activité humaine sur la planète est désormais une priorité, soulignée par les principales organisations internationales qui appellent à une transition énergétique vers des solutions plus respectueuses de l'environnement.

Idéalement, le mix énergétique devrait combiner les énergies fossiles avec des sources renouvelables. Actuellement, près de 80% de l'énergie consommée provient des énergies fossiles. À ce rythme, les réserves disponibles risquent de diminuer dangereusement, voire de s'épuiser dans un avenir proche. Ainsi, l'avenir repose sur les énergies propres, renouvelables et durables, telles que l'hydroélectricité, l'énergie éolienne et solaire.

Les énergies renouvelables ont traversé différentes étapes de croissance. Parmi ces sources, on trouve l'énergie solaire, une forme d'énergie utilisée depuis des millénaires. Toutes les formes de production d'énergie actuellement utilisées sur Terre sont issues de l'énergie solaire, à l'exception de quelques-unes comme l'énergie nucléaire, la géothermie et l'énergie marémotrice. L'homme exploite l'énergie solaire pour la convertir en diverses formes d'énergie telles que l'énergie chimique (utilisée dans les aliments), l'énergie cinétique, l'énergie thermique, l'énergie électrique ou la biomasse. Par extension, l'expression "énergie solaire" est souvent utilisée pour faire référence à l'électricité ou à l'énergie thermique obtenue à partir du rayonnement solaire, qui est la source primaire de cette énergie.

Les capteurs solaires thermiques sont essentiels pour exploiter l'énergie solaire dans le chauffage et diverses applications. Contrairement aux capteurs photovoltaïques produisant de l'électricité, ils convertissent la lumière solaire en chaleur pour chauffer un fluide caloporteur. Leur flexibilité les rend adaptés à de nombreuses utilisations, et leur efficacité et faible coût d'exploitation en font une option attrayante pour réduire la dépendance aux combustibles fossiles et l'empreinte carbone.

L'énergie est un pilier essentiel des sociétés humaines, et la nécessité de passer à des sources plus durables et respectueuses de l'environnement est cruciale pour réduire notre impact sur la planète. Bien que les énergies fossiles dominent encore notre consommation énergétique, l'épuisement imminent de ces ressources souligne l'urgence de développer et d'adopter des énergies renouvelables. Parmi celles-ci, l'énergie solaire occupe une place centrale en raison de sa disponibilité et de son potentiel à être convertie en diverses formes d'énergie. L'étude de l'écoulement convectif dans les capteurs solaires thermiques, comme présentée dans ce travail, est essentielle pour optimiser leur performance et maximiser l'efficacité de la production d'énergie solaire, contribuant ainsi à une transition énergétique nécessaire et durable.

Chapitre I

Généralités sur les capteurs solaires

Généralités sur les capteurs solaires

I.1 Introduction :

L'importance de l'énergie solaire dans la transition énergétique mondiale ne peut être sous-estimée. Ce travail se concentre sur une étude numérique de l'écoulement convectif dans un capteur solaire, visant à modéliser et analyser le déplacement du fluide caloporteur. En optimisant le transfert de chaleur, cette recherche contribue à améliorer l'efficacité des capteurs solaires thermiques et à réduire la dépendance aux énergies fossiles.

I.2 Énergie solaire :

La distance entre la Terre et le Soleil est d'environ 150 millions de kilomètres et la vitesse de la lumière est légèrement supérieure à 300 000 km/h. Ainsi, les rayons du Soleil mettent environ 8 minutes pour nous parvenir. La constante solaire représente la densité d'énergie solaire atteignant la frontière externe de l'atmosphère en face du Soleil. [1]

Au niveau du sol, la densité d'énergie solaire est réduite à 1000 W/m² en raison de la diffusion photoélectrique, montrant ainsi que la lumière n'a pas seulement un caractère ondulatoire, mais aussi que son énergie est absorbée dans l'atmosphère."

Le soleil émet une énergie immense, environ 10 000 fois les besoins de la Terre, mais cette énergie est diluée. À l'extérieur de l'atmosphère terrestre, la puissance maximale reçue sur un mètre carré perpendiculaire atteint environ 1350W, variant légèrement selon la saison. Concentrer le rayonnement solaire n'augmente pas l'énergie captée mais permet d'atteindre des températures plus élevées (figure I.1). [2]

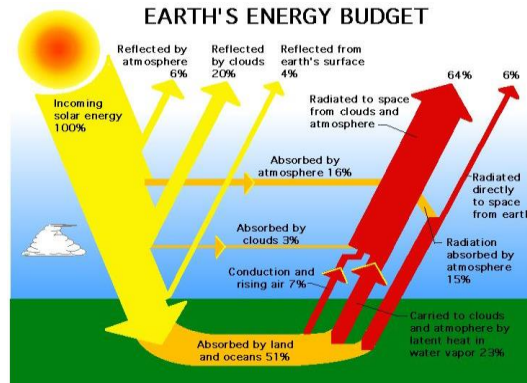


Figure I.1 : Bilan radiatif de terre.

I.3 Types d'énergies solaires :

L'énergie solaire peut être captée de deux façons : photovoltaïque ou thermique.

I.3.1 Énergie solaire photovoltaïque :

L'énergie solaire photovoltaïque récupère l'énergie des rayons solaires réfléchis par des panneaux spéciaux, convertissant cette énergie en électricité pour les zones urbaines. Elle offre des économies significatives et contribue à l'alimentation électrique des foyers (figure I.2). [3]



Figure I.2 : Centrale photovoltaïque.

I.3.2 Énergie solaire thermique :

Les panneaux solaires thermiques captent la chaleur solaire sur les toits pour chauffer des fluides caloporteurs comme l'eau, le glycol, l'huile thermique ou l'air. Ces fluides sont essentiels pour le transfert de chaleur, utilisés par exemple pour le chauffage de l'eau sanitaire ou domestique, avec des mélanges spécifiques adaptés aux conditions climatiques locales. Une fois chauffés, ces fluides sont stockés dans des réservoirs tampons pour être utilisés dans divers systèmes de chauffage (figure I.3).

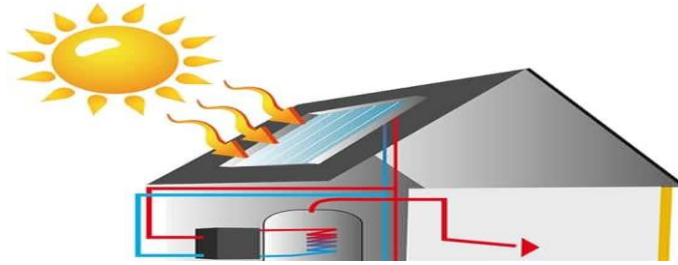


Figure I.3 : Fonctionnement d'énergie thermique.

I.4 Les capteurs solaires :

Les capteurs solaires thermiques utilisent des panneaux absorbants noirs pour capturer la chaleur solaire, transférée à un fluide caloporteur comme l'eau. Deux types principaux existent : les capteurs plans simples et les capteurs à tubes sous vide, offrant un rendement supérieur grâce à une meilleure capture du rayonnement solaire. Ils sont principalement utilisés pour chauffer l'eau sanitaire ou compléter les systèmes de chauffage domestique et commercial.

Le schéma de principe des capteurs solaires est donné sur la figure I.4.

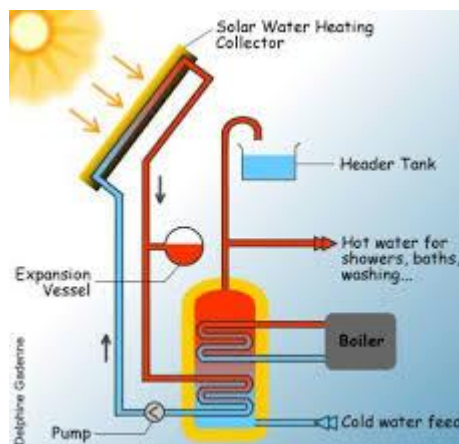


Figure I.4 : Principe des capteurs solaires.

I.5 Composantes d'un capteur solaire :

Les capteurs solaires sont des dispositifs cruciaux dans la transformation de l'énergie solaire en formes d'énergie utiles telles que la chaleur ou l'électricité. Composés de divers éléments stratégiquement intégrés, ces dispositifs exploitent efficacement la puissance du soleil pour répondre aux besoins énergétiques modernes de manière durable et écologique.

Les composantes typiques d'un capteur solaire :

- **L'absorbeur :**

Souvent en acier ou en cuivre, optimisé par une peinture noire pour une absorption élevée ou un revêtement sélectif comme le chrome noir.

- **La couverture :**

En verre ou en plastique assure une transmission efficace du rayonnement solaire et minimise les pertes de chaleur.

- **Le coffre :**

Robuste protège et fixe les composants du système, facilitant leur installation sur les toits, tandis que l'isolant, comme la fibre de verre, réduit les pertes de chaleur par conduction, améliorant ainsi le rendement du chauffage solaire.

I.6 Différents types de capteurs solaires thermiques :

Il existe trois principaux types de capteurs solaires thermiques : les capteurs plans, les capteurs à tubes sous vide et les capteurs à concentration. [4]

- **Capteurs plans vitrés :**

Ce modèle courant de capteur solaire thermique se compose d'un caisson isolé avec un vitrage résistant aux intempéries. À l'intérieur, un absorbeur, souvent un serpentin avec des ailettes noires pour une meilleure absorption de chaleur, contient le fluide à chauffer. L'isolant, comme la laine de roche, minimise les pertes thermiques. Ce design est apprécié pour sa robustesse, sa simplicité, sa technologie avancée et son bon rapport qualité-prix.

Le schéma de principe d'un capteur plan vitré est donné sur la figure I.5.

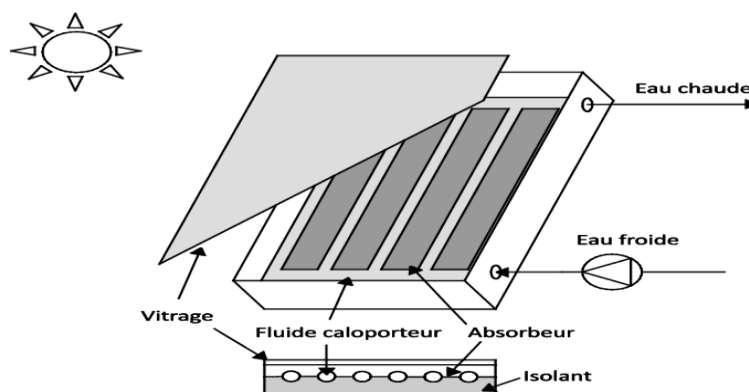


Figure I.5 : Schéma de principe d'un capteur plan vitré.

- **Capteurs plans non vitrés :**

Moins fréquents que les capteurs vitrés, ces capteurs solaires sont constitués uniquement d'un absorbeur sans caisson ni vitrage, ce qui réduit les coûts de fabrication. Cependant, ils sont plus sensibles aux variations de température et moins efficaces en hiver, nécessitant une surface de captation plus grande pour obtenir des performances équivalentes aux capteurs vitrés (figure I.6).



Figure I.6 : Capteurs plans non vitré.

- **Capteurs à tubes sous vide :**

Les panneaux High-Tech à tubes sous vide utilisent des tubes transparents sous vide pour isoler l'absorbeur, réduisant ainsi les pertes de chaleur par convection et conduction thermique. Certains tubes peuvent être remplis de gaz inerte pour une isolation thermique renforcée. Ces capteurs réagissent rapidement aux variations de lumière solaire, assurant une efficacité élevée même pendant de courtes périodes d'ensoleillement. Ils utilisent un fluide caloporteur adapté aux températures élevées, permettant des performances thermiques supérieures aux capteurs plans vitrés, offrant ainsi un rendement nettement amélioré (figure I.7).

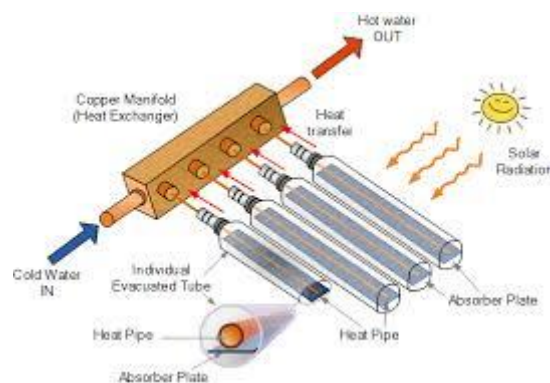


Figure I.7 : Capteur à tube sous vide.

I.7 Effet de serre dans les capteurs solaires :

Les capteurs solaires thermiques utilisent des matériaux comme le verre ou le plastique, transparents à la lumière visible mais opaques aux rayonnements infrarouges (IR). Cette propriété leur permet de laisser passer l'énergie solaire tout en piégeant la chaleur émise par l'absorbeur chauffé à l'intérieur du capteur. Cet effet de serre thermique augmente l'efficacité du captage de chaleur dans les capteurs solaires. [5]

I.8 Paramètres et caractéristiques de fonctionnement des capteurs solaires :

Avant d'analyser les paramètres et caractéristiques de fonctionnement des capteurs solaires thermiques, il est crucial de comprendre la structure de base incluant le coffre et l'isolant. Ces composants jouent un rôle clé en protégeant les éléments internes et en réduisant les pertes de chaleur par conduction. Une fois ces fondations comprises, nous pouvons explorer comment ils influencent l'efficacité et la performance globale des systèmes solaires thermiques. [6]

L'efficacité d'un capteur solaire thermique est influencée par des paramètres externes comme l'ensoleillement, la température ambiante et la vitesse du vent, ainsi que par des paramètres internes tels que l'inclinaison, la géométrie du capteur et la configuration du fluide caloporteur. L'étude numérique de ces facteurs permet de comprendre et d'optimiser leur impact sur les performances énergétiques du capteur. La simulation numérique offre des avantages significatifs en termes de coût, de rapidité et de flexibilité par rapport aux méthodes expérimentales, facilitant ainsi l'exploration et l'amélioration des technologies de capteurs solaires.

I.9 Conclusion :

Durant ce chapitre nous avons pu constater l'importance et le potentiel de l'énergie solaire, et des capteurs thermiques associés. Les composants principaux de ces derniers ont été passés en revue, permettant ainsi d'identifier les paramètres clés des performances. Le chapitre suivant se consacrera à l'état d'art des études numériques et expérimentales menées sur cet axe de recherche.

Chapitre II

Analyse bibliographique

Analyse bibliographique

II.1 Introduction :

Compte tenu du déficit d'échange thermique constaté dans le capteur solaire plan à air entre le fluide et l'absorbeur, il est opportun de rechercher des améliorations afin d'optimiser les performances ou d'accroître l'efficacité thermique.

II.2 Utilisation des ailettes :

Dans l'étude d'Alok Chaube et al [7], une analyse informatique a été réalisée pour optimiser le transfert de chaleur dans un canal d'air rectangulaire, en utilisant des turbulateurs artificiels (ailettes) sur un large mur (figure II.1). Le modèle de turbulence Shear Stress Transport (SST) a été sélectionné après comparaison avec des résultats expérimentaux. L'objectif était d'améliorer le transfert de chaleur par rapport à des surfaces lisses, tout en évaluant l'impact des ailettes sur l'écoulement, notamment la friction et les zones de séparation. Neuf configurations d'ailettes ont été testées pour mesurer leur efficacité. Les résultats ont montré que les turbulateurs artificiels améliorent significativement le transfert de chaleur, suggérant leur potentiel pour augmenter l'efficacité des systèmes de chauffage solaire de l'air.

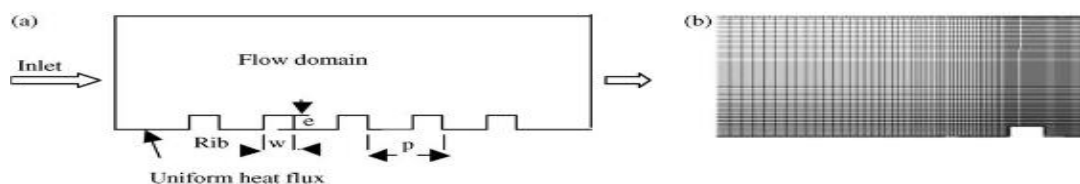


Figure II.1 : (a) Géométrie du conduit nervuré et domaine de la solution. (b) Maillage rectangulaire avec adaptation de la grille pour yCZ1 à la paroi.

Cette étude examine le transfert de chaleur et le frottement dans un conduit rectangulaire nervuré à grand rapport d'aspect. Le modèle 2D montre une meilleure concordance avec les données expérimentales que les modèles 3D, tout en étant plus économique. Les pics de transfert de chaleur se situent aux points de réattachement, avec une turbulence maximale dans ces zones. La distribution des pics et les longueurs de réattachement montrent une décroissance suivie d'une régularité après plusieurs ailettes. L'ailette rectangulaire de 3x5 mm

obtient le meilleur indice de performance global, bien que les ailettes chanfreinées offrent un transfert de chaleur supérieur.

II.3 Amélioration du processus d'absorption :

Dans cette étude, un ensemble de chicanes de grande longueur a été ajouté à l'absorbeur et à l'isolant, et le couvercle du panneau a également été modifié (figure II.2), utilisant de la peinture dans le but d'améliorer le processus d'absorption de la chaleur. **N.P. Nwosu [8]** a présenté cette étude dans le but de déterminer la taille optimale des ailettes en épingle et d'augmenter le transfert de chaleur dans les chauffages solaires. Cette géométrie spécifique a été adoptée pour atteindre cet objectif précis :

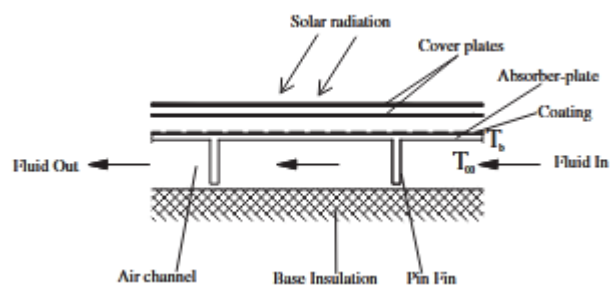


Figure II.2 : Schéma d'un agencement de plaques d'absorbeur à ailettes.

La conception du réchauffeur d'air solaire à surface étendue intègre la minimisation de l'entropie, bénéfique pour un échangeur de chaleur utilisant des fluides de récupération de chaleur. Les deux partagent une fonction similaire, captant la chaleur solaire par rayonnement avec un revêtement absorbant pour réduire le gaspillage d'énergie. Bien qu'aucune recommandation spécifique ne soit donnée, une analyse comparative des coûts et des avantages est essentielle pour optimiser l'efficacité globale du système.

II.4 Amélioration des performances d'un capteur solaire plan à air :

Le système solaire fait face à de grands défis en termes de baisse des échanges thermiques avec l'air, ce qui affecte négativement l'efficacité des systèmes dynamiques solaires. Cependant, l'introduction de barrières amélioratives dans les canaux représente une solution efficace pour améliorer le transfert de chaleur (figure II.3). Dans son étude, **Amraoui Mohamed Lamine [9]** a ajouté une rugosité isolante pour augmenter la surface d'échange thermique, renforçant ainsi les performances des systèmes dans l'absorption optimale de l'énergie. L'étude a utilisé un modèle numérique avec le logiciel Fluent pour analyser le

comportement dynamique et thermique de l'écoulement d'air à travers divers systèmes solaires, y compris les capteurs solaires plans avec et sans barrières, utilisant des rugosités de type rectangle, triangle et cercle.

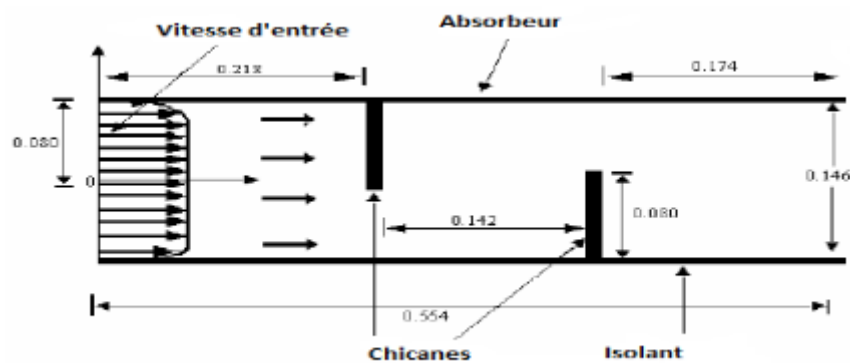


Figure II.3 : Géométrie étudiée.

Ce travail vise à améliorer les performances d'un capteur solaire plan à air en optimisant les échanges thermiques grâce à l'introduction de rugosités sur l'isolant. Les résultats montrent une augmentation significative du rendement thermique grâce à une meilleure distribution de la chaleur et une réduction des pertes thermiques.

II.5 Amélioration significative du transfert de chaleur :

Pour optimiser le taux de transfert de chaleur, **Yadav et al [10]** a dirigé cette recherche dans le but d'analyser de manière numérique le transfert de chaleur et les propriétés d'écoulement d'un fluide dans un canal rectangulaire en régime turbulent, en intégrant une rugosité carrée transversale répétitive sur une plaque absorbante (figure II.4). L'étude s'est concentrée sur divers intervalles de nombre de Reynolds, adaptés aux conditions spécifiques des chauffe-eau solaires. Les résultats ont été comparés aux valeurs du nombre de Nusselt, confirmant l'influence significative de la rugosité relative et de son intensification sur le nombre de Nusselt ainsi que sur le coefficient de frottement. En définitive, cette recherche vise à optimiser les paramètres de rugosité et de régime d'écoulement pour les chauffe-eau solaires, afin d'améliorer leur efficacité thermique et hydraulique en accord avec les exigences d'une performance constante de la pompe.

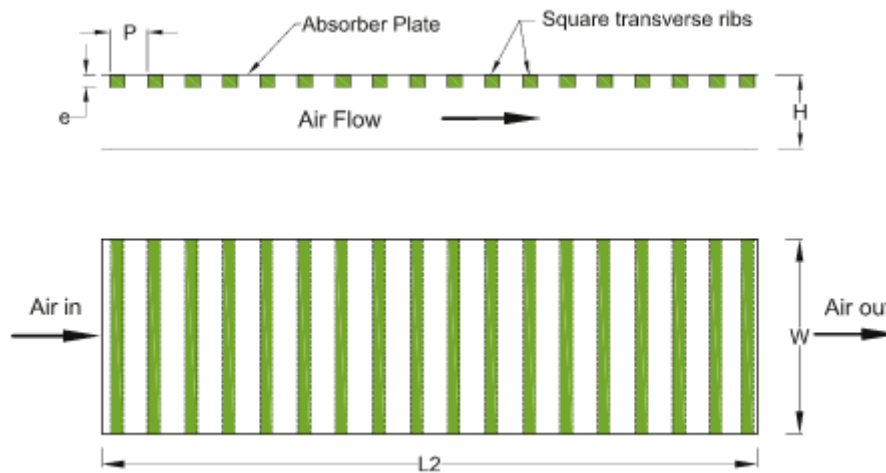


Figure II.4 : Plaque d'absorbeur rendue rugueuse.

L'étude analyse numériquement les processus de transfert de chaleur et d'écoulement dans un conduit rectangulaire de chauffe-air solaire avec une paroi rugueuse équipée de nervures transversales carrées. Elle montre que l'utilisation de cette rugosité artificielle améliore significativement le transfert de chaleur. La technique de Dynamique des Fluides Numérique (CFD) est efficacement employée pour une analyse complexe des paramètres, confirmant les résultats expérimentaux avec précision.

II.6 Utilisation des ailettes coniques :

Cette étude a exploité l'utilisation des ailettes coniques afin d'optimiser les performances thermiques des échangeurs de chaleur. Malgré cela, les résultats ont révélé que la réduction de la pression ne constituait pas nécessairement un obstacle suffisant pour abandonner l'utilisation des ailettes perforées. Pour la conception des échangeurs de chaleur équipés d'ailettes perforées, une configuration de tubes circulaires disposés sur des ailettes perforées parallèles a été adoptée, tandis que dans l'autre catégorie, des tubes plats ont été intégrés (figure II.5). La théorie de Reynolds et l'impact de la pression ont été des éléments clés pour optimiser le transfert de chaleur. L'objectif de cette étude, présentée par **J.M.Gorman et al [11]**, était d'améliorer le taux de transfert de chaleur afin d'atteindre les objectifs fixés.

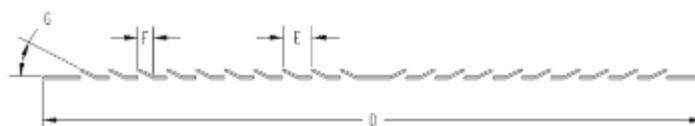


Figure II.5 : Déploiement des persiennes.

Cette étude compare pour la première fois les échangeurs de chaleur à ailettes avec leurs homologues à ailettes simples, où l'un des fluides traverse des tubes aplatis, une configuration inédite jusqu'alors. Menée par simulation numérique sur une plage de nombres de Reynolds, l'étude révèle qu'à faible Reynolds, l'augmentation du transfert de chaleur est similaire à celle de la perte de charge. Cependant, à mesure que le nombre de Reynolds augmente, la perte de charge dépasse l'augmentation du transfert de chaleur, expliquée par la moindre sensibilité du transfert de chaleur à la vitesse par rapport à la perte de charge.

II.7 Amélioration les performances globales du capteur solaire :

Youcef et R. Saim [12] ont réalisé une analyse numérique de la convection forcée dans un capteur solaire, avec un flux de chaleur uniforme sur l'absorbeur. En utilisant la méthode des volumes finis, ils ont étudié l'agencement des ailettes et observé des zones de recirculation au-dessus des chicane, augmentant ainsi la température du fluide caloporteur (figure II.6). L'étude confirme que les chicane améliorent significativement les performances globales du capteur solaire.

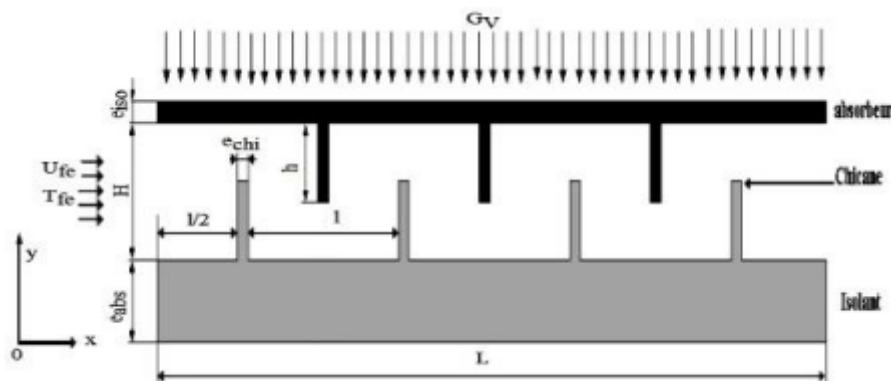


Figure II.6 : Géométrie du problème.

L'étude démontre que l'utilisation de chicane et d'ailettes dans un capteur solaire plan à air augmente la température du fluide caloporteur grâce à des zones de recirculation. Les profils de vitesse indiquent que ces structures favorisent des échanges thermiques efficaces, permettant une réduction potentielle de la longueur du capteur tout en maintenant de bonnes performances. En résumé, les chicane s'avèrent efficaces pour optimiser les performances du capteur solaire.

II.8 Amélioration des performances thermiques du chauffage solaire à écoulement décalé jet-plaque :

Cette étude expérimentale menée par **R.K. Nayak et S.N. Singh [13]** examine les performances d'un aérotherme solaire à orifice télescopique à flux croisé, en évaluant divers paramètres tels que le débit massique, le nombre de Reynolds et le rapport de profondeur. Les résultats mettent en lumière une efficacité accrue du chauffage solaire à air lorsque l'espacement entre le jet et la plaque d'absorption est augmenté. De plus, le chauffage solaire à plaque de jet démontre une meilleure performance par rapport au chauffage solaire conventionnel, avec des corrélations établies entre le nombre de Nusselt et le facteur de friction (figure II.7).

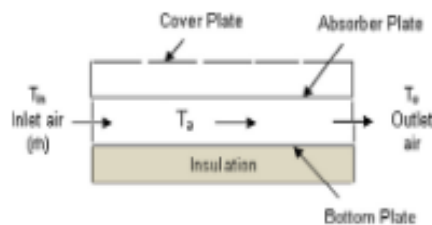


Figure II.7 : Vue en coupe schématique - vue en coupe de l'air solaire conventionnel à plaques parallèles chauffage avec flux d'air dans le canal.

L'étude expérimentale révèle que le chauffage solaire à écoulement décalé jet-plaque améliore significativement la température de sortie de l'air et l'efficacité du collecteur par rapport aux systèmes à plaques parallèles, surtout avec un espacement plus grand et des débits massiques élevés. Cependant, le facteur de frottement et la puissance de pompage restent comparables entre les deux configurations.

II.9 Optimisation des chauffe-eau solaires à air par des ailettes rugueuses :

Cette étude de **R.S. Gill et al [14]**, se concentre sur l'amélioration des performances des chauffe-eau solaires à air en modifiant la conception du passage d'écoulement. L'utilisation d'ailettes rugueuses, notamment en forme de V et avec des fentes symétriques (figure II.8), a montré une efficacité supérieure au transfert de chaleur par rapport aux ailettes continues. Les résultats mettent en évidence une amélioration du nombre de Nusselt, du coefficient de frottement et de l'efficacité thermique hydraulique. Les performances ont été comparées entre des canaux rugueux avec ailettes brisées et continues dans des conditions de flux similaires.

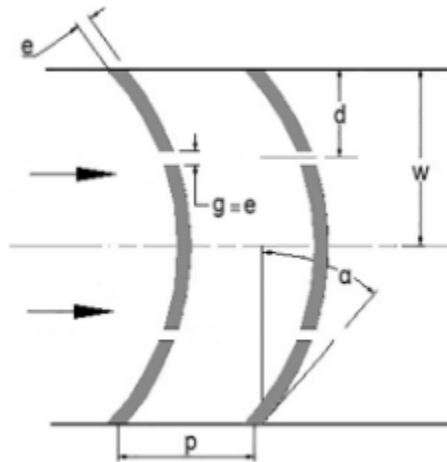
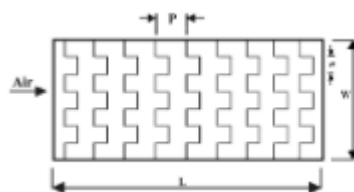


Figure II.8 : Disposition générale des côtes brisées en forme d'arc.

Cette étude a testé expérimentalement un conduit avec une rugosité brisée de nervure d'arc, évaluant l'impact d'écart relatif sur le motif d'écoulement et la température de l'absorbeur dans une plage de Reynolds de 2000 à 16000. Les résultats, obtenus avec ANSYS CFD, montrent que la position de l'écart améliore le facteur de frottement et le nombre de Nusselt, surpassant un conduit lisse. Ainsi, le conduit rugueux avec nervure d'arc brisée offre une meilleure performance thermo-hydraulique que celui avec nervure d'arc continue.

II.10 Amélioration des performances thermiques des chauffe-eau solaires par des configurations de nervures innovantes :

Cette recherche d'Inderje et Singh et al [15], explore l'amélioration des performances thermiques des chauffe-eau solaires traditionnels en introduisant des caractéristiques de rugosité sur le côté du flux d'air du panneau absorbant (figure II.9). Deux nouvelles configurations de nervures, multi-cassées et ondulées, ont montré des améliorations significatives du transfert de chaleur et du coefficient de frottement. Les résultats indiquent des augmentations de performances allant jusqu'à 3,85 fois pour les nervures multi-cassées, documentées par des analyses des schémas d'écoulement et des caractéristiques thermiques. L'étude vise à accroître l'efficacité et la durabilité des chauffe-eau solaires.



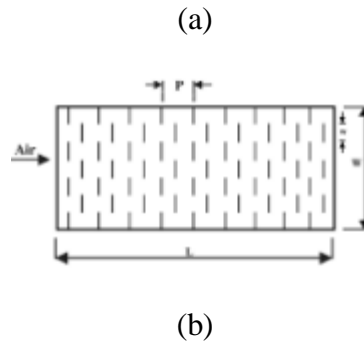
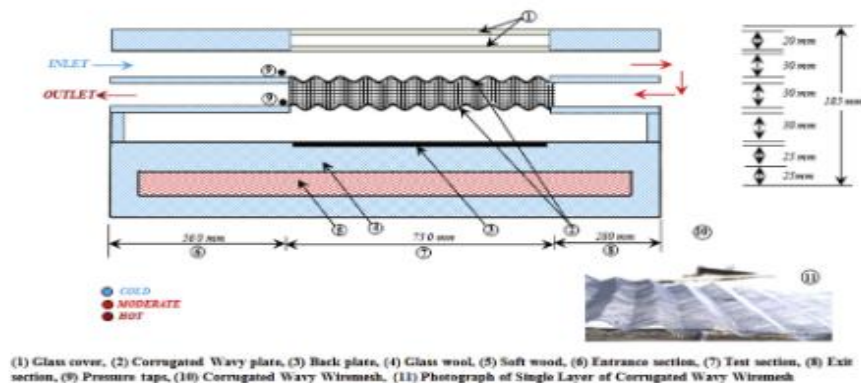


Figure II.9 : Canal SAH rugueux avec (a) nervures en forme d'onde carrée (b) plusieurs nervures transversales brisées.

Cette recherche expérimentale et CFD a évalué deux configurations de nervures, en forme d'ondes carrées et transversales multiples cassées, pour améliorer les performances des chauffe-eau solaires. Les résultats montrent une augmentation du nombre de Nusselt avec le Reynolds et une diminution du facteur de frottement. Les nervures transversales cassées ont offert de meilleures performances thermiques, avec des augmentations maximales du transfert de chaleur de 3,24 fois, contre 2,50 fois pour les nervures en forme d'ondes. Les résultats CFD concordent bien avec les données expérimentales, montrant des écarts moyens faibles.

II.11 Optimisation des performances des chauffe-eau solaires par un réseau ondulé à double porosité :

Cette étude de **S. Singh et al [16]**, examine les performances d'un chauffe-air solaire avec un réseau ondulé (figure II.10), combinant expériences et modélisation numérique. Les résultats montrent une amélioration jusqu'à 93 % de l'efficacité du transfert de chaleur et des performances hydrauliques avec un réseau à double porosité. La modélisation numérique valide ces résultats, indiquant une amélioration de 24,33 % par rapport à un réseau plat. L'étude vise à optimiser le transfert de chaleur et l'efficacité hydraulique des chauffe-eau solaires.



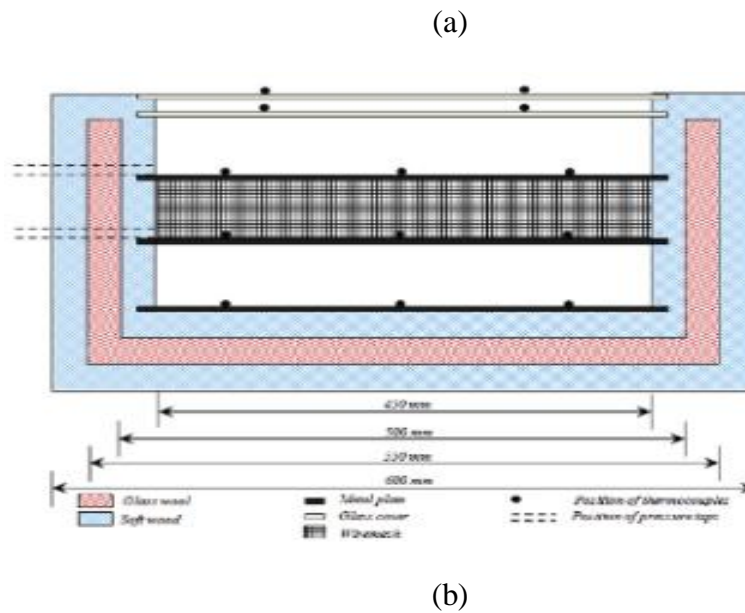


Figure II.10 : Schéma de configuration expérimental (a) vue de côté (b) vue en coupe.

Cette étude examine un chauffe-air solaire utilisant un lit emballé en maille ondulée, révélant une amélioration de l'efficacité thermique et thermohydraulique atteignant jusqu'à 80% et 74%, respectivement, avec un flux d'air parallèle. Les simulations numériques identifient des valeurs optimales pour maximiser les performances, montrant une augmentation de 24% pour le modèle à lit ondulé par rapport à un lit plat. L'analyse souligne l'importance du mélange de fluide, mais indique qu'à faible porosité, la convection est négligeable, entraînant une chute de pression élevée. L'optimisation des paramètres géométriques est donc essentielle pour améliorer la performance globale.

II.12 Modélisation numérique du flux de fluide dans un capteur solaire plan à air en convection forcée :

Bakhadda Abdelrahim [17], a mené cette étude qui consiste en un modèle numérique estimant le flux de fluide à travers un canal de passage d'un capteur solaire plan à air en régime de convection forcée (figure II.11). L'objectif principal était de comprendre la configuration de l'écoulement et les échanges thermiques, en comparant les résultats numériques avec des données expérimentales antérieures. Les simulations numériques ont été réalisées à l'aide du logiciel "Fluent". Cette recherche numérique s'est concentrée sur l'analyse des variations de la vitesse du fluide à l'entrée du canal de passage afin d'identifier la configuration optimale pour maximiser l'efficacité thermique.

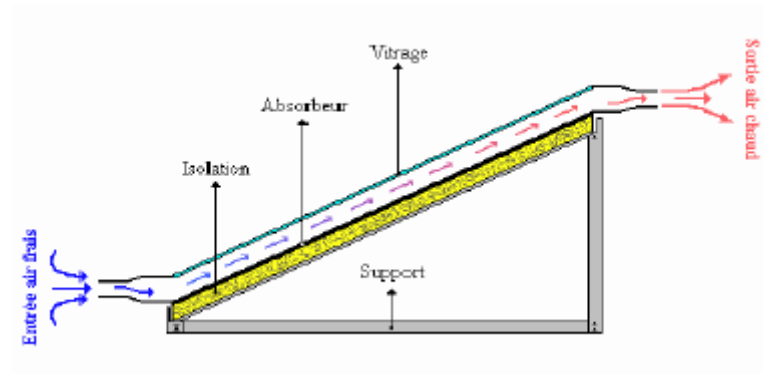


Figure II.11 : Configuration du problème

Ce projet de recherche analyse numériquement l'effet du débit d'air sur les performances d'un capteur solaire à air en mode forcé, en simulant un canal en 2D avec différentes vitesses d'air. Les résultats montrent que 2 m/s offre la température de sortie la plus élevée, suggérant une amélioration de l'efficacité thermique, bien qu'une validation expérimentale soit nécessaire.

II.13 Comparaison des approches numérique et expérimentale pour l'évaluation des performances thermiques d'un collecteur solaire plan :

HANI Sif El-islam [18] a entrepris de comparer une étude numérique et une étude expérimentale pour évaluer les caractéristiques thermiques et dynamiques de l'écoulement d'air à travers un collecteur solaire plan équipé de barrières carrées et d'une partie supérieure inclinée (figure II.12).

Dans l'analyse numérique, le logiciel Fluent CFD a été utilisé pour résoudre les équations de transfert de chaleur et de mouvement en utilisant la méthode des volumes finis, avec le modèle de turbulence Epsilon-k. L'étude a porté sur un écoulement d'air bidimensionnel, en tenant compte du caractère non stationnaire de l'écoulement dans l'étude expérimentale. L'objectif principal était de comparer ces deux approches, numérique et expérimentale, pour différents régimes d'écoulement.

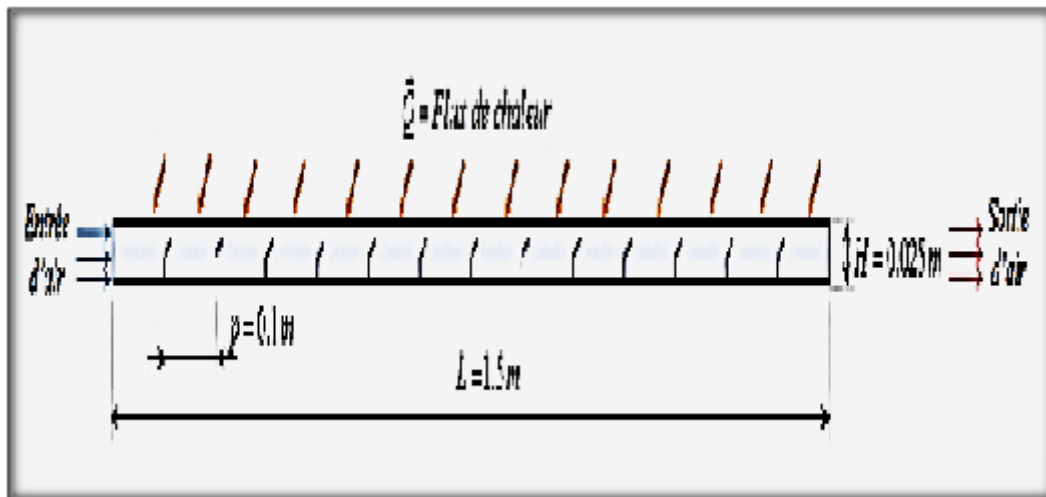


Figure II.12 : Schéma de la veine d'air dynamique en configuration 2D.

L'amélioration des performances thermiques des capteurs solaires plans à air et des échangeurs de chaleur repose sur l'intégration d'obstacles métalliques appelés chicanes, fixés sur le plan d'écoulement inférieur ou sur l'absorbeur, afin d'augmenter la surface d'échange. Cette étude utilise le logiciel Fluent, renommé pour sa capacité à simuler la mécanique des fluides, pour évaluer l'impact de différentes formes de chicanes sur les performances thermiques des capteurs solaires. En analysant les lignes de courant, les contours de température et de dépression, ainsi que les variations de vitesse en fonction du régime d'écoulement (laminaire ou turbulent), cette recherche compare les résultats numériques obtenus aux mesures expérimentales effectuées sur un capteur solaire plan à air développé à l'université Mohamed Khider à Biskra. Les conclusions mettent en évidence une amélioration significative du rendement thermique et de la température de l'air en sortie du capteur grâce à l'ajout de chicanes dans la veine d'air, soulignant ainsi l'importance de cette configuration pour optimiser les échanges thermiques dans ces systèmes.

II.14 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons effectué une recherche bibliographique approfondie, examinant des études expérimentales et théoriques antérieures. Nous avons choisi de nous baser sur la recherche de **Yadav [19]** pour l'adapter à notre problématique spécifique. Le prochain chapitre présentera les modifications que nous avons apportées et expliquera en détail notre approche.

Chapitre III

Position du problème

Position du problème

III.1 Introduction :

Dans l'étude présente, un flux d'air turbulent bidimensionnel à travers un capteur solaire rugueux avec des chicanes transversales à deux types de section (section hexagonale et section rectangulaire) sur le dessous de la plaque absorbante. Le modèle et la procédure de calcul sont présentés en détail dans les sous-titres suivants.

III.2 Domaine d'étude :

Pour éviter les complexités du modèle tridimensionnel de capteur solaire, **Yadav et Bhagoria [10]** ont proposé l'utilisation d'un modèle bidimensionnel dans un article de recherche. Ainsi, dans l'analyse actuelle, un modèle 2D pour un capteur solaire avec une surface rugueuse artificielle a été adopté, similaire à celui de **Chaubey et al [7]**. Ce domaine 2D utilisé pour l'analyse CFD a été créé selon les travaux expérimentaux de **Bopche [19]**.

Le domaine de calcul est un simple rectangle et se compose de trois sections, à savoir la section d'entrée ($L_1=245\text{mm}$), la section de test ($L_2=280\text{mm}$) et la section de sortie ($L_3=115\text{mm}$) (Figure III.1). Dans le travail actuel, deux éléments de rugosité sous la forme d'une chicane transversale hexagonale et une autre forme de chicane rectangulaires en 2D sont utilisés. Ses formes de chicanes sont placées sur le dessous de la plaque absorbante supérieure tandis que les autres côtés sont considérés comme des surfaces lisses. Les deux formes de chicanes utilisées dans cette étude sont présentées dans la figure III.1 et figure III.2.

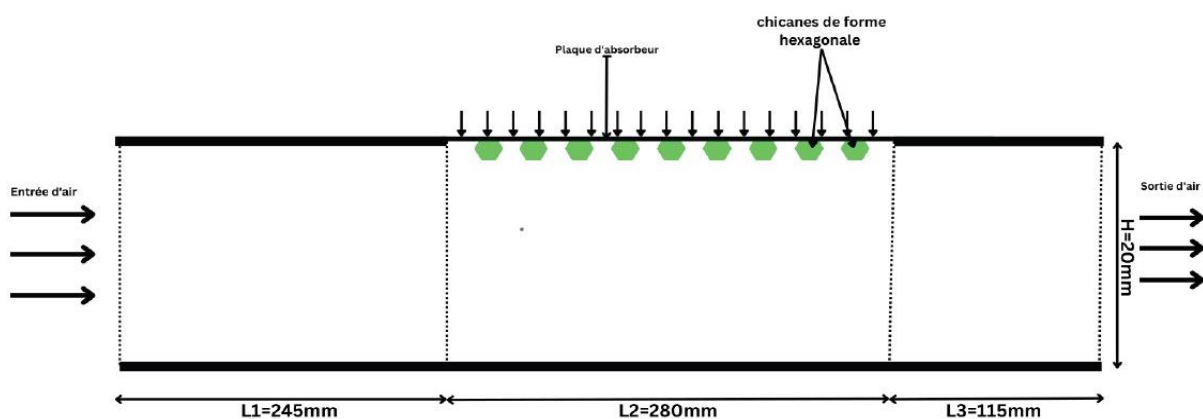


Figure III.1 : Géométrie étudiée avec des chicanes hexagonales.

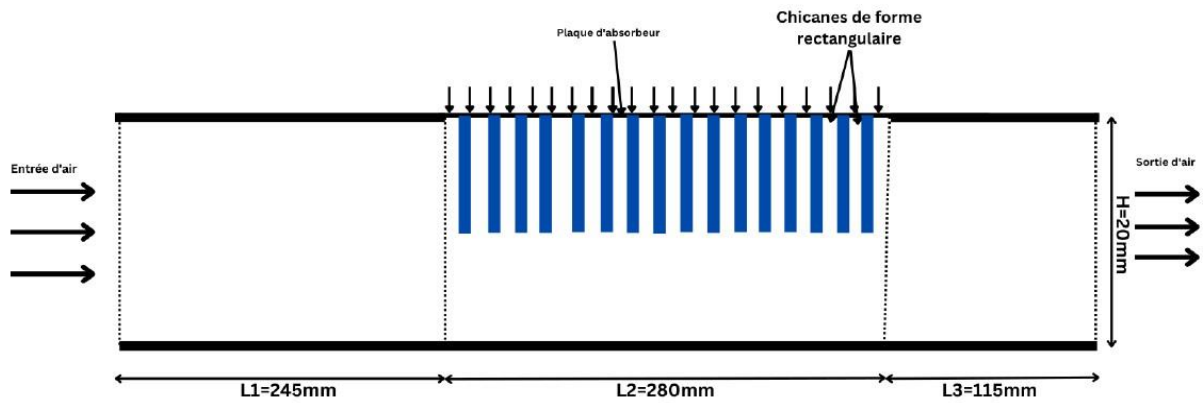


Figure III.2 : Géométrie étudiée avec des chicane rectangulaire.

Rugosité Géométrie	Diamètre hydraulique du conduit, D (mm)	Hauteur des chicanes, h_1 (mm)	Rugosité relative Hauteur, h_1/D	Pas des chicanes, P (mm)	Rugosité relative Pas, P/h_1
Type-a	33.33	1.8	0.054	10	5.55
Type-b	33.33	1.8	0.054	20	11.11
Type-c	33.33	1.8	0.054	30	16.66
Type-d	33.33	1.8	0.054	40	22.22
Type-e	33.33	2.8	0.084	10	3.57
Type-f	33.33	2.8	0.084	20	7.14
Type-g	33.33	2.8	0.084	30	10.71
Type-h	33.33	2.8	0.084	40	14.29
Type-i	33.33	3.8	0.114	10	2.63
Type-j	33.33	3.8	0.114	20	5.26
Type-k	33.33	3.8	0.114	30	7.89
Type-l	33.33	3.8	0.114	40	10.52

Tableau III.1 : Différentes rugosités relative utilisées pour chaque type de chicane hexagonale.

Rugosité Géométrie	Diamètre hydraulique du conduit, D (mm)	Hauteur des chicanes, h_2 (mm)	Rugosité relative Hauteur, h_2/D	Pas des chicanes, P (mm)	Rugosité relative Pas, P/h_2
Type-m	33.33	10	0.3	10	1
Type-n	33.33	10	0.3	15	0.67
Type-o	33.33	10	0.3	20	0.5
Type-p	33.33	10	0.3	25	0.4

Tableau III.2 : Différentes rugosités relative utilisées pour chaque type de chicane rectangulaire.

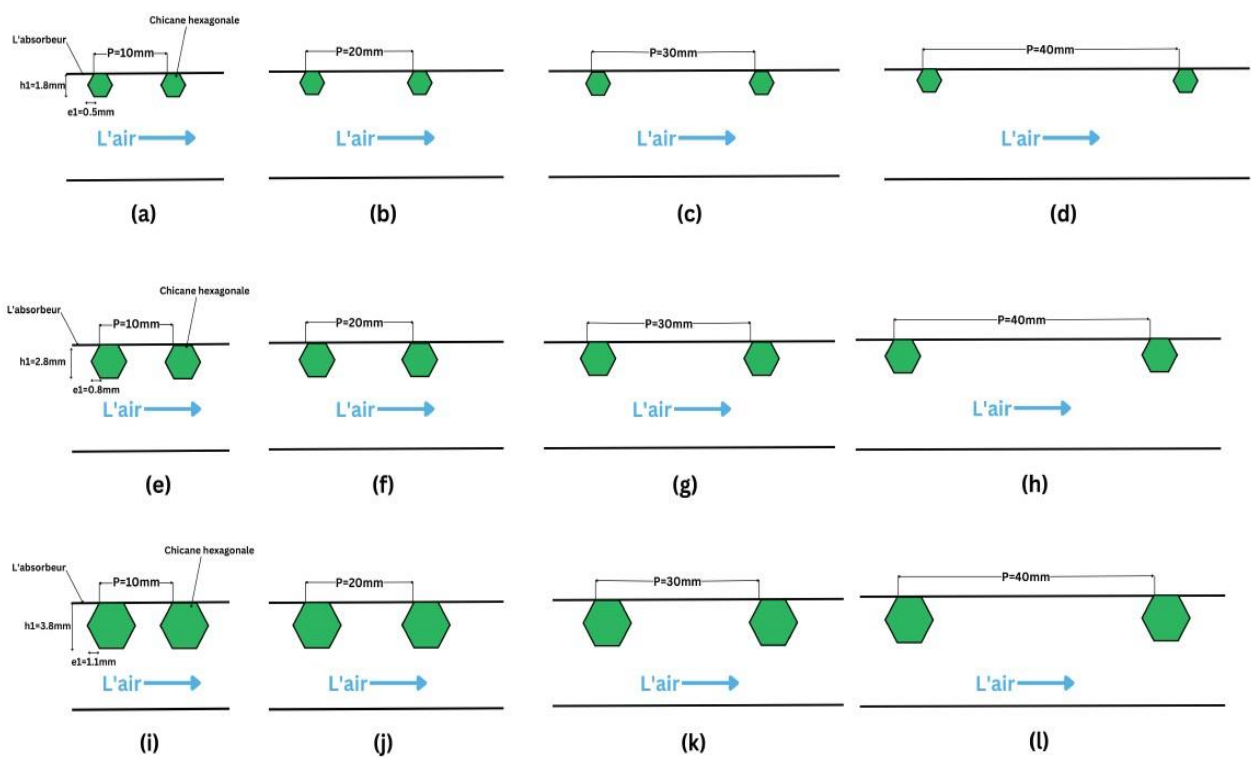


Figure III.3 : Différentes configurations de rugosité avec des chicanes hexagonales en section.

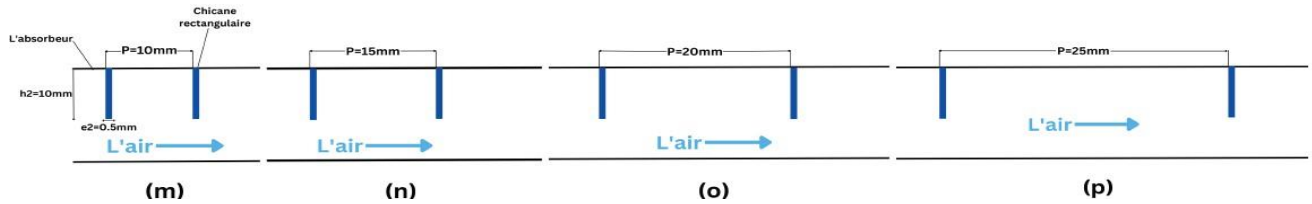


Figure III.4 : Différentes configurations de rugosité avec des chicanes rectangulaire en section.

III.3 Formulation mathématique :

III.3.1 Hypothèses simplificatrices :

L'utilisation des hypothèses simplificatrices d'une importance cruciale, notamment en mécanique des fluides numérique (CFD). La complexité inhérente à la résolution des équations qui modélisent des phénomènes fluides complexes et souvent turbulents, rend indispensable l'intégration de ces hypothèses pour simplifier la résolution du problème, sans pour autant altérer la physique du problème. Sans ces hypothèses, la résolution des équations différentielles partielles devient compliquée et lourde en calcul. Alors, le choix adéquat de ces hypothèses est essentiel pour toute simulation numérique visant à représenter fidèlement un phénomène réel en mécanique des fluides. Les hypothèses appliquées à la présente étude sont :

- Le fluide est supposé newtonien incompressible en écoulement stationnaire.
- L'écoulement est supposé turbulent.
- La cavité est suffisamment longue dans l'axe z pour considérer un écoulement bidimensionnel.
- Absence de source de chaleur interne.
- Les propriétés thermo-physiques du fluide sont supposées constantes.
- La fonction de dissipation visqueuse est négligeable.

La résolution L'écoulement turbulent de l'air à travers un capteur solaire artificiellement rugueux est décrite par la forme bidimensionnelle de l'équation de continuité, les équations de Navier-Stokes incompressibles indépendantes du temps et l'équation de l'énergie. Ces équations se présentent comme suit :

Équation de continuité :

$$\frac{\partial}{\partial X_i} (\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

Équation de quantité de mouvement :

$$\frac{\partial}{\partial X_i} (\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial X_i} + \frac{\partial}{\partial X_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial X_j} + \frac{\partial u_j}{\partial X_i} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial X_j} (-\rho \overline{u_j u_i}) \quad (2)$$

Équation d'énergie :

$$\frac{\partial}{\partial X_i} (\rho u_i T) = \frac{\partial}{\partial X_j} \left((\Gamma + \Gamma_t) \frac{\partial T}{\partial X_j} \right) \quad (3)$$

Où Γ et Γ_t sont respectivement la diffusivité thermique moléculaire et la diffusivité thermique turbulente, et sont donnés par :

$$\Gamma = \mu / Pr \quad \text{et} \quad \Gamma_t = \mu_t / Pr_t \quad (4)$$

La résolution de ces équations gouvernantes est basée sur la méthode des volumes finis, qui permet de discrétiser le domaine de calcul en un réseau de volumes de contrôle. Cette approche facilite le traitement numérique des équations différentielles partielles complexes décrivant l'écoulement et le transfert de chaleur dans le capteur solaire.

Les deux paramètres non dimensionnels pertinents dans la présente investigation CFD sont le nombre de Reynolds et le nombre de Nusselt, définis comme suit :

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (5)$$

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (6)$$

Alors que (D) : c'est la valeur de diamètre hydraulique.

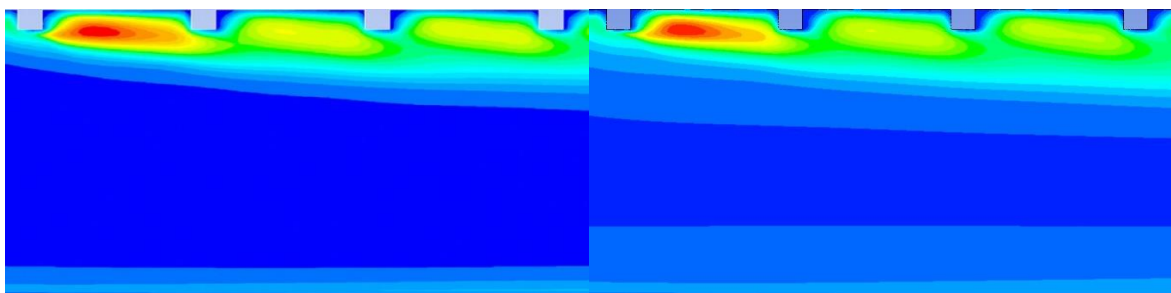
III.4 Conditions aux limites :

Pour réaliser cette simulation, nous avons utilisé des conditions qui nous guident et nous rapprochent des résultats expérimentaux. Ces conditions sont tirées de la recherche de Mr. **Anil Singh Yadav [10]** :

- La température de l'air à l'entrée et à la sortie : $T_e = T_s = 300$ K
- La paroi supérieure (absorbeur) un flux de chaleur constant de 1000 W/m²
- La paroi inférieure est supposée adiabatique
- La pression à la sortie : $1,013 \times 10^5$ Pa
- Le nombre de Reynolds : 8000 ; 12000 ; 15000 ; 18000 ; 21000

III.5 Validation de la Problématique :

Dans cette validation, nous avons reproduit méthodiquement les conditions de l'étude qui a fait **Yadav et Bhagoria [10]** : même géométrie, maillage identique, paramètres et modèles de turbulence similaires. En comparant spécifiquement les profils de turbulence cinétique, nous avons observé une similarité marquante, notant spécifiquement les lignes de courant et les noyaux de turbulences cinétiques similaires à ceux de l'étude principale, renforçant ainsi la validité de notre approche.



(a)

(b)

Figure III.5 : Comparaison des Profils de Turbulence Cinétique à un nombre de Reynolds 18000 : (a) : étude de **Yadav** ; (b) Présent cas

III.6 Maillage des géométries :

Pour la simulation de ses deux géométries on utilise un maillage structuré (quadrilatérale uniforme), quatre ensembles de maillages de tailles différentes sont utilisés pour la simulation afin de s'assurer que les résultats sont indépendants du maillage. Pour le test d'indépendance du maillage, le nombre de cellules est varié de 196238 à 604124 en quatre étapes. Les résultats ont montré qu'après 443284 cellules, il n'y a qu'un changement minime dans le nombre de Nusselt. Par conséquent, nous avons choisi un maillage de 443284 cellules pour les deux géométries.

Le nombre de cellules	Le nombre de Nusselt
196 238	38.40894
305824	37.92226
443 284	37.87104
604 124	37.86958

Tableau III.03 : Variation de nombre de Nusselt par rapport au nombre de cellules du maillage.

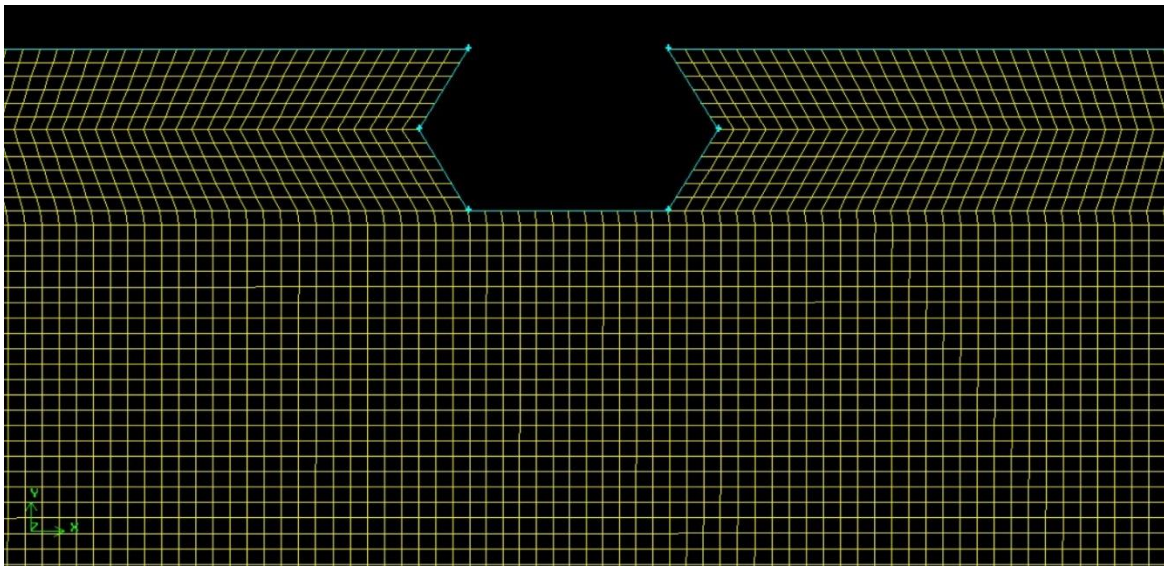


Figure III.6 : Maillage structuré de la première géométrie étudiée (chicanes hexagonales).

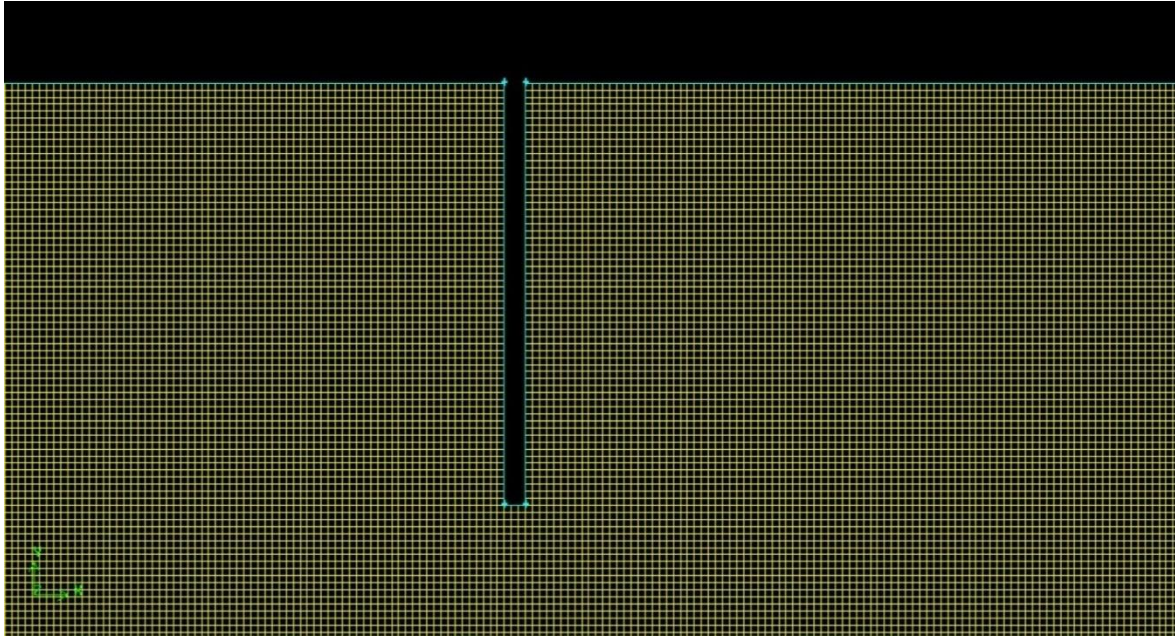


Figure III.7 : Maillage structuré de la deuxième géométrie étudiée (chicanes rectangulaire).

III.7 Schémas numériques :

Pour choisir le modèle de turbulence approprié pour la simulation d'un capteur solaire artificiellement rugueux **Anil Singh Yadav [10]** a choisi de faire une étude de comparaisent entre cinq modèles de turbulence différents (Modèle standard k- ϵ , modèle k- ϵ du groupe de renormalisation, modèle k- ϵ réalisable, modèle standard k- ω et modèle k- ω de transport de contrainte de cisaillement).

Cette étude a démontré que le modèle (k- ϵ du groupe de renormalisation (RNG)) a donné de meilleurs résultats par rapport aux autres modèles. C'est pourquoi nous avons utilisé le même modèle (k- ϵ du groupe de renormalisation (RNG)) aux deux formes des deux géométries présentées.

L'énergie cinétique turbulente modélisée, k , et son taux de dissipation, ϵ , sont obtenus à partir des équations de transport suivantes pour le modèle k- ϵ du groupe de renormalisation (RNG) :

$$\frac{\partial}{\partial X_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial X_j} \left(\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial X_j} \right) + G_k - \rho \epsilon \quad (7)$$

Et

$$\frac{\partial}{\partial X_i} (\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial X_j} \left(\alpha_\epsilon \mu_{eff} \frac{\partial \epsilon}{\partial X_j} \right) + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} - R_\epsilon \quad (8)$$

Dans ces équations, G_k représente la génération d'énergie cinétique turbulente due aux gradients de vitesse moyenne, ce terme peut être défini comme :

$$G_k = -\rho \overline{u_i u_j} \frac{\partial u_j}{\partial X_i} \quad (9)$$

μ_{eff} représente la viscosité turbulente effective est donnée par :

$$\mu_{eff} = \mu + \mu_t \quad (10)$$

La viscosité turbulente μ_t , est calculée en combinant k et ϵ comme suit :

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (11)$$

Où C_μ est une constante.

Les constantes du modèle $C_{1\epsilon}$, $C_{2\epsilon}$, C_μ ont les valeurs par défaut suivantes :

$$C_{1\epsilon} = 1.42, C_{2\epsilon} = 1.68, C_\mu = 0.0845$$

Les propriétés thermo-physiques typiques de l'air à une température de 300 K pour une analyse CFD :

Propriétés thermo-physiques	L'air
Densité, ' ρ ' [kg/m ³]	1,117
Chaleur spécifique, ' C_p ' [J/kg.K]	1007
Conductivité thermique, ' λ ' [W/m.K]	0,0262
Viscosité, ' μ ' [Ns/m ²]	1,857e-05

Tableau III.04 : Propriétés thermo-physiques typiques de l'air à une température de 300 K

III.8 Conclusion :

En résumé, ce chapitre a permis de définir les caractéristiques et les propriétés essentielles pour la simulation du capteur solaire 2D, en détaillant les choix géométriques, les hypothèses simplificatrices, et les propriétés thermodynamiques. Ces éléments préparent le terrain pour la discussion des résultats de la simulation, qui seront analysés en détail dans le prochain chapitre.

Chapitre IV

Résultats et discussions

Résultats et discussions

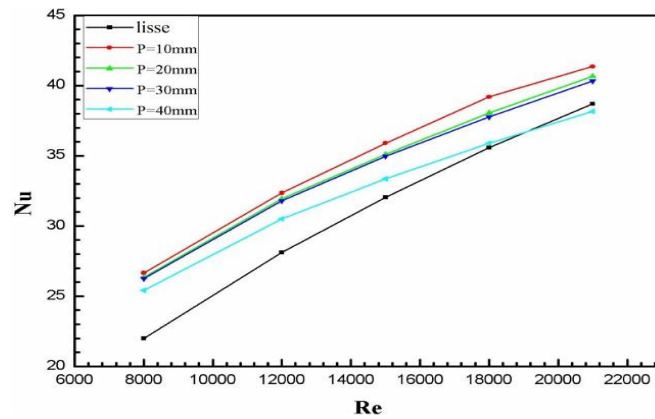
IV.1 Introduction :

Dans cette étude, un nouveau modèle computationnel de transfert de chaleur à l'intérieur d'un capteur solaire à air avec des chicanes hexagonales et rectangulaires sur la plaque d'absorption a été développé en utilisant l'approche CFD. Les effets du nombre de Reynolds, du pas de rugosité relatif (P/h_1) (P/h_2) et de la hauteur de rugosité relative (h_1/D) (h_2/D) sur le transfert de chaleur moyen ont été examinés. Les résultats ont été comparés à ceux obtenus pour des conduits lisses opérant dans des conditions similaires afin d'évaluer l'amélioration du transfert de chaleur due à la rugosité artificielle.

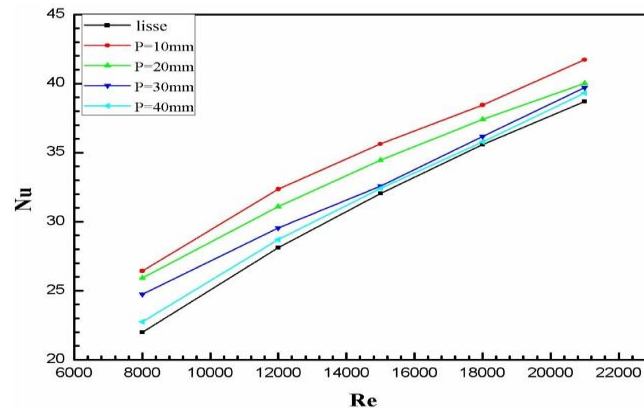
IV.2 Caractéristiques de transfert de chaleur moyen :

IV.2.1 Chicanes hexagonales :

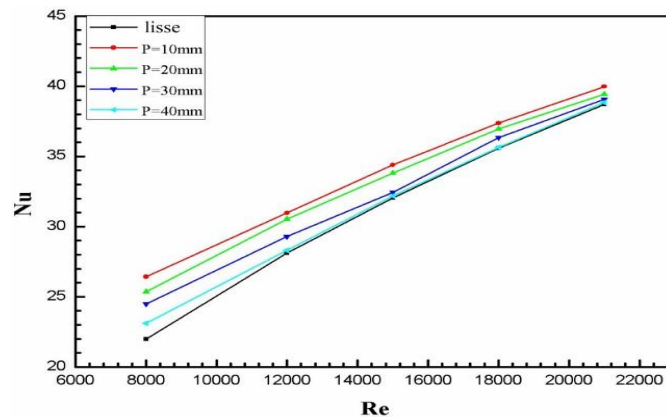
Les résultats numériques actuels sur les caractéristiques de transfert de chaleur dans un capteur solaire à air artificiellement rugueux, équipé de chicanes hexagonales sur la plaque d'absorption, sont présentés sous la forme de nombre de Nusselt. La figure IV.1 illustre les graphes du nombre de Nusselt en fonction du nombre de Reynolds pour différentes valeurs de pas de rugosité relative, tout en maintenant une hauteur de rugosité relative fixe. Il est évident que le nombre de Nusselt est amélioré par la présence des chicanes hexagonales par rapport à un conduit lisse, ce qui témoigne d'une amélioration du taux de transfert de chaleur au sein du capteur, est resté en accord avec les résultats des études antérieures. La même tendance est aussi constatée avec l'accroissement du nombre de Reynolds, avec une augmentation du nombre de Nusselt expliquée par l'accroissement du brassage de la chaleur au niveau de l'absorbeur, accentuée par l'accélération du fluide. Pour une valeur de Reynolds constant, le nombre de Nusselt montre une hausse à mesure que P diminue, ce qui est dû à la création de turbulences plus intenses et plus fréquentes dans le fluide circulant. En effet, lorsque l'espacement entre les chicanes hexagonales est réduit, le fluide rencontre plus souvent des obstacles, ce qui perturbe davantage l'écoulement laminaire et génère des vortex. Ces vortex améliorent le mélange du fluide, augmentant ainsi le transfert de chaleur entre la surface de l'absorbeur et le fluide, ce qui conduit à une augmentation du nombre de Nusselt.



(A : $h_1/D = 0.054$)



(B : $h_1/D = 0.084$)

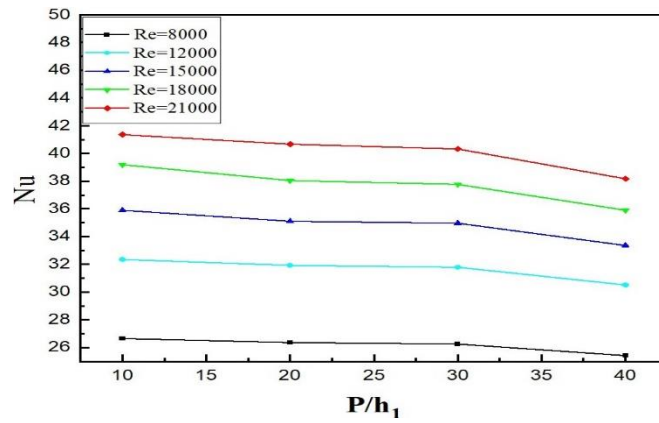


(C : $h_1/D = 0.114$)

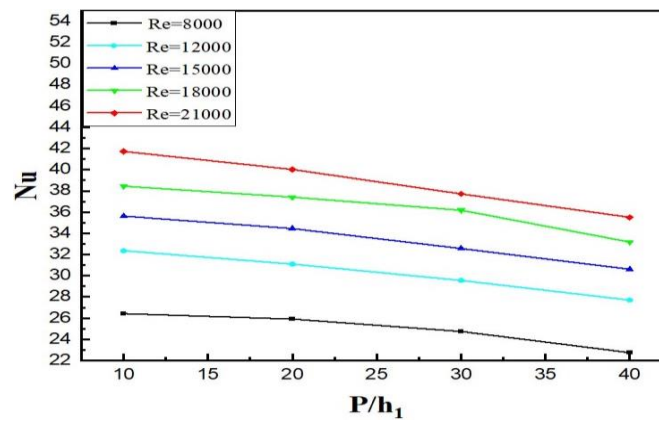
Figure IV.1 : Variation du nombre de Nusselt en fonction du nombre de Reynolds pour différentes valeurs du pas de la rugosité relative et pour une valeur fixe de la hauteur de la rugosité relative.

Les données de la figure IV.1 ont été retracées dans la figure IV.2 pour mettre en évidence l'effet du pas de rugosité relative sur le nombre de Nusselt. La figure IV.2 montre que la variation du nombre de Nusselt avec le pas de rugosité relatif est insignifiante à des valeurs basses du nombre de Reynolds. Cependant, à des nombres de Reynolds plus élevés, cet effet devient significatif.

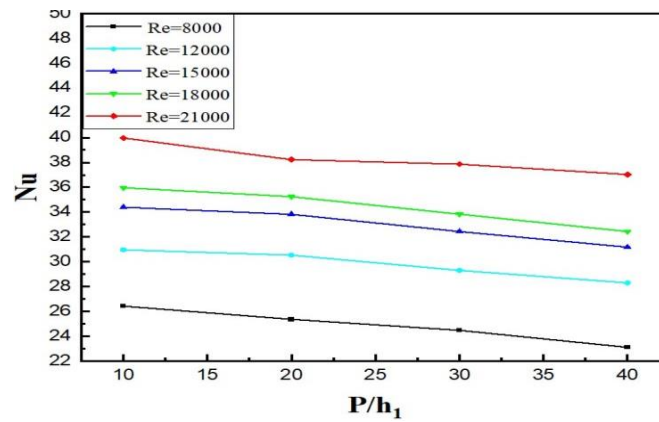
On constate que le nombre de Nusselt diminue avec l'augmentation du pas de rugosité relative pour les valeurs de h_1/D comprises entre 0,084 et 0,114. Il est également observé qu'à la valeur de $h_1/D = 0,084$, le nombre de Nusselt augmente jusqu'à 43, atteint un maximum, puis diminue avec l'augmentation du pas de rugosité relative. Au-delà d'une valeur de pas de rugosité relative de 3,57, le nombre de Nusselt diminue avec l'augmentation du pas de rugosité relative pour la valeur de $h_1/D = 0,084$. Cela est dû au fait qu'avec l'augmentation du pas de rugosité relative, la distance accrue entre les éléments de rugosité permet à l'écoulement de se stabiliser davantage entre chaque obstacle, réduisant ainsi les perturbations et la formation de vortex. Cette réduction des turbulences locales entraîne une diminution de l'efficacité du mélange du fluide et du transfert de chaleur, ce qui diminue le nombre de Nusselt.



(A : $h_1/D = 0.054$)



(B : $h_1/D = 0.084$)



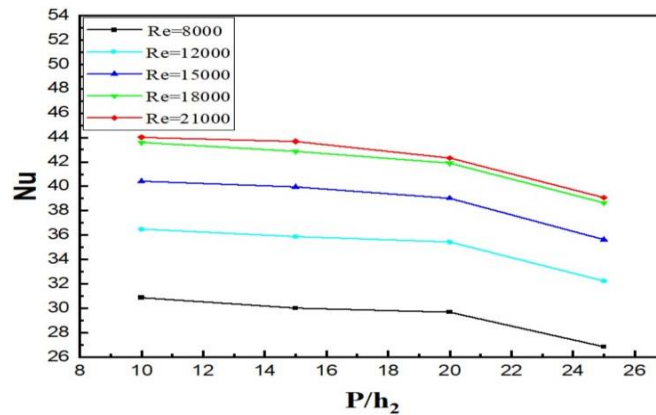
(C : $h_1/D = 0.114$)

Figure IV.2 : Variation du nombre de Nusselt en fonction du pas de la rugosité relative pour différentes valeurs du nombre de Reynolds et pour une valeur fixe de la hauteur de la rugosité relative.

IV.2.2 Chicane rectangulaire :

Pour cette étude, nous avons fixé la valeur de la hauteur $h_2 = 10\text{mm}$ dans la deuxième configuration (le rectangle) et nous avons testé différentes valeurs de pas. L'objectif est d'examiner l'effet de cet espacement sur le nombre de Nusselt et de déterminer si les résultats diffèrent de ceux obtenus avec la première étude.

Dans la figure IV.3 nous avons confirmé que le nombre de Nusselt augmente avec l'augmentation du nombre de Reynolds et avec la diminution de la valeur de pas. Cela confirme la validité des résultats obtenus dans la première configuration.

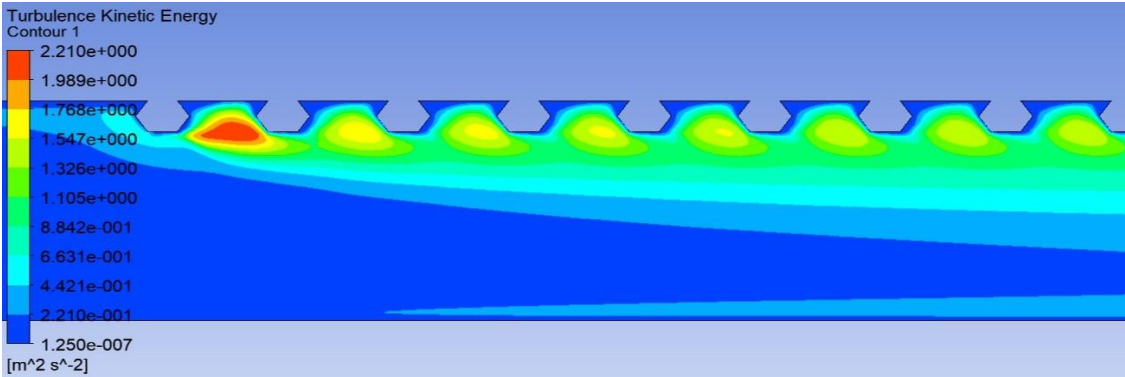


(A : $h_2/D = 0.3$)

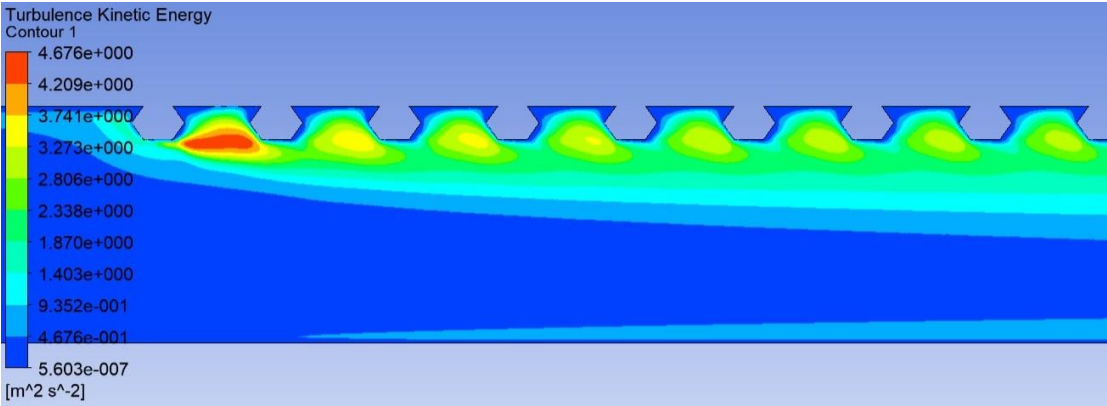
Figure IV.3 : Variation du nombre de Nusselt en fonction du pas de la rugosité relative pour différentes valeurs du nombre de Reynolds pour le cas de chicanes rectangulaires.

IV.3 L'étude des contours de l'énergie cinétique turbulente :

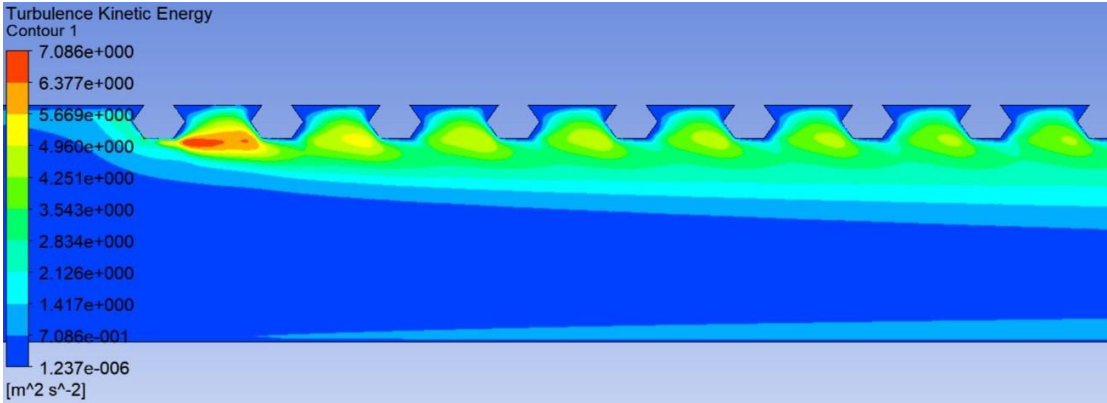
L'énergie cinétique turbulente est une grandeur importante dans la modélisation de la turbulence en dynamique des fluides numérique (CFD). Dans le contexte de la modélisation RNG (Renormalization Group) $k-\epsilon$, elle représente l'énergie contenue dans les fluctuations turbulentes de la vitesse du fluide. Plus précisément, la contribution des mouvements turbulents à l'énergie globale du système fluide.



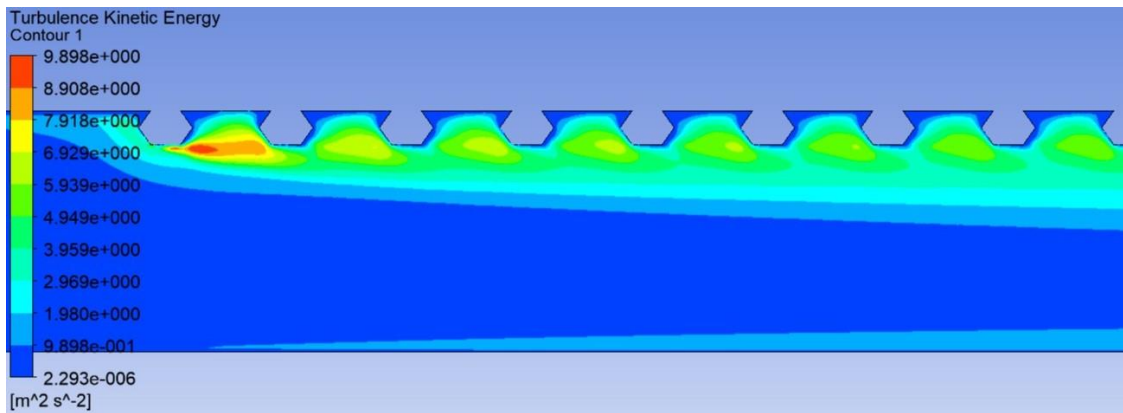
(a)



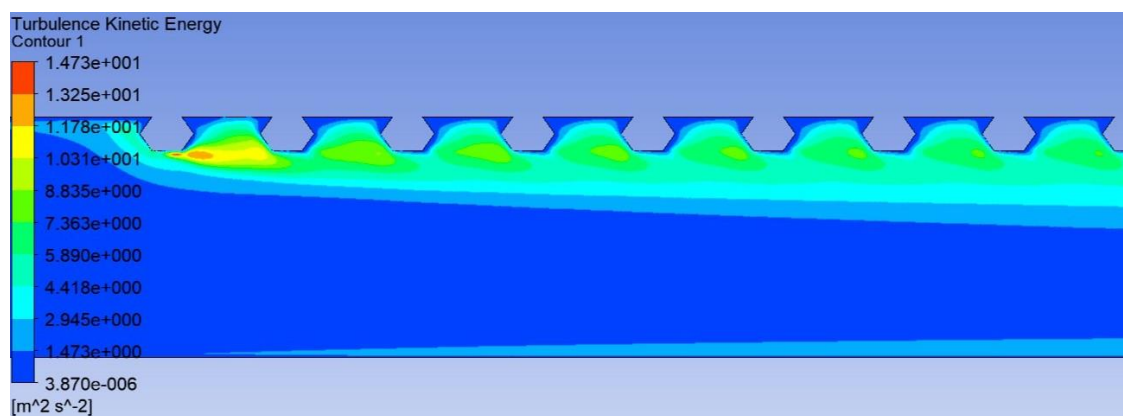
(b)



(c)



(d)



(e)

Figure IV.4 : Représentation des contours de l'énergie cinétique turbulente pour $P/h_1 = 3.57$ et $h_1/D = 0.084$ à un nombre de Reynolds de (a) $Re = 8000$, (b) $Re = 12000$, (c) $Re = 15000$, (d) $Re = 18000$, (e) $Re = 21000$.

La représentation des contours de l'énergie cinétique turbulente pour différents nombres de Reynolds à un P/h_1 fixe de 3,57 et un h_1/D de 0,084 est affiché dans la figure IV.4. Des niveaux élevés d'énergie cinétique turbulente sont prédits entre la première et la deuxième chicane, ce qui montre une forte influence de l'intensité turbulente sur l'amélioration du transfert de chaleur. Une diminution significative du niveau d'énergie cinétique turbulente est observée dans les régions entre les chicanes suivantes. Des zones de recirculation émergent sur la surface inférieure des chicanes de section hexagonale dans le conduit d'un capteur solaire à air. L'énergie cinétique turbulente entre une paire de chicanes ne montre pas de variation distincte dans le sens de la portée. Cela implique que l'amélioration du transfert de

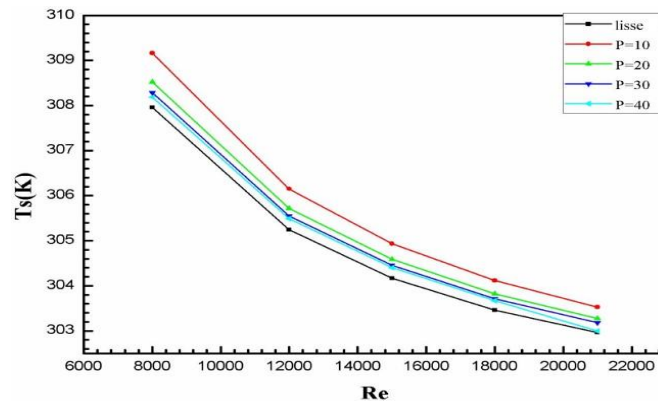
chaleur peut être largement attribuée à la déviation du flux principal et au flux secondaire favorable. La contribution du flux froid à haut moment près des parois supérieure et inférieure est censée avoir une plus grande contribution à l'amélioration du transfert de chaleur à ces endroits. De plus, le conduit à chicanes hexagonaux à un effet plus modeste du nombre de Reynolds sur le rapport du nombre de Nusselt que le conduit lisse. C'est-à-dire que la dépendance du nombre de Reynolds sur le rapport du nombre de Nusselt pour le mur à chicanes hexagonaux est moins importante que celle des murs lisses. En effet, dans le mur à chicanes hexagonaux, la moindre énergie de flux moyen utilisée pour le transfert de chaleur par convection est transférée en énergie cinétique turbulente, ce qui augmente par la suite le taux de transfert de chaleur grâce à un transport turbulent amélioré.

VI.4 Etude de la température à la sortie de capteur solaire :

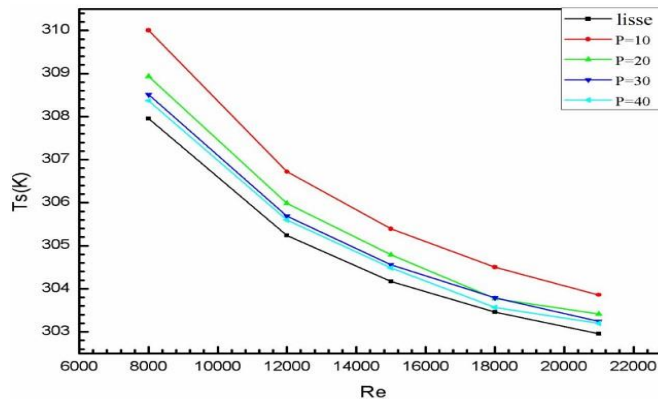
L'étude de la température de sortie d'un capteur solaire 2D par simulation CFD est cruciale pour optimiser la performance, réduire les coûts de développement, et prévoir le comportement en conditions réelles, améliorant ainsi l'efficacité et la durabilité des systèmes solaires.

IV.4.1 Chicanes hexagonales :

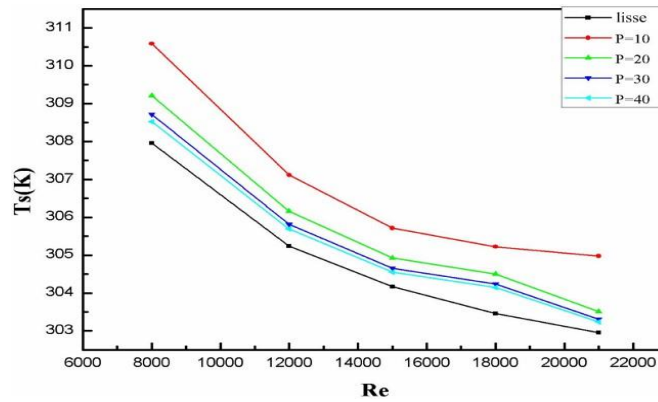
Pour mener cette étude, nous avons extrait les valeurs de la chaleur sortante du capteur solaire pour chaque configuration des chicanes hexagonales Figure IV.5. Ces résultats ont été placés dans des courbes et étudiés en fonction du nombre de Reynolds.



(A : $h_1/D = 0.054$)



(B : $h_1/D = 0.084$)



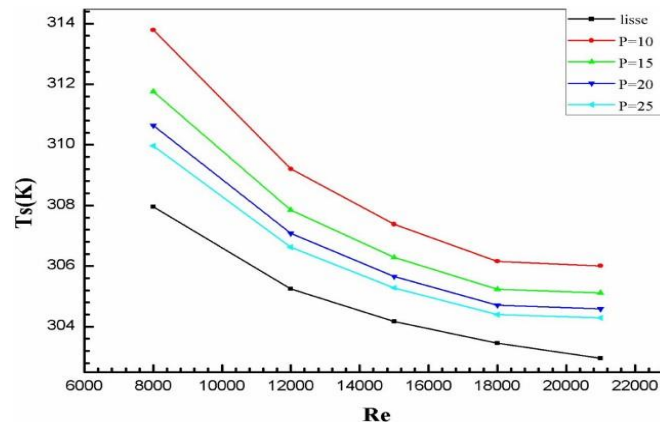
(C : $h_1/D = 0.114$)

Figure IV.5 : Variation de la température de sortie en fonction du nombre de Reynolds pour différentes valeurs du pas de la rugosité relative et pour des valeurs fixe de la hauteur de la rugosité relative.

Ces résultats nous ont donné une série d'observations concernant la quantité de chaleur sortante du capteur solaire, qui est directement corrélée à la température de celle-ci Figure IV.5. Nous observons dans les trois courbes une augmentation de cette chaleur pour le capteur solaire avec chicanes comparé à celui avec une surface lisse. Cependant, nous remarquons une diminution de cette chaleur avec l'augmentation du nombre de Reynolds et de la valeur de pas entre les chicanes. La valeur la plus élevée de la chaleur extraite du capteur solaire est observée dans la troisième courbe pour une rugosité relative hauteur $h_1/D = 0,114$, un nombre de Reynolds de 8000, et une valeur de pas de $P = 10$ mm, tandis que la valeur la plus faible de cette chaleur se trouve dans la première courbe à une rugosité relative hauteur $h_1/D = 0,054$, un nombre de Reynolds de 21000, et une valeur de pas de $P = 40$ mm. Ces observations peuvent être expliquées par une modification de la géométrie du capteur ainsi qu'à une augmentation de la vitesse du fluide, laquelle réduit brassage du fluide à l'intérieur du capteur, ce qui, en conséquence, diminue le transfert efficace de la chaleur depuis l'absorbeur vers le fluide.

IV.4.2 Chicanes rectangulaires :

Pour mener cette étude, nous avons extrait les valeurs de la chaleur sortante du capteur solaire pour chaque configuration des chicanes rectangulaires. Ces résultats ont été placés dans une courbe et étudiés en fonction du nombre de Reynolds.



(A : $h_2/D = 0.3$)

Figure IV.6 : Variation de la température de sortie en fonction du nombre de Reynolds pour différentes valeurs du pas de la rugosité relative et pour une valeur fixe de la hauteur de la rugosité relative.

Ce graphique nous a permis de tirer plusieurs observations sur la chaleur sortante du collecteur solaire. Nous constatons que les valeurs de cette chaleur sont plus élevées pour le collecteur équipé de chicane rectangulaires par rapport à celui avec une surface lisse. Cependant, nous remarquons une diminution de cette chaleur avec l'augmentation du nombre de Reynolds et de la valeur du pas entre les chicanes. La valeur maximale de chaleur extraite du collecteur solaire a une rugosité relative de pas $P/h_2 = 1$, un nombre de Reynolds de 8000, tandis que la valeur minimale de cette chaleur se trouve à une rugosité relative de pas $P/h_2 = 0.4$, un nombre de Reynolds de 21000.

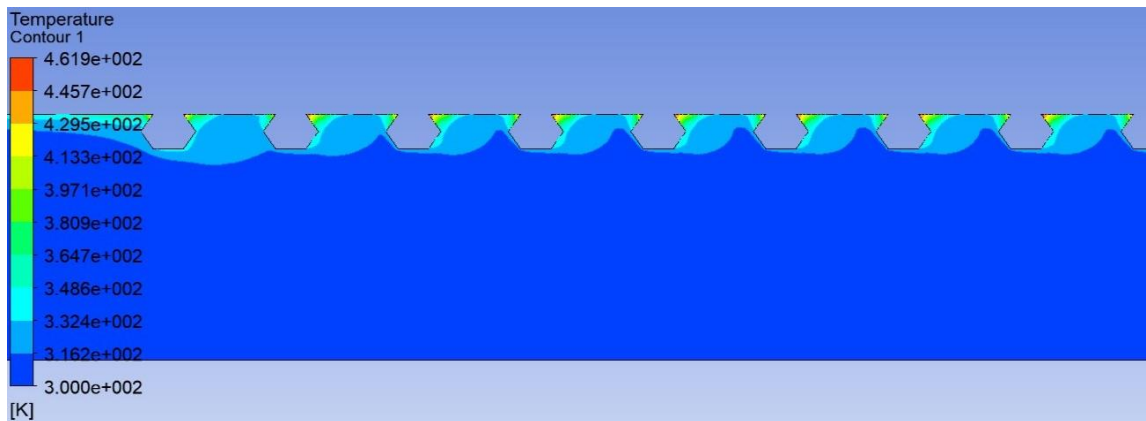
En réalisant ces deux études sur la température de sortie, nous avons observé que cette température diminue avec l'augmentation du nombre de Reynolds et du pas entre les chicanes. Premièrement, l'augmentation du nombre de Reynolds caractérise un écoulement plus turbulent. Cette turbulence accrue favorise un meilleur transfert de chaleur depuis la surface absorbante vers le fluide circulant à l'intérieur du capteur solaire, dissipant ainsi plus efficacement la chaleur absorbée et réduisant la température de sortie. Deuxièmement, l'augmentation du pas entre les chicanes influence la dynamique de l'écoulement, facilitant une dispersion thermique plus efficace et un transfert de chaleur plus uniforme à travers le capteur solaire. Cette meilleure dispersion de la chaleur contribue également à la diminution de la température de sortie observée.

En comparant les deux configurations de chicanes, hexagonales et rectangulaires, nous constatons que la température de sortie est généralement plus basse avec les chicanes hexagonales par rapport aux chicanes rectangulaires. Les chicanes hexagonales, espacées de 10, 20, 30, et 40 mm, créent une turbulence élevée mais permettent un chemin plus direct pour le fluide, réduisant ainsi le temps de résidence et donc la température de sortie. En revanche, les chicanes rectangulaires, avec un espacement plus serré de 10, 15, 20, et 25 mm, augmentent significativement le temps de contact du fluide avec la surface chaude. Cela permet une meilleure absorption de la chaleur, résultant en une température de sortie plus élevée.

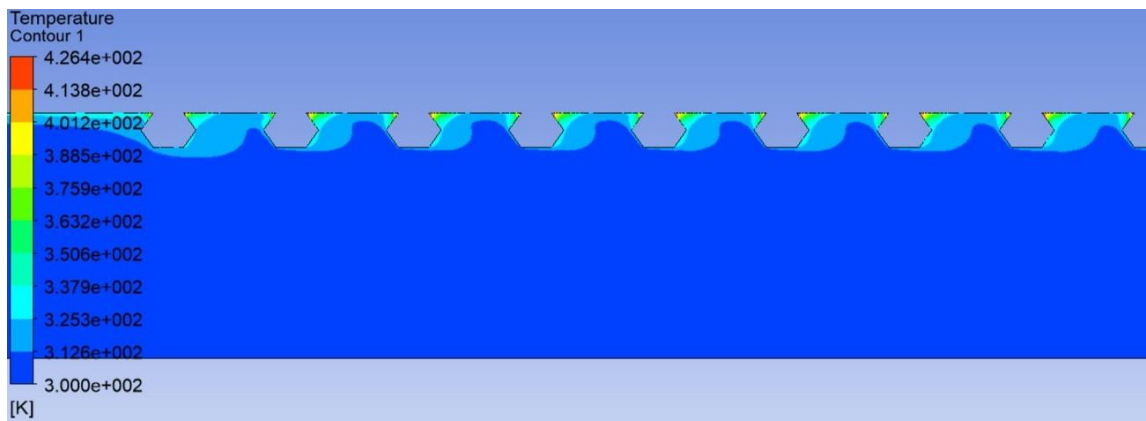
IV.5 Etude des contours de la température :

Étant donné que nous avons adopté une forme hexagonale avec $P/h_1 = 3.57$ et $h_1/D = 0.084$ pour l'étude des contours de l'énergie cinétique turbulente avec la variation de nombre de Reynolds.

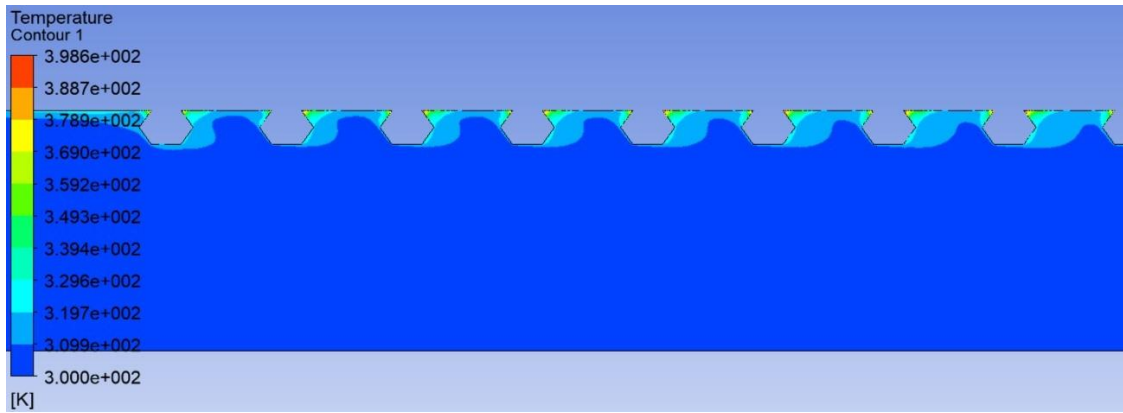
En conservant les mêmes caractéristiques géométriques nous allons étudier les variations des températures sur l'absorbeur avec différentes valeurs de Reynolds.



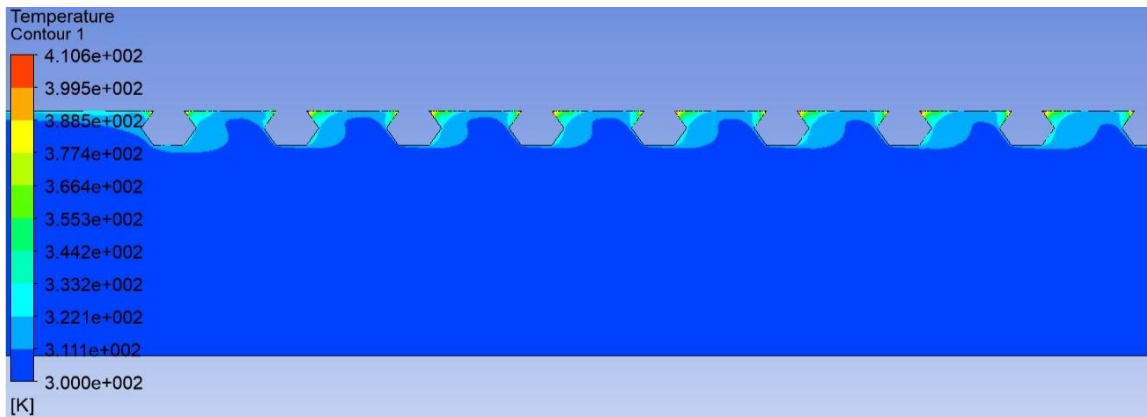
(A)



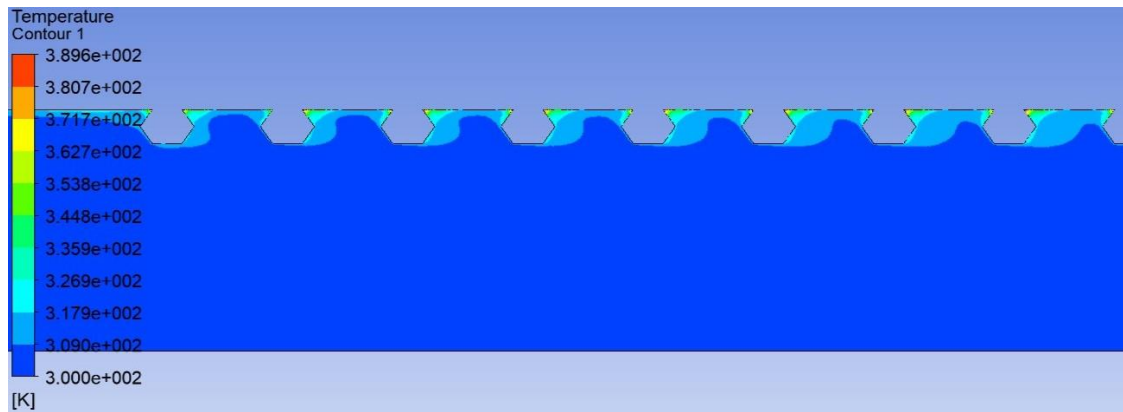
(B)



(C)



(D)



(E)

Figure IV.7 : Représentation des contours de la température pour $P/h_1 = 3.57$ et $h_1/D = 0.084$ à un nombre de Reynolds de (a) $Re = 8000$, (b) $Re = 12000$, (c) $Re = 15000$, (d) $Re = 18000$, (e) $Re = 21000$.

La représentation des contours de la température pour différents nombres de Reynolds à un P/h_1 fixe de 3,57 et un h_1/D de 0,084 est affiché dans la figure IV.7. On observe que les lignes de température (représentant des températures élevées) sont confinées entre l'angle intérieur (adjacent à la surface absorbante) de la forme hexagonale. Avec l'augmentation du nombre de Reynolds, la densité des zones bleues (indiquant des températures plus basses par rapport aux autres zones) augmente. Cela entraîne leur contraction et confinement dans les angles intérieurs de la forme hexagonale, ce qui signifie une diminution de leurs températures dans cette zone avec l'augmentation du nombre de Reynolds.

Avec l'augmentation du nombre de Reynolds dans cette simulation, l'écoulement du fluide devient plus turbulent, améliorant ainsi le transfert de chaleur par convection. Cette turbulence accrue permet de disperser plus efficacement la chaleur accumulée autour des chicanes hexagonales, confinant ainsi les températures élevées à proximité immédiate de la surface absorbante. En conséquence, les zones de température plus basse augmentent en densité et se contractent vers l'intérieur des formes hexagonales, entraînant une diminution globale de la température locale. Cela montre que l'amélioration de la convection via un écoulement plus turbulent aide à réduire les points chauds et à uniformiser la distribution de la chaleur.

IV.6 Conclusion :

Dans cette simulation utilisant le modèle RNG dans un logiciel de CFD, nous avons exploré les effets de la turbulence sur un capteur solaire. Nous avons observé une augmentation significative de l'énergie cinétique du capteur avec l'augmentation du nombre de Reynolds. Le nombre de Reynolds élevé indique une turbulence accrue, ce qui entraîne une agitation plus intense du fluide à l'intérieur du capteur. Cette augmentation de l'énergie cinétique peut améliorer le mélange et favoriser un transfert de chaleur plus efficace à travers le système. Par conséquent, bien que l'énergie cinétique interne du capteur augmente, nous avons également constaté une tendance à la diminution de la température de sortie avec l'augmentation du nombre de Reynolds. Cela suggère que la turbulence accrue permet un refroidissement plus efficace du fluide, contribuant ainsi à une meilleure performance thermique globale du capteur solaire étudié.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

L'énergie solaire, en tant que ressource renouvelable par excellence, joue un rôle déterminant dans la transition énergétique mondiale. Son exploitation, qui remonte à des millénaires, est aujourd'hui cruciale pour réduire l'empreinte carbone et diversifier les sources d'approvisionnement énergétique. Les capteurs solaires, en particulier les capteurs thermiques, sont essentiels pour convertir le rayonnement solaire en chaleur utilisable, contribuant ainsi à des systèmes de chauffage plus durables et efficaces.

Les simulations 2D réalisées dans le cadre de cette étude ont démontré leur faisabilité et leur efficacité. Elles ont permis de rapprocher les résultats théoriques des données expérimentales de manière plus économique et rapide que les simulations 3D ou les expérimentations physiques. L'augmentation du nombre de Reynolds s'est traduite par une amélioration des performances thermiques, manifestée par une hausse du nombre de Nusselt. De plus, la réduction de l'espace entre les chicane a intensifié la turbulence de l'écoulement, améliorant ainsi le transfert de chaleur et augmentant les nombres de Reynolds et de Nusselt. Une baisse de température dans l'absorbeur a été observée à mesure que l'espace entre les chicanes diminuait, indiquant une amélioration du transfert de chaleur. Par ailleurs, la température de sortie a diminué avec l'augmentation du nombre de Reynolds et augmenté avec la réduction de l'espace inter-chicanes, suggérant une extraction de chaleur plus efficace. Cette efficacité thermique accrue se traduit par une meilleure performance des capteurs solaires, permettant une utilisation plus intensive de l'énergie solaire et réduisant la dépendance aux sources d'énergie conventionnelles sur le long terme.

L'optimisation des capteurs solaires thermiques passe par une compréhension approfondie de leurs composants et de leurs mécanismes de fonctionnement. Chaque composant, de l'absorbeur à l'isolant, joue un rôle crucial dans l'efficacité globale du capteur. Les avancées technologiques et les efforts continus en recherche et développement, comme l'introduction de chicanes et d'autres dispositifs augmentant la turbulence, sont essentiels pour maximiser leur efficacité.

En conclusion, l'amélioration des performances thermiques des capteurs solaires, obtenue grâce à une optimisation des paramètres de conception et d'exploitation, ouvre la voie à une utilisation plus efficace et plus durable de l'énergie solaire. Ces progrès permettent de

maximiser l'efficacité énergétique des systèmes de chauffage solaire, renforçant ainsi leur rôle dans la transition énergétique vers des sources renouvelables et durables. La recherche continue et l'innovation dans ce domaine sont indispensables pour répondre aux défis énergétiques mondiaux et promouvoir une utilisation plus propre et plus efficace des ressources énergétiques.

Références Bibliographique

Références Bibliographiques

- [1] **H. Aras, O. Balli, A. Hepbasli**, “Estimating the horizontal diffuse solar radiation over the Central Anatolia Region of Turkey”, Tuaf, Eskisehir, Turkey 2006.
- [2] **Thomas LETZ et Xavier CHOLIN**, « Intégrer le solaire thermique dans le bâtiment », Formation présentation de technologies solaires, INES Éducation, Janvier 2007- Décembre.
- [3] **MOINE Gérard**, "L'électrification solaire photovoltaïque" dans le cadre des éditions Observ'ER, en octobre 2016.
- [4] Blezat consulting, Agriculture et énergies renouvelables : solaire thermique– Juillet 2017.
- [5] La prime energy par groupe Effy, Principe et fonctionnement du capteur solaire thermique.
- [6] **B.p.ACELL** « A Simple Equation For The Effect Of Multiple Refections On The Solar Radiation Absorbed a Collector With a Double Glazed Cover Plate » Division of Mechanical Engineering, The Manchester School of Engeneering, University of Manchester, Oxford.Road, Manchester M 139 PL, U.K (accpted 17 November 1997).
- [7] **Alok Chaube et al**, Analysis of heat transfer augmentation and flow characteristics due to rib roughness over absorber plate of a solar air heater 2006.
- [8] **N.P. Nwosu**, Employing exergy-optimized pin fins in the design of an absorber in a solar air heater, Energy 35 (2) (2010) 571–575.
- [9] **Amraoui Mohamed Lamine**, Etude numérique d’un capteur solaire plan à air Influence de la forme de la rugosité, Mémoire fin d’étude 2011/2012
- [10] **YADAV et al**, A numerical investigation of square sectioned transverse rib roughened solar air heater,2014.
- [11] **J.M. Gorman, M. Carideo**, E.M. Sparrow, J.P. Abraham, Case Studies in Thermal Engineering Heat transfer and pressure drop comparison of louver- and plain-finned heat exchangers where one fluid passes through flattened tubes, Case Stud. Therm. Eng. 5 (2015) 122–126.

- [12] **Youcef et R. Saim**, « Etude numérique de l'influence de disposition des chicane sur le comportement dynamique et thermique d'un écoulement dans un échangeur de chaleur », *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 19 N°3 (2016) 415 – 427.
- [13] **R.K. Nayak**, S.N. Singh, Effect of geometrical aspects on the performance of jet plate solar air heater, *Sol. Energy* 137 (2016) 434–440.
- [14] **R.S. Gill, V.S. Hans, S. Singh**, Investigations on thermo-hydraulic performance of broken arc rib in a rectangular duct of solar air heater, *Int. Commun. Heat Mass Tran.* 88 (2017) 20–27.
- [15] **I. Singh, S. Vardhan**, S. Singh, A. Singh, Experimental and CFD analysis of solar air heater duct roughened with multiple broken transverse ribs: a comparative study, *Sol. Energy* 188 (February) (2019) 519–532.
- [16] **S. Singh**, Experimental and numerical investigations of a single and double pass porous serpentine wavy wiremesh packed bed solar air heater, *Renew. Energy* 145 (2020) 1361–1387,
- [17] **Bakhadda Abdelrahim**, Étude numérique de l'influence du débit d'air sur l'écoulement dans un capteur plan à air en convection forcé, 2020.
- [18] **HANI Sif El-islam**, la simulation numérique de l'écoulement à travers une cascade des chicane rectangulaires avec une partie supérieure inclinée, 2021.
- [19] **S.B. Bopche**, M.S. Tandal, Experimental investigations on heat transfer and frictional characteristics of a turbulator roughened solar air heater duct, *Int. J. Heat Mass Transf.* 52 (2009) 2834e2848.

Résumé :

Face aux problèmes énergétiques mondiaux, les chercheurs explorent des solutions alternatives comme les énergies renouvelables. Une de ces solutions est l'énergie solaire, pour laquelle nous avons choisi de concevoir un capteur solaire.

Dans notre étude, nous avons réalisé une simulation 2D d'un capteur solaire utilisant la méthode des volumes finis et le modèle RNG. Nous avons imposé un flux sur l'absorbeur, auquel nous avons ajouté des chicanes hexagonales et rectangulaires. Dans cette simulation, nous avons varié le nombre de Reynolds entre cinq valeurs différentes et exploré plusieurs espacements entre les chicanes pour les deux géométries. En étudiant le comportement dynamique et thermique de l'écoulement de l'air dans ces différentes géométries de capteurs solaires, nous avons discuté les résultats obtenus.

Mot clés : les énergies renouvelables, l'énergie solaire, capteur solaire, simulation 2D, méthode des volumes finis, le modèle RNG.

Abstract:

Faced with global energy problems, researchers are exploring alternative solutions such as renewable energy sources. One of these solutions is solar energy, for which we have chosen to design a solar collector. In our study, we conducted a 2D simulation of a solar collector using the finite volume method and the RNG model. We imposed a flux on the absorber, to which we added hexagonal and rectangular baffles.

In this simulation, we varied the Reynolds number among five different values and explored several spacings between the baffles for both geometries. By studying the dynamic and thermal behavior of the airflow in these different geometries of solar collectors, we discussed the results obtained.

Keywords: renewable energy, solar energy, solar collector, 2D simulation, finite volume method, RNG model.

Résumé :

Face aux problèmes énergétiques mondiaux, les chercheurs explorent des solutions alternatives comme les énergies renouvelables. Une de ces solutions est l'énergie solaire, pour laquelle nous avons choisi de concevoir un capteur solaire.

Dans notre étude, nous avons réalisé une simulation 2D d'un capteur solaire utilisant la méthode des volumes finis et le modèle RNG. Nous avons imposé un flux sur l'absorbeur, auquel nous avons ajouté des chicanes hexagonales et rectangulaires. Dans cette simulation, nous avons varié le nombre de Reynolds entre cinq valeurs différentes et exploré plusieurs espacements entre les chicanes pour les deux géométries. En étudiant le comportement dynamique et thermique de l'écoulement de l'air dans ces différentes géométries de capteurs solaires, nous avons discuté les résultats obtenus.

Mot clés : les énergies renouvelables, l'énergie solaire, capteur solaire, simulation 2D, méthode des volumes finis, le modèle RNG.

Abstract:

Faced with global energy problems, researchers are exploring alternative solutions such as renewable energy sources. One of these solutions is solar energy, for which we have chosen to design a solar collector. In our study, we conducted a 2D simulation of a solar collector using the finite volume method and the RNG model. We imposed a flux on the absorber, to which we added hexagonal and rectangular baffles.

In this simulation, we varied the Reynolds number among five different values and explored several spacings between the baffles for both geometries. By studying the dynamic and thermal behavior of the airflow in these different geometries of solar collectors, we discussed the results obtained.

Keywords: renewable energy, solar energy, solar collector, 2D simulation, finite volume method, RNG model.