

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REpubLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة

التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة أبي بكر بلقايد – تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –
Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : génie Mécanique

Spécialité : Energétique

Par : DIB Anes Rayane **et** MALTI Salah Eddine

Sujet :

dans un capteur solaire plan à air

Soutenu publiquement, le 09/06/2024, devant le jury composé de :

Mr.ROSTANE Brahim
Mme.BENAHMED Lamia
Mme.SI CHAIB Amel
Mr.ALIANE Khaled

MCA
MCB
MAB
Professeur

Université de Tlemcen
Université de Tlemcen
Université de Tlemcen
Université de Tlemcen

Président
Examinatrice
Encadreur
Co-Encadreur

Année universitaire : 2023/2024

.

DÉDICACES

Je souhaite dédier modestement ce travail :

À mes précieux parents,

À mes frères et sœurs qui ont toujours été là pour moi,

À toute ma famille pour leur soutien Inflexible,

*À notre encadreur, Madame Si CHAIB Amel pour sa
guidance précieuse,*

*À notre co-encadreur, monsieur ALIANE Khaled pour son
aide précieuse,*

*À tous mes collègues et amis, présents à chaque étape de
ce parcours,*

*À tous ceux qui ont généreusement offert leur temps au
nom de la science,*

*Et à ceux qui utilisent la science pour le bien-être et le
progrès de l'humanité.*

REMERCIEMENTS

*Je suis reconnaissant envers Allah de m'avoir offrir
le courage, la volonté et la patience nécessaires
pour mener à bien ce travail. Je tiens à exprimer
ma gratitude, ma reconnaissance et mes sincères
remerciements à Monsieur ALIANE Khaled et
Madame Sichaib Amel pour leur encadrement
attentif tout au long de mon projet.*

Résumé :

Un défi majeur dans l'utilisation de l'énergie solaire réside dans les échanges thermiques limités entre l'air et les surfaces de captage dans les veines dynamiques des capteurs solaires. Toutefois, l'intégration de chicanes, ou obstacles placés en séries dans les conduits de ces dispositifs, peut considérablement renforcer les transferts de chaleur, optimisant ainsi leur efficacité.

Une simulation numérique a été réalisée à l'aide des logiciels GAMBIT et FLUENT pour évaluer comment améliorer l'efficacité d'un capteur solaire plan à air. Trois configurations ont été étudiées : un capteur solaire plan à air sans chicanes, un autre avec quatre chicanes et enfin un avec neuf chicanes. L'objectif de cette étude est de comparer l'effet des chicanes sur l'amélioration de l'efficacité du capteur solaire plan à air.

Mots clé : échanges thermiques, surfaces de captage, chicanes, transferts de chaleur, efficacité, simulation numérique, amélioration de l'efficacité, capteur solaire plan à air

Abstract :

A major challenge in using solar energy lies in the limited thermal exchanges between the air and the capture surfaces within the dynamic veins of solar collectors. However, the integration of baffles, or obstacles arranged in series in the conduits of these devices, can significantly enhance heat transfers, thus optimizing their efficiency.

A numerical simulation was conducted using GAMBIT and FLUENT software to evaluate how to improve the efficiency of a flat plate solar air collector. Three configurations were studied: a flat plate solar air collector without baffles, one with four baffles, and finally one with nine baffles. The objective of this study is to compare the effect of baffles on enhancing the efficiency of the flat plate solar air collector.

Keywords: Thermal exchanges, Capture surfaces, Baffles, Heat transfers, Efficiency, Numerical simulation , Efficiency improvement, Flat plate solar air collector

ملخص:

ة ة

Table des matières

Introduction générale	15
Chapitre I. Analyse Bibliographique	17
I.1 Le gisement solaire	18
I.1.1 Généralités sur le gisement solaire	18
I.2 Rappels des données astronomiques	19
I.2.1 Le soleil	19
I.2.2 La nature de l'énergie solaire	20
I.2.3 Mouvements de la Terre autour du Soleil	20
I.2.4 Position du soleil par rapport à la terre	21
I.2.5 Le temps	22

I.5.9	Capteur solaire a air :	31
Chapitre II.		33
II.1	Description d'un capteur solaire plan à Air	34
II.1.1	Définition d'un capteur solaire plan à Air	34
II.1.2	Les principaux éléments du capteur solaire plan à air :	35
II.1.3	Le rôle de chaque composante.....	35
II.1.3.1	La couverture transparente	35
II.1.3.2	L'absorbeur :	37
II.1.3.3	Veine d'air	38
II.1.3.4	Veine d'air immobile.....	38
II.1.3.5	Le fluide caloporteur	39
II.1.3.6	L'isolant thermique	39
II.1.3.7	Le coffre	40
II.1.4	Principaux paramètres caractérisant un capteur	40
II.1.4.1	Rendement :	41
II.1.4.2	Superficie :	41
II.1.4.3	Stagnation :	41
II.2	Bilan thermique d'un capteur solaire plan :	41
II.3	Modélisation mathématique :	46
II.3.1	Le système d'équation :	46
II.3.1.1	Conservation de la masse.....	47
II.3.1.2	Conservation de la quantité de mouvement :	47
II.3.1.3	Conservation d'énergie	47
II.3.1.4	Modèle de turbulence – :	48
II.4	Présentation des méthodes classiques d'analyse numérique	49
II.4.1	Méthodes des différences finies.....	49
II.4.2	Méthodes des éléments finis	49
II.4.3	Méthodes des volumes finis.....	49
II.5	Méthode de résolution des équations de transport	49
II.5.1	Schéma de discrétisation :	49
II.5.2	Étapes de résolution du problème :	51
II.6	Présentation du code de calcul	52
II.6.1	Différentes étapes à suivre pour la modélisation numérique par fluent.....	52
II.6.2	Présentation de Gambit	53

II.6.2.1	Choix du maillage :	53
II.6.3	Présentation de code FLUENT :	54
II.6.3.1	Choix des paramètres de FLUENT :	54
II.6.3.2	Procédure sous FLUENT	54
II.6.3.3	Simple précision ou double précision	54
II.6.3.4	Choix de la formulation du solveur	55
II.6.3.5	Schémas de discrétisation	55
II.6.3.6	Choix du schéma d'interpolation de la pression	56
II.6.3.7	Choix de la méthode de couplage Pression-Vitesse	56
II.6.4	Forme linéaire de l'équation discrétisée	57
II.6.5	Sous relaxation :	57
II.6.6	Conditions aux limites :	57
Chapitre III.	Résultats et discussion	59
III.1	Problématique :	60
III.2	Etude de l'écoulement dans le capteur :	60
III.2.1	Etude de l'écoulement dans le capteur sans chicanes :	60
III.2.1.1	Présentation de la géométrie :	60
III.2.1.2	Description de la géométrie sans chicanes :	61
III.2.2	Etude de l'écoulement dans le capteur avec quatre chicanes :	61
III.2.2.1	Présentation de la géométrie :	61
III.2.2.2	Description de la géométrie 4 chicanes :	61
III.2.3	Etude de l'écoulement dans le capteur avec neuf chicanes :	62
III.2.3.1	Présentation de la géométrie	62
III.2.3.2	Description de la géométrie 9 chicanes :	62
III.3	Discussion:	62
III.3.1	La première catégorie :	63
III.3.1.1	Les conditions aux limites :	63
III.3.1.2	Champ de vitesse :	64
III.3.1.3	Profil de vitesse :	67
III.3.1.4	Champ de Température :	69
III.3.1.5	Profil de Température :	71
III.3.1.6	La dissipation turbulente :	73
III.3.1.7	Le profil de la dissipation turbulente :	75
III.3.2	La deuxième catégorie :	77

III.3.2.1	Les conditions aux limites :	77
III.3.2.2	Champ de vitesse :	78
III.3.2.3	Profil de vitesse :	80
III.3.2.4	Champ de Température :	82
III.3.2.5	Profil de Température :	84
III.3.2.6	La dissipation turbulente :	86
III.3.2.7	Le profil de la dissipation turbulente :	88

Liste des tableaux

Tableau I-1 Caractéristiques principales du soleil. [5].....	20
Tableau II-1: « Propriétés de quelques surfaces transparentes au rayonnement solaire mais opaques au rayonnement infrarouge [14]».....	36
Tableau II-2: « Caractéristiques thermo-physiques de matériaux métalliques [14]».....	37
Tableau II-3: Propriétés optiques des revêtements les plus utilisés.	38
Tableau II-4: « Propriétés thermiques de quelques matériaux isolants [14]».....	40

LISTE DES FIGURES

Figure I-1 : « structure du soleil ». [1]	19
Figure I-2 « trajectoire de la terre ».	21
Figure I-3: « Les différents composants du rayonnement solaire ».....	22
Figure I-4: « fonctionnement l'effet de serre ».[7]	25
Figure I-5 : « capteurs solaires a haute température ». [9].....	27
Figure I-6: « Capteur solaire a sous vide ». [9]	28
Figure I-7: « Capteur solaire a eau ». [6]	30
Figure I-8: « Capteur solaire a air ».	31
Figure II-1 : Capteur plan à air [10].....	34
Figure II-2: « Diverses formes d'absorbeurs (d'après DGS Solar Antalgen [17]) ».....	38
Figure II-3 : « Schéma donnant le bilan thermique moyen d'un capteur solaire à air [12] ».	41
.....	41
Figure II-4: « Schéma représentant Bilan thermique d'un capteur solaire plan vitré [17] ».	42
.....	42
Figure II-5: les pertes thermiques dans un capteur solaire plan [5].....	46
Figure II-6: « Volume de contrôle pour la résolution en volume fini [27] ».	50
Figure II-7: « Schéma unidimensionnel illustrant un volume élémentaire entourant un	
nœud P [27] ».	51
Figure II-8: « Structure de base du code "FLUENT " ».	52
Figure II-9. Les différentes formes de maillage.	53
Figure II-10: Description des types de maillages des faces.	53
Figure III-1 : la géométrie étudiée sans chicanes	60
Figure III-2: la géométrie étudiée avec quatre chicanes.	61
Figure III-3: la géométrie étudiée avec neuf chicanes.	62
Figure III-4 : Contours de vitesse du 1ère catégorie (v d'entrée=1m/s).	64
Figure III-5: profil de vitesse du 1ère catégorie (v d'entrée=1m/s).....	67
Figure III-6: Contours de Température du 1ère catégorie (v d'entrée=1m/s).	69
Figure III-7: Profil de Température du 1ère catégorie (v d'entrée=1m/s).	71
Figure III-8: contour de la dissipation turbulente du 1ère catégorie (v d'entrée=1m/s).	
.....	73
Figure III-9: profil de la dissipation turbulente du 1ère catégorie (v d'entrée=1m/s).	75
Figure III-10 Contours de vitesse du 2ème catégorie (v d'entrée=8m/s).....	78
Figure III-11: profil de vitesse du 2ème catégorie (v d'entrée=8m/s).	80
Figure III-12: Contours de Température du 2ème catégorie (v d'entrée=8m/s).	82
Figure III-13: Profil de Température du 2ème catégorie (v d'entrée=8m/s).....	84
Figure III-14: contour de la dissipation turbulente du 2ème catégorie (v	
.....	86
Figure III-15: profil de la dissipation turbulente du 2ème catégorie (v d'entrée=8m/s).....	88

Liste des symboles

T : la température.

UV : les ultraviolets.

°C : degré Celsius.

 : La latitude .

 : La longitude.

Z : L'altitude.

 : le coefficient d'absorption.

 : le coefficient d'émission.

 : Pertes par la face avant qui dépend de la transmission de la couverture et de l'absorbeur de cette face.

 : Pertes par la face arrière.

 : Coefficient d'échange thermique.

 : Coefficient de conductibilité thermique.

 : Température moyenne du fluide.

 : Température ambiante.

 : Coefficient de transfert par convection.

 : Épaisseur de la veine d'air.

g : Accélération de la pesanteur.

 : Viscosité cinétique.

 : Dilation thermique de l'air.

 Émissivité de l'absorbeur

 Émissivité de la couverture

 : Inclinaison des capteurs en degrés.

Introduction Générale

L'énergie solaire, vitale pour notre écosystème, offre un potentiel considérable pour le développement de technologies durables, en particulier dans le domaine de la conversion thermique. Les capteurs solaires, en captant cette énergie, jouent un rôle crucial dans le paysage énergétique renouvelable. Parmi ces technologies, les capteurs solaires plans à air se distinguent par leur simplicité de conception et leur efficacité dans des applications variées telles que le chauffage domestique et industriel.

Toutefois, malgré leurs avantages en termes de coût et de facilité d'installation, ces capteurs rencontrent des limitations en termes d'efficacité thermique, largement influencée par la configuration du capteur et les conditions opérationnelles. Cela souligne la nécessité d'optimiser leur design pour améliorer leur performance, notamment à travers une gestion plus efficace du transfert de chaleur.

Ce travail s'articule autour de trois axes principaux : une revue bibliographique des technologies de captage solaire et des performances des capteurs solaires existants, une étude théorique et numérique détaillée sur le comportement thermique des capteurs solaires plans à air, et enfin, une analyse comparative des résultats de simulations visant à proposer des améliorations concrètes. L'objectif est double : augmenter l'efficacité de ces capteurs et contribuer à leur intégration plus large dans les systèmes de chauffage solaire.

Par cette recherche, nous espérons non seulement avancer dans la compréhension scientifique des capteurs solaires plans à air mais également proposer des solutions pratiques et innovantes pour leur optimisation, contribuant ainsi à l'effort global de promotion des énergies renouvelables.

Chapitre I. Analyse Bibliographique

Introduction :

Le Soleil, l'eau douce, les océans, le vent et la biomasse sont des sources d'énergie renouvelable primaires qui jouent un rôle essentiel dans la production d'énergies finales comme la chaleur, l'électricité et les carburants. Il est responsable de différents processus essentiels sur Terre, tels que le cycle de l'eau, la création du vent et la photosynthèse des plantes, qui fournissent l'alimentation aux chaînes alimentaires du règne animal. Le Soleil, l'eau douce, les océans, le vent et la biomasse sont des sources d'énergie renouvelable primaires qui jouent un rôle essentiel dans la production d'énergies finales comme la chaleur, l'électricité et les carburants. Elle est responsable de différents processus essentiels sur notre planète, tels que le cycle de l'eau et la formation.

On exploite le rayonnement solaire, direct ou diffus dans l'atmosphère, afin de produire diverses formes d'énergie comme la chaleur, l'électricité et la biomasse. L'énergie solaire joue un rôle crucial dans la vie sur Terre en apportant chaleur et lumière, favorisant ainsi la présence d'eau liquide et la photosynthèse des végétaux. En outre, les radiations solaires ont un impact sur les climats et sont à l'origine de la majorité des phénomènes météorologiques observés sur notre globe.

I.1 Le gisement solaire**I.1.1 Généralités sur le gisement solaire**

Le gisement solaire désigne la quantité totale d'énergie solaire disponible sur une certaine surface durant un temps spécifié, influencée par la localisation géographique, les saisons, l'heure de la journée et les conditions climatiques. Cette énergie, captée pour générer électricité ou chaleur, varie principalement en fonction de la proximité à l'équateur, où le rayonnement est plus intense et direct. Mesurer le gisement solaire est essentiel pour la planification et l'optimisation des installations solaires, utilisant des instruments comme les pyranomètres pour une meilleure efficacité des technologies solaires selon les variations régionales et saisonnières de l'intensité solaire.

I.2 Rappels des données astronomiques

I.2.1 Le soleil

Le Soleil, appelé « Sol » en latin et « Helios » en grec ancien, est la source principale de lumière et d'énergie de notre système solaire. Cette étoile est principalement composée d'hydrogène, qui représente environ 74 % de sa masse totale, et d'hélium, qui représente 24 %, et elle exerce une force gravitationnelle sur les planètes, les planètes naines, les astéroïdes, les comètes et autres corps célestes orbitant autour d'elle, dont notre propre planète, terre. Il est impressionnant par sa masse massive, qui représente près de 99,86 % du système solaire, dont Jupiter constitue la plus grande partie.

La chaleur qui entoure la Terre, indispensable à la vie telle que nous la connaissons, provient essentiellement du Soleil. Effectivement, 99,97% de cette chaleur est directement émise par le Soleil, tandis que les 0,03% restants sont issus de l'activité géothermique interne de notre planète. La dissipation de ce flux thermique dans l'espace sous forme de rayonnement infrarouge assure un équilibre thermique essentiel.

Le Soleil est situé dans la Voie lactée, notre galaxie, à environ 15 parsecs du plan équatorial du disque galactique et à environ 8 600 parsecs (environ 25 000 années-lumière) du centre de celle-ci. L'unité astronomique (ua) est basée sur l'orbite de la Terre autour du Soleil, c'est-à-dire sur un demi-grand axe d'environ 149 597 870 kilomètres. [1]

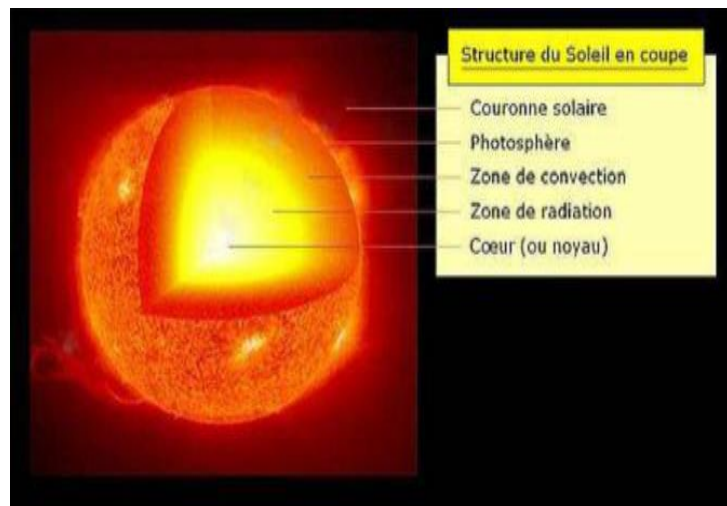


Figure I-1 : « structure du soleil ». [1]

Diamètre (km)	14×10^5
Masse (kg)	2×10^{30}
Surface (km²)	6.09×10^{12}
Volume (km³)	1.41×10^{18}
Masse volumique moyenne (kg/m³)	1408
Vitesse (km/s)	217
Distance du centre de la voie lactée (km)	2.5×10^{47}

Tableau I-1 Caractéristiques principales du soleil. [5]

I.2.2 La nature de

D'un point de vue humain, il est évident que le Soleil joue un rôle essentiel. En tant que principale source d'énergie sur notre planète, il nourrit la vie en offrant un éclairage énergétique crucial. Grâce à cette énergie, l'eau reste liquide et la photosynthèse des végétaux, qui est essentiel pour la chaîne alimentaire et l'oxygénation de notre atmosphère, est favorisée. En outre, la lumière du soleil est un facteur essentiel dans la régulation du climat et des conditions météorologiques. La fusion nucléaire d'atomes d'hydrogène est la source de l'énergie solaire, un processus qui se produit au sein même du Soleil.

La théorie corpusculaire explique que cette énergie se propage à travers le système solaire et l'Univers sous forme de rayonnement électromagnétique. La Terre est en permanence illuminée par la lumière solaire, cependant l'alternance entre les journées et les nuits est constante. [2]

I.2.3 Mouvements de la Terre autour du Soleil

En une année, la Terre fait une révolution autour du Soleil selon une trajectoire appelée écliptique. Elle tourne aussi sur elle-même pendant cette période, avec une durée d'environ 365,25 jours pour accomplir une révolution autour du Soleil. L'axe de rotation terrestre est relativement stable pendant cette orbite annuelle, avec une inclinaison de 23,5 degrés par rapport à la normale du plan de l'écliptique. Le rythme orbital de la Terre autour du Soleil est d'environ 30 km/s, avec une distance annuelle de près d'un milliard de kilomètres. D'un point de vue du pôle Nord terrestre, [5]

La Terre orbite dans le sens inverse de l'heure. Cette direction est l'ouest quand on la voit à midi depuis l'équateur de la Terre. Les distances minimale et maximale de la Terre et du Soleil sont respectivement de 147 millions de kilomètres et 153 millions de

kilomètres aux solstices d'hiver et d'été, avec une distance moyenne de 149,5 millions de kilomètres. L'axe mineur de son orbite est traversé par la Terre aux équinoxes de printemps et d'automne, le 21 février et le 21 septembre respectivement. La planète tourne autour d'elle-même pendant 24 heures, avec un axe de rotation stable dans l'espace, mais avec une orientation inverse par rapport au plan de l'écliptique. On nomme déclinaison l'inclinaison de l'axe de rotation terrestre par rapport au plan de l'écliptique céleste. [4]

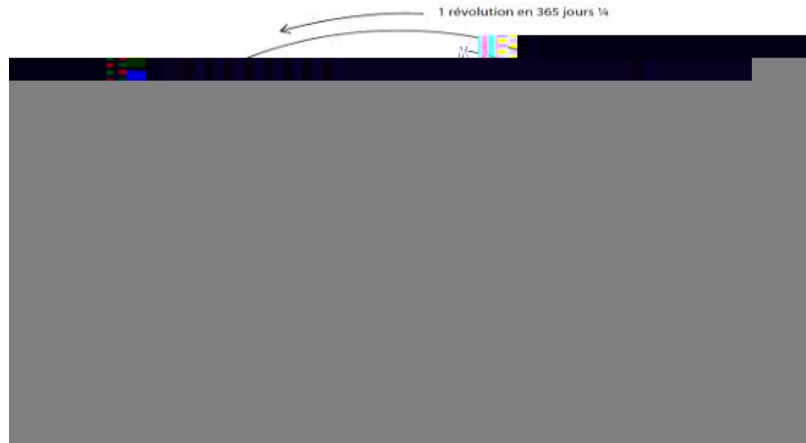


Figure I-2 « trajectoire de la terre ».

I.2.4 Position du soleil par rapport à la terre

Pour localiser un site sur la surface terrestre, plusieurs grandeurs sont utilisées :

1. La latitude (θ) : représente l'angle entre la verticale du lieu et le plan équatorial. Une latitude positive indique que le site se trouve dans l'hémisphère nord, tandis qu'une latitude négative signifie qu'il est situé dans l'hémisphère sud.

2. La longitude (φ) : est l'angle formé par le méridien de Greenwich et le méridien du lieu en question. La longitude varie de -180° (vers l'ouest) à $+180^\circ$ (vers l'est). Étant donné que la Terre effectue une rotation complète en 24 heures (360°), chaque heure correspond à un écart de longitude de 15° , ce qui signifie que chaque degré de longitude représente environ 4 minutes.

3. L'altitude (z) : est la distance verticale, exprimée en mètres, entre le point considéré et le niveau de la mer, utilisé comme référence pour la surface terrestre.

Ces grandeurs permettent de déterminer avec précision la position d'un site donné sur la surface de la Terre, en tenant compte à la fois de sa latitude, de sa longitude et de son altitude par rapport au niveau de la mer. [1]

I.2.5 Le temps

La Terre subit deux mouvements majeurs : la rotation autour de son axe, connue sous le nom de journée solaire, et la révolution autour du Soleil. Le temps est défini par la rotation de la Terre sur elle-même, qui se termine en 24 heures, chaque heure étant un déplacement angulaire de 15 degrés. En revanche, la rotation de la Terre autour du Soleil définit les saisons et entraîne la distinction entre le temps solaire réel et le temps solaire vrai. [1]

I.3 Le rayonnement solaire

I.3.1 Composantes du rayonnement solaire

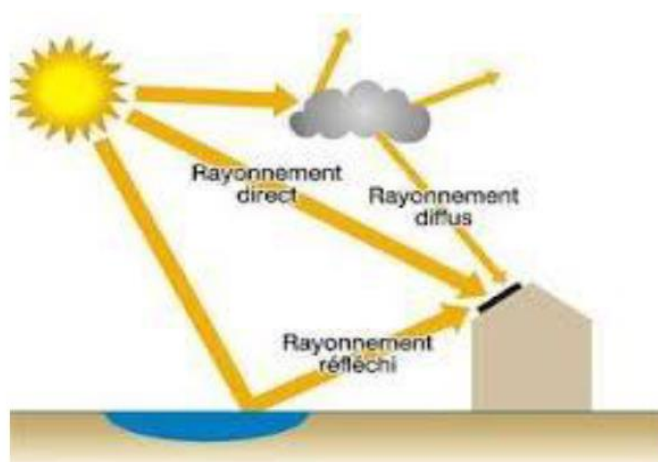


Figure I-3: « Les différents composants du rayonnement solaire ».

Le rayonnement solaire, ou rayonnement électromagnétique émis par le soleil, est perturbé de manière significative pendant sa traversée de l'atmosphère. Par conséquent, seuls les éléments les plus importants et actifs du rayonnement solaire, à savoir le rayonnement direct et le rayonnement diffus, atteignent le sol.[3]

1- Le rayonnement direct : est celui qui atteint le sol sans interaction significative avec l'atmosphère, se présentant sous la forme d'un flux uniforme de rayons parallèles avec une puissance incidente définie.

2- le rayonnement diffus : est une partie du rayonnement solaire qui a été dispersée à la suite de multiples réflexions par les molécules et les aérosols atmosphériques, se manifestant comme un ensemble de directions rayonnées pour un observateur au sol.

3- L'albédo : représente la fraction du rayonnement solaire réfléchi par le sol après son arrivée. Cette quantité dépend de la nature du sol et est à prendre en compte principalement pour les surfaces inclinées.

4- Le rayonnement global : est simplement la somme des composantes directe et diffuse du rayonnement solaire. Deux types de données d'ensoleillement sont souvent distingués :

- **Le rayonnement instantané :** qui concerne l'intensité du rayonnement en fonction de l'heure de la journée

- **Le rayonnement cumulé :** représente l'agrégation du rayonnement global sur une base quotidienne. Cette mesure englobe toutes les valeurs accumulées année après année, et elle est généralement analysée en moyennes pour chaque mois de l'année.

5- L'irradiation : À la différence de la simple mise en valeur de la puissance du rayonnement solaire, il s'agit de l'énergie reçue pendant des périodes précises comme l'heure ou la journée. De cette manière, au lieu de se limiter à la puissance du rayonnement, on privilégie souvent l'étude de l'irradiation horaire ou quotidienne afin de mieux appréhender l'effet énergétique sur une période spécifique. [2]

I.3.2 Principe de captage

La surface terrestre ne reçoit qu'une faible partie du rayonnement solaire, qui couvre un large spectre d'ondes allant des ondes radio décamétriques aux rayons ultraviolets les plus minces. Ce rayonnement est soit réfléchi, soit absorbé par l'atmosphère et l'ionosphère. L'impact avec la surface terrestre entraîne une réflexion d'une part variable du rayonnement en fonction de l'albédo de la surface en contact. On absorbe le reste, ce qui produit de la chaleur, ou on l'utilise par les êtres vivants, en particulier les plantes, par le biais de la photosynthèse. La vie sur Terre repose sur cette énergie solaire.

Le rayonnement solaire total absorbé sur notre planète est composé du rayonnement direct et de celui diffus. En règle générale, 61 % du rayonnement absorbé est direct. Cependant, cette répartition diffère grandement selon la localisation géographique. Par exemple, à Hambourg, le rayonnement diffus représente environ 60 % du rayonnement annuel, alors qu'au Caire, il ne représente que 29 %. Pour comparer, le rayonnement solaire est environ 10 000 fois plus intense que toutes les consommations d'énergie humaines combinées. En milieu terrestre, le rayonnement thermique a une longueur d'onde comprise entre 0,1 et 100 micromètres. Il se distingue par la production de rayonnement, ce qui diminue l'énergie thermique du corps émetteur. Dans la plage visible, le soleil émet principalement entre 0,4 et 0,8 micromètre. Ainsi, lorsque le rayonnement solaire entre en contact avec un objet, il augmente sa température. [6]

I.3.3 La nature du rayonnement solaire

Les rayons gamma, les rayons X, les ultraviolets (UV), la lumière visible, l'infrarouge, les micro-ondes et les ondes radio sont des rayonnements électromagnétiques émis par le Soleil, qui transportent de l'énergie. L'intensité de cette émission solaire varie et augmente lors des éruptions solaires observées pendant les périodes de forte activité solaire. On peut classer le rayonnement solaire en trois grandes catégories : l'émission constante du Soleil, la composante qui varie lentement et les sursauts solaires. Grâce à la radioastronomie, l'analyse du rayonnement électromagnétique émis par le Soleil a été très utile pour comprendre son fonctionnement interne. [8]

Le Soleil émet principalement des ondes radio provenant des plasmas de sa chromosphère et de sa couronne. Les couches inférieures de la chromosphère sont représentées par des ondes centimétriques, tandis que la couronne émet des ondes décimétriques. La concentration électronique du plasma joue le rôle d'un filtre passe-haut, dont la fréquence de rupture est influencée par la concentration électronique du milieu. On peut calculer cette fréquence en utilisant la formule $f = 9\sqrt{N_e}$, où N_e correspond à la densité électronique du plasma en électrons par mètre cube. Prenons l'exemple de la chromosphère, où la densité électronique est d'environ 10^{18} à une fréquence de 9 GHz (longueur d'onde de 3 cm). [6]

I.4 Effet de serre :

Le mécanisme de l'effet de serre est un processus naturel qui résulte des échanges d'énergie entre le Soleil et la Terre. Le rayonnement infrarouge émis par le Soleil est absorbé par l'atmosphère, notamment par les gaz à effet de serre tels que la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone, le méthane, etc. Cette rétention de chaleur contribue à maintenir des températures favorables à la vie sur notre planète.[7]

I.4.1

Le processus décrit le fonctionnement de l'effet de serre comme suit : Le Soleil émet de l'énergie à la fois visible et invisible, y compris les rayonnements infrarouge et ultraviolet. Le Soleil émet du rayonnement infrarouge qui traverse l'espace et entre dans l'atmosphère terrestre. La surface de la Terre absorbe environ 70 % de ce rayonnement, ce qui provoque le réchauffement naturel des sols et des océans. Par la suite, ces surfaces émettent elles-mêmes un rayonnement infrarouge. La réverbération rejette une partie du rayonnement réfléchi dans l'atmosphère. L'atmosphère contient une partie du rayonnement de la surface terrestre qui s'échappe dans l'espace. Mais une autre partie reste retenue dans l'air en raison de la présence de gaz à effet de serre. [5]

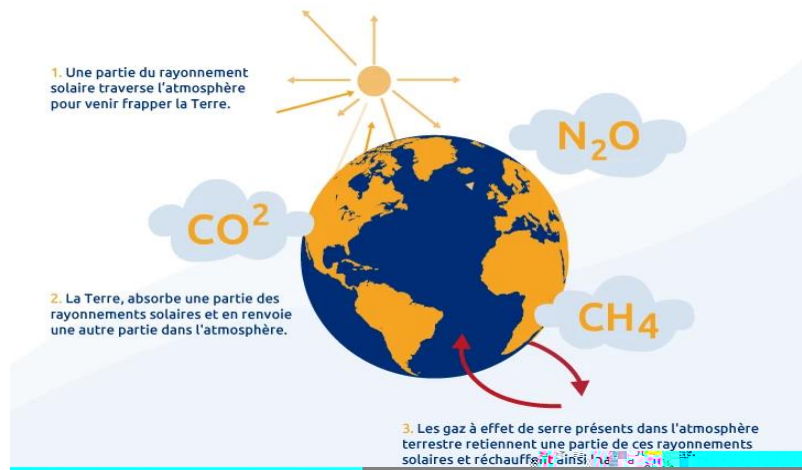


Figure I-4

I.4.2 Principaux gaz à effet de serre

Les GES sont des substances naturelles présentes dans l'atmosphère qui captent une partie du rayonnement solaire et renvoient cette chaleur vers la surface de la Terre, ce qui entraîne l'effet de serre. La concentration de ces gaz est généralement relativement stable dans l'atmosphère, à cause des échanges entre l'atmosphère, la biosphère et les océans. Le cycle de l'eau et la respiration des végétaux jouent un rôle dans cet équilibre entre les gaz émis et absorbés, par exemple. Cependant, la présence de ces gaz dans l'atmosphère a été augmentée par l'activité humaine, ce qui a conduit au réchauffement climatique. L'effet de serre est principalement causé par les gaz suivants : la vapeur d'eau (H_2O), le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4) et le protoxyde.[7]

I.5 Différents types de capteur solaire

I.5.1 Les capteurs solaires à trio température (les concentrateurs)

Afin d'atteindre des températures supérieures à $120^{\circ}C$, il est essentiel d'employer des appareils de concentration solaire, comme des miroirs ou des lentilles, afin de concentrer les rayons du soleil. Toutefois, en plus du prix souvent plus élevé que celui des capteurs solaires plats, un défi majeur réside dans l'importance d'un système de suivi solaire pour guider les concentrés de manière adéquate tout au long de la journée.

Au début, le flux solaire réfléchit sur les miroirs du concentrateur, puis traverse un vitrage spécialement conçu pour isoler thermiquement la zone d'absorption. L'étape finale consiste à recueillir l'énergie solaire sur une surface appropriée. On observe des pertes optiques lors de ces différentes étapes, qui sont généralement évaluées en fonction d'une efficacité globale. Les systèmes à forte concentration ne permettent

d'orienter vers le foyer que la partie directe du rayonnement solaire, car la composante diffuse ne peut pas être concentrée.

La chaleur de l'élément absorbant se propage vers l'extérieur principalement par rayonnement et convection. On peut mesurer ces pertes thermiques en utilisant un coefficient de perte thermique (U). On utilise un fluide caloporteur pour refroidir l'absorbeur en récupérant la chaleur, qui peut être convertie ou transférée pour différentes utilisations. [1]

Applications :

Système de chauffage hybride adapté à une résidence ou un établissement commercial :

Le projet consisterait à élaborer et à mettre en place un système de chauffage hybride qui exploite des capteurs solaires à trois températures afin de satisfaire les besoins de chauffage d'un bâtiment.

Fonctionnement du système :

On utilisera des capteurs solaires à basse température afin de chauffer de l'eau à des températures qui correspondent au chauffage de l'air ambiant, en utilisant un système de circulation de fluide caloporteur dans des radiateurs ou un plancher chauffant.

Les capteurs solaires à température moyenne produiront de la chaleur à une température un peu plus élevée, qui sera utilisée pour chauffer un système de chauffage d'eau sanitaire.

De la vapeur à haute pression sera produite par les capteurs solaires à haute température, ce qui permettra de produire de l'électricité ou d'alimenter un système de chauffage supplémentaire, comme un système de chauffage par absorption.

I.5.2 Les capteurs solaires à haute température (les cylindro-paraboliques) :

Les capteurs cylindro-paraboliques sont actuellement la technologie la plus fiable dans le domaine de la concentration solaire. Plusieurs installations ont fait l'objet de tests et ont été commercialisées, certaines remontant même aux années 1980. Ce dispositif est constitué d'un réflecteur parabolique (miroir), d'une structure métallique, d'un tube récepteur et d'un système de suivi solaire.

Les concentrateurs linéaires à auge sont des capteurs qui utilisent des miroirs de section parabolique afin de concentrer les rayons solaires le long d'une ligne focale. Le récepteur est un tube placé sur cette ligne focale, au-dessus de l'auge, que traverse un fluide caloporteur. Ces miroirs paraboliques ont l'avantage de leur suivi solaire : ils ne

requièrent qu'un seul axe de suivi, alors que les héliostats en exigent deux. Ces concentrateurs sont généralement orientés nord-sud et pivotent d'est en ouest afin de suivre la trajectoire du soleil (K. Heinloth, 2006).

La concentration maximale de ce type de capteur est de $C^*_{\max}=215$, avec un rendement maximal de $\eta_{\max}=50\%$. [9]

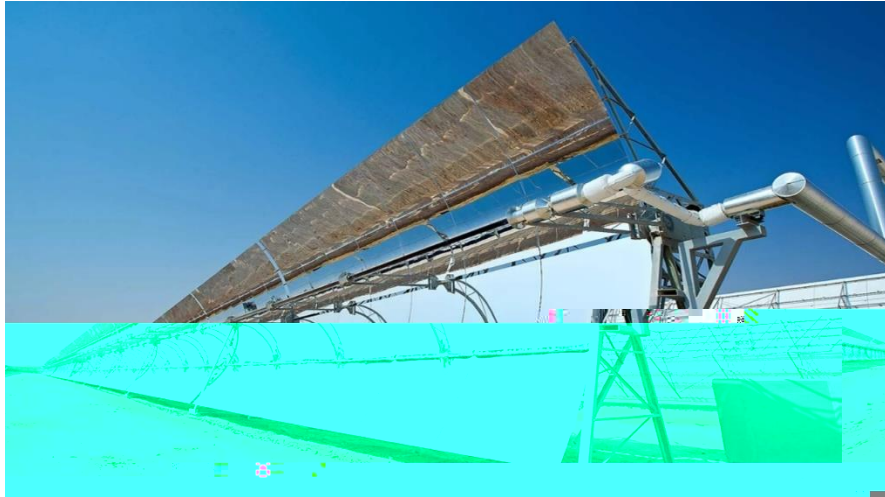


Figure I-5 : « capteurs solaires a haute température ». [9]

Applications :

Afin de concevoir un système de production d'électricité solaire de grande envergure, il est prévu d'utiliser des capteurs cylindro-paraboliques. Ces capteurs ont été spécialement conçus pour rassembler la lumière solaire dans un tube absorbeur central, où circule habituellement un fluide caloporteur comme de l'huile thermique.

Une fois que le fluide caloporteur est chauffé par la concentration de lumière solaire, il est transporté à travers un échangeur de chaleur. À cet endroit, il transfère sa chaleur à un fluide de travail secondaire, tel que de l'eau, afin de produire de la vapeur. On dirige alors cette vapeur vers une turbine reliée à un générateur d'électricité, ce qui génère de l'électricité.

Le fluide caloporteur refroidi est renvoyé aux capteurs pour être à nouveau chauffé par l'énergie solaire après avoir perdu sa chaleur. Ainsi, le cycle se poursuit.

I.5.3 Les capteurs solaires à moyenne température

Un capteur solaire à température moyenne est un appareil destiné à recueillir et transformer l'énergie solaire en chaleur à des températures réduites, habituellement comprise entre 60°C et 200°C . Contrairement aux capteurs solaires à basse température, couramment employés pour des applications comme le chauffage de l'eau

domestique, et aux capteurs solaires à haute température utilisés pour la production d'électricité, les capteurs solaires à moyenne température conviennent à une large gamme d'applications de chauffage qui nécessitent des températures plus élevées mais pas aussi élevées que celles nécessaires pour la production d'électricité. [9]

I.5.4 Capteur solaire a sous vide

Les capteurs sont conçus de différentes manières en utilisant de nombreux tubes en verre qui maintiennent un vide poussé. Les échanges convectifs entre l'absorbeur à l'intérieur du tube et le verre environnant sont réduits grâce à cette configuration. Différentes versions de capteurs sous vide sont repérées en fonction de leurs caractéristiques spécifiques. [8]



Figure I-6: « Capteur solaire a sous vide ». [9]

I.5.4.1 Circulation directe

Chaque tube est successivement traversé par le fluide caloporteur afin d'y capter la chaleur. Malgré la simplicité du principe, la fabrication est complexe en raison des connexions requises entre le verre et le métal afin de permettre la circulation du fluide caloporteur (fluide caloporteur). [8]

I.5.5 Capteur à caloduc

Le liquide présent dans le tube est vaporisé, puis se condense dans un condenseur, ce qui permet de libérer l'énergie de condensation à un fluide caloporteur qui circule au sommet des tubes. Le remplacement individuel des tubes est facilité grâce à cette configuration, car les circuits du tube et du champ de capteurs ne sont pas reconnectés. [8]

I.5.6

Il est fabriqué à partir de deux tubes de verre disposés de manière concentrique, dont les extrémités sont soudées verre/verre. Un absorbeur sélectif est appliqué sur la

paroi extérieure du tube intérieur, ce qui crée un vide entre les deux tubes. Un tube de cuivre creux en forme de U est introduit au centre de ces deux tubes afin de permettre l'échange de chaleur, soit directement, soit par un caloporteur.

Les soudures verre/verre présentent une fiabilité bien supérieure à celle des soudures métal/verre utilisées dans d'autres technologies grâce à cette configuration. Dans le pays chinois, cette méthode a été largement adoptée, où 65% des chauffe-eau solaires utilisent ces capteurs sous vide. [4]

I.5.7 Capteur à tube sous vide "Schott"

Le tube sous vide conçu par la société allemande Schott-Rohrglas est basé sur le concept « thermos », avec plusieurs améliorations techniques. En premier lieu, une partie de la paroi interne du tube externe joue le rôle d'un réflecteur cylindrique. Par la suite, le tube intérieur joue à la fois le rôle d'absorbeur et d'échangeur de chaleur avec le fluide caloporteur. Les métaux sont réduits à leur utilisation, se restreignant aux traitements de surface du tube et des divers éléments du collecteur.

Les capteurs sous vide sont conçus de manière plus performante pour capter le rayonnement solaire diffus, et leur efficacité diminue de façon marginale lorsque la température du fluide augmente. Cela est réalisé grâce à une isolation thermique extrêmement efficace obtenue grâce à l'utilisation d'un vide poussé. En outre, des réflecteurs ont la capacité d'être utilisés. [9]

Applications :

Système de dessalement solaire à faible coût :

L'objectif serait de concevoir un système de dessalement de l'eau utilisant des capteurs solaires sous vide pour fournir de l'énergie thermique nécessaire au processus de dessalement

Fonctionnement du système :

Les capteurs solaires sous vide sont utilisés pour collecter et concentrer le rayonnement solaire afin de chauffer un fluide caloporteur, tel que de l'eau.

Ce fluide caloporteur chauffé est utilisé pour alimenter un système de distillation solaire ou un système de dessalement par évaporation solaire.

L'eau salée est chauffée par le fluide caloporteur pour évaporer l'eau pure, laissant derrière les sels et autres impuretés.

La vapeur d'eau pure est ensuite condensée et collectée en tant qu'eau douce utilisable

I.5.8 Capteur solaire a eau

Le capteur plan à eau est constitué d'une plaque de verre sous laquelle sont placés des tuyaux contenant un mélange d'eau et d'antigel. Ces conduits sont montés sur une plaque isolante, couverte d'une peinture noire afin d'absorber pleinement l'énergie solaire. Effectivement, la couleur noire est celle qui absorbe le plus de rayonnement solaire, tandis que le blanc l'absorbe le moins. Les agriculteurs connaissent ce principe, qu'ils utilisent dans les serres pour la culture des plantes dans les régions froides.

Le capteur plan fonctionne comme une serre : le rayonnement solaire passe par le vitrage, est absorbé par le revêtement noir, puis sa chaleur est transmise au fluide (eau et antigel) qui circule dans les tuyaux. On ajoute de l'antigel afin d'éviter le gel de l'eau pendant l'hiver. Ces capteurs sont utilisés pour chauffer un liquide caloporteur, souvent un mélange d'eau-glycol, et sont principalement employés dans la fabrication d'eau chaude sanitaire.

Même à des températures élevées, l'emploi d'un absorbeur sélectif et d'une vitre en verre technique assure un rendement optimal.



Figure I-7: « Capteur solaire a eau ». [6]

Applications :

Système de chauffage solaire pour des serres agricoles :

L'objectif est de développer un système de chauffage solaire qui utilise des capteurs solaires à eau pour apporter de la chaleur aux serres agricoles, dans le but d'améliorer les conditions de croissance des plantes.

Fonctionnement du système :

On installe des capteurs solaires à eau sur le toit ou près des serres agricoles pour capter l'énergie solaire.

Ces capteurs sont traversés par un liquide caloporteur, comme de l'eau ou un mélange de glycol et d'eau, afin d'absorber la chaleur solaire.

L'air ambiant est chauffé par la chaleur captée, qui est ensuite transmise à un système de distribution de chaleur à l'intérieur des serres, généralement par des tuyaux ou des serpentins.

On peut utiliser un système de contrôle afin de réguler la température à l'intérieur des serres en fonction des besoins des plantes et des conditions météorologiques.

I.5.9 Capteur solaire a air :

Ces capteurs servent à chauffer l'air directement, principalement pour préchauffer l'air frais qui entre. Ils sont particulièrement adaptés lorsque la température de fonctionnement ne dépasse pas les 70°C, car leur efficacité diminue considérablement lorsque la température de l'air caloporteur augmente. Ces capteurs se démarquent par leur prix abordable et leur installation facile. L'absorbeur est équipé d'ailettes afin d'améliorer le transfert de chaleur par convection entre le fluide caloporteur (l'air) et l'absorbeur. [2]

Figure I-8: « Capteur solaire a air ».

Applications :

Système solaire de séchage des cultures agricoles :

Il s'agirait de développer un système de séchage solaire qui utilise des capteurs solaires plans à air afin de sécher les cultures agricoles comme les fruits, les légumes ou les herbes.

Fonctionnement du système :

On peut placer les capteurs solaires plans à air sur une structure surélevée au-dessus d'une surface de séchage où les produits agricoles sont rangés.

Les capteurs solaires aspirent l'air ambiant, absorbant ainsi la chaleur du soleil et le rendant plus chaud.

Ensuite, la surface de séchage est traversée par l'air chaud, qui absorbe l'humidité des produits agricoles et accélère le processus de séchage.

Les capteurs solaires et la surface de séchage peuvent être utilisés pour contrôler le débit d'air en fonction des conditions météorologiques et de la quantité de produit à sécher.

Conclusion :

Au début de ce chapitre, nous avons introduit une vue d'ensemble du gisement solaire, puis nous avons exposé une description physique de divers capteurs, ainsi que le bilan thermique et le rendement correspondant. Les divers systèmes ont été observés et ont joué un rôle crucial dans la conversion de l'énergie solaire et leur utilité. Malgré les différences entre ces capteurs, que ce soit en termes de structure ou d'application, ils ont tous le même objectif de convertir l'énergie solaire. Cependant, la production et les différentes utilités peuvent varier, tandis que la plupart de ces capteurs ont le même objectif. Le phénomène de la terre par effet de serre revêt une grande importance.

Chapitre II.

capteur solaire plan à air

CHAPITRE II :

II.1.2 Les principaux éléments du capteur solaire plan à air :

Un capteur solaire se compose généralement de trois parties principales :

La partie avant :

Une couverture transparente : confectionnée à partir de verre ou de plastique, elle peut être simple, double ou triple. L'importance de son rôle réside dans sa capacité à optimiser la réception du rayonnement solaire tout en réduisant au minimum les réflexions et les pertes de chaleur.

La seconde partie :

- **La partie absorbante :** C'est là que se déroule la transformation thermique. Son rôle consiste à absorber la majorité du rayonnement solaire et à transmettre la chaleur ainsi produite vers le fluide caloporteur. Sa performance est aussi liée à sa capacité à réduire les pertes de chaleur vers l'extérieur.
- **La partie arrière :** En règle générale, elle est composée d'une couche isolante qui a pour fonction de diminuer les pertes de chaleur par convection et de ralentir le refroidissement de la face opposée au soleil.

Le choix du matériau pour cette partie dépend de plusieurs critères, notamment

- sa résistance aux températures de fonctionnement
- sa durabilité dans le temps
- sa capacité à résister aux conditions environnementales telles que l'humidité, les chocs, le feu et les intempéries.

II.1.3 Le rôle de chaque composante

II.1.3.1 La couverture transparente

En tant que protecteur mécanique de l'absorbeur, la couverture a pour principale fonction de réduire les pertes thermiques vers l'extérieur [11]. Elle joue un rôle dans divers domaines :

- La régulation des échanges convectifs est en partie influencée par l'espace entre l'absorbeur et la couverture, qui crée une couche d'air immobile d'une hauteur habituellement comprise entre 15 et 40 mm.
- Gestion des échanges radiatifs : la couverture doit être transparente aux rayons solaires tout en étant opaque aux infrarouges.
- Il est essentiel qu'elle puisse résister aux chocs et avoir un faible coefficient de dilatation et de flexibilité. L'élimination de tous ces éléments permet d'obtenir un produit de qualité supérieure qui aide à améliorer le rendement du capteur solaire, en particulier pendant les périodes hivernales marquées par des rayonnements fréquents.

CHAPITRE II :

Dans certaines situations, les verres libérant la majorité des oxydes de fer peuvent recevoir jusqu'à 94% du rayonnement solaire [12]. Les pertes thermiques par rayonnement et convection sont réduites grâce à l'utilisation de double vitrage, mais cela entraîne également une réduction allant jusqu'à 15% du flux solaire. Le bilan thermique demeure positif pour les systèmes de températures moyennes et élevées, tandis que les méthodes à simple vitrage sont plus bénéfiques pour les températures basses. Selon Bourhaleb.H (1987) [12], des études expérimentales ont montré que le choix entre double et simple vitrage a un impact important sur l'efficacité du capteur solaire. De la même manière, d'après les études menées par S. Youcef-Ali (2005) [13], une couverture triple offre des performances supérieures à celles d'une double vitre en réduisant les pertes internes.

En ce qui concerne le polycarbonate double vitrage, bien qu'il soit relativement coûteux, il permet de réduire considérablement les pertes thermiques du côté avant. Cependant, il peut entraîner une diminution sensible de la transmission du rayonnement solaire, notamment à des angles d'incidence supérieurs à 45 degrés [12].

Matériau	Facteur de transmission solaire (%)	Masse volumique (kg/m³)	Chaleur massique (J/kg.K)	Conductivité thermique (W/mK)	Dilatation thermique (K⁻¹)
Verre	85-92	2700	840	0.93	$0,9 \cdot 10^{-5}$
Polycarbonate	82-89	1200	1260	0,2	$6,6 \cdot 10^{-5}$
Polyméthacrylate	89-92	1200	1460	0,2	$7 \cdot 10^{-5}$
Polyester armé	77-90	1400	1050	0.21	$3,5 \cdot 10^{-5}$
Polytéréphtalate éthylène	84	1.38	1170	0,25	$7 \cdot 10^{-5}$
Polyfluoro-éthylène opoylène	97	2.15	1170	0.25	10^{-4}
Polyflurure vinyle	93	1.50	1380	0.12	$4 \cdot 10^{-5}$

Tableau II-1: « Propriétés de quelques surfaces transparentes au rayonnement solaire mais opaques au rayonnement infrarouge [14]».

L'utilisation du verre en double vitrage présente plusieurs désavantages, tels que sa fragilité, son poids et son coût élevé [14]. En ce qui concerne les matériaux plastiques, leur principal désavantage est que certains d'entre eux peuvent se détériorer au fil du temps, tandis que d'autres peuvent être onéreux [12]. D'après une recherche numérique réalisée par Donation Njomo (1998) [15], un capteur avec une double couverture

CHAPITRE II :

(couverture extérieure en Plexiglas et couverture intérieure en verre) a des performances supérieures à celles d'un capteur avec deux vitres de même matériau.

II.1.3.2 L'absorbeur :

Il joue un rôle essentiel dans un capteur solaire en absorbant la majorité du rayonnement solaire et en transférant la chaleur au fluide caloporteur, tout en réduisant au minimum les pertes [11].

Ses caractéristiques principales sont les suivantes :

- Bonne conductivité thermique : cela permet une transmission efficace de la chaleur au fluide caloporteur.
- Légèreté : pour éviter une inertie thermique excessive.
- Surface traitée pour capturer les rayons solaires : ces surfaces doivent être minces pour permettre un passage optimal de l'énergie captée et stables dans le temps pour conserver leurs propriétés d'origine.

En général, ces revêtements sont réalisés par des traitements chimiques ou à base de peinture noire sélective [12].

Matériau	Conductibilités (W/m°C)	Chaleur massique (Kcal/Kg°C)	Masse volumique (Kg/m ³)
Aluminium	230	0.214	2700
Cuivre	380	0.094	8930
Zinc	112	0.092	7130
Acier	52	0.174	7900
Inox	52	0.17	7900
Matériau Plast	0.2-0.4	0.2-0.25	1000-1500

Tableau II-2: « Caractéristiques thermo-physiques de matériaux métalliques [14] ».

Deux coefficients sont essentiels pour définir les caractéristiques des absorbeurs [12] :

- α : le coefficient d'absorption (optimal lorsqu'il atteint 1).
- ε : le coefficient d'émission (optimal lorsqu'il est proche de 0).

CHAPITRE II :

Selon les propriétés recherchées, le traitement de surface peut être réalisé à l'aide de procédés électrochimiques ou électrophysiques. Les propriétés des revêtements sont résumées dans le tableau suivant [14]:

Revêtement	Absorption	Emmision
Peinture noire	0,9 – 0,95	> 0,85
Black chrome	0,95	0,12 – 0,18
Traitement sous vide	>0,95	< 0,05

Tableau II-3: Propriétés optiques des revêtements les plus utilisés.

En outre, la configuration de l'absorbeur est essentielle pour améliorer le rendement global du capteur solaire. Les formes les plus fréquemment employées dans les capteurs solaires disponibles sur le marché sont illustrées dans la figure II.4. [16].

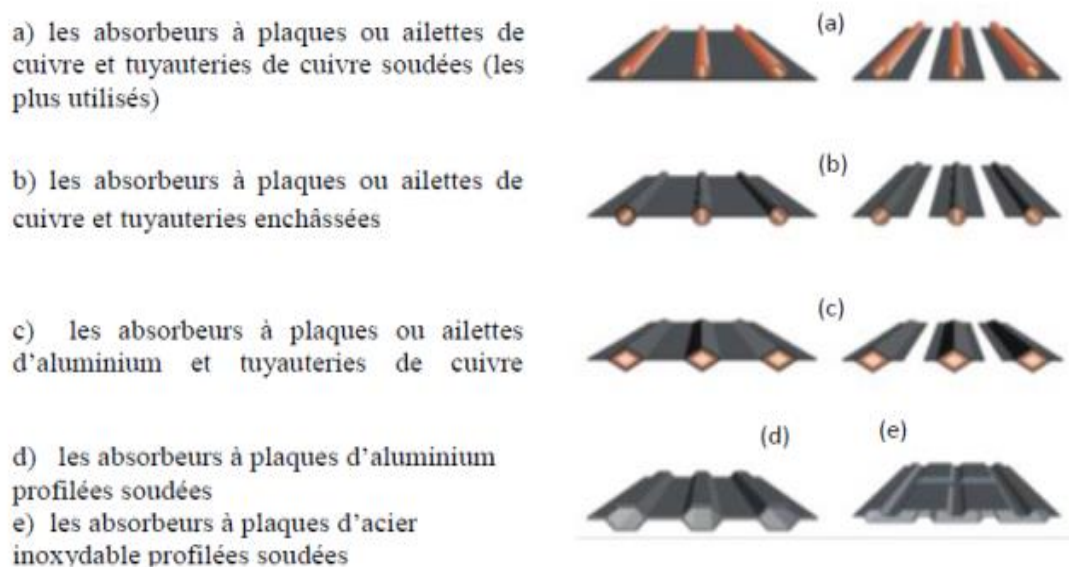


Figure II-2

».

II.1.3.3

Située entre la couverture et l'absorbeur, joue un rôle crucial dans le fonctionnement du capteur solaire.

II.1.3.4 Veine d'air immobile

Dont la hauteur est généralement comprise entre 1,5 et 3,5 cm, maintient un coefficient d'échange convectif stable. Cependant, si cette hauteur dépasse 4 cm, les mouvements de convection deviennent significatifs, car l'air se déplace en fonction des

variations de température, suivant les lois des gaz. Il est essentiel que cette veine d'air soit étanche pour éviter tout dépôt d'humidité sur la vitre [12].

Quant à la veine d'air mobile, la géométrie du circuit emprunté par le fluide caloporteur revêt une importance capitale pour l'échange thermique. Il est nécessaire d'assurer une irrigation totale de la surface de l'absorbeur pour éviter la formation de zones mortes. À cet effet, des chicanes de forme bien définie sont introduites pour optimiser le flux du fluide caloporteur [12].

II.1.3.5 Le fluide caloporteur

Responsable de transmettre la chaleur entre les diverses sources de température, elle est sélectionnée en fonction de ses caractéristiques physiques et chimiques. Il est nécessaire qu'il possède une conductivité thermique élevée, une viscosité faible et une capacité calorifique significative [11]. Dans cette étude, l'air sert de fluide caloporteur, et sa circulation a un impact significatif sur l'efficacité du capteur solaire.

D'après diverses recherches, l'augmentation de la circulation du fluide caloporteur entraîne une hausse de la puissance du capteur solaire [18][23]. En outre, le flux d'air a une influence importante sur l'efficacité des échanges thermiques, ce qui a un impact sur le rendement global du système [24]. D'après des études expérimentales et numériques, il a été démontré que la réduction du débit massique du fluide entraîne une hausse de sa température et une réduction des gains de chaleur globaux [20]. En dépassant un débit donné, la température du fluide cesse de monter.

II.1.3.6 L'isolant thermique

Il est essentiel, en particulier dans les applications solaires. Cela contribue à diminuer les pertes de chaleur du système. La laine de roche et les mousses de polystyrène ou de polyuréthane sont les isolants les plus fréquemment employés, avec une épaisseur généralement comprise entre 4 et 8 cm. Il convient de souligner que l'isolement absolu est le meilleur, même s'il est coûteux, il est fréquemment employé dans les capteurs à haute température.

CHAPITRE II :

Matériau	Facteur de transmission solaire (%)	Masse volumique (kg/m ³)	Chaleur massique (J/kg.K)	Diffusivité (10 ⁻⁷ m ² /s)
Air	0,025	1.2	1003	208
Mousse de Polyuréthane	0,029	30	1600	6
Laine de verre	0,036	40	840	10.7
Polyester expansé	0,040	20	1500	13.3
Papier de journal comprimé	0,105	130	1340	6
Bois de pin	0,118	500	1210	1.95
Plâtre	0,35	800	800	5.5

Tableau II-4: « Propriétés thermiques de quelques matériaux isolants [14]».

Selon N. T. Ahmed (2001) [19], il est possible de diminuer ces pertes en utilisant de l'isolation transparente, telle qu'un film de bulles d'air de type film. Selon Fayza Benyelles et ses collègues (2007) [21], il a été prouvé que l'utilisation de l'aérogel, un matériau poreux à faible conductivité thermique, peut être utilisée comme un isolant efficace pour la face avant du capteur solaire plan.

II.1.3.7 Le coffre

Représente l'élément qui facilite l'assemblage des divers éléments du capteur solaire. Elle est principalement utilisée pour protéger efficacement contre les agents atmosphériques. Il est généralement réalisé en bois ou en aluminium [12].

II.1.4 Principaux paramètres caractérisant un capteur

Le fonctionnement d'un capteur solaire est déterminé par divers paramètres, parmi les plus significatifs sont [12]:

CHAPITRE II :

II.1.4.1 Rendement :

On peut définir le rendement d'un capteur solaire comme le rapport entre l'énergie récupérée par le fluide caloporteur pendant une période donnée et le produit de l'irradiation solaire pendant la même période, divisé par la surface du capteur, dans des conditions d'état stationnaire.

II.1.4.2 Superficie :

La superficie d'entrée représente la surface maximale exposée au rayonnement solaire pouvant atteindre le volume contenant l'absorbeur, soit directement soit par réflexion.

II.1.4.3 Stagnation :

La stagnation survient lorsque la circulation du fluide caloporteur cesse dans le système. La température de stagnation désigne la température du liquide caloporteur lorsque les pertes thermiques sont équivalentes au flux de rayonnement solaire incident, sans circulation.

II.2

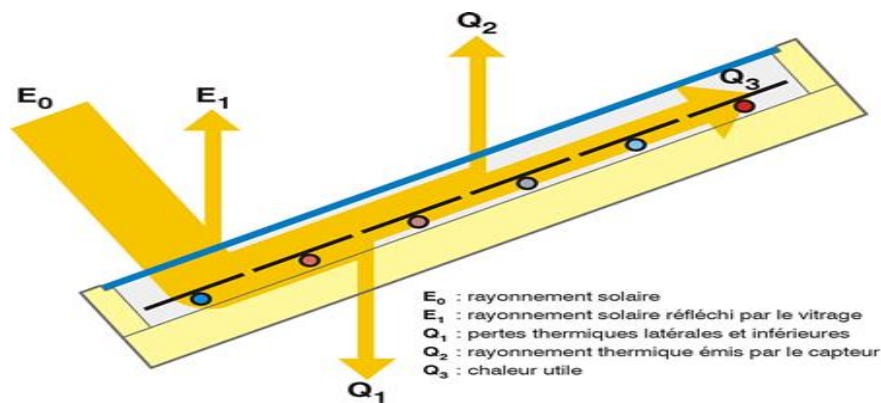


Figure II-3

».

Des bilans énergétiques sont souvent présentés dans les ouvrages généraux sur les capteurs solaires, mais sans préciser la méthodologie utilisée, qu'il s'agisse d'expérimentation, de simulation numérique ou d'étude théorique. En outre, ces mentions oublient fréquemment de préciser les caractéristiques particulières du système étudié, comme la sélectivité de l'absorbeur, l'épaisseur de l'isolant, la couverture, etc. Ainsi, ces résultats doivent être interprétés avec prudence et ne doivent être pris en compte qu'à titre indicatif. Par exemple, le bilan énergétique de Cardonnel [22] est évoqué (voir figure II.8), mais sans donner de détails sur les hypothèses sous-jacentes qui ont conduit à ces valeurs.

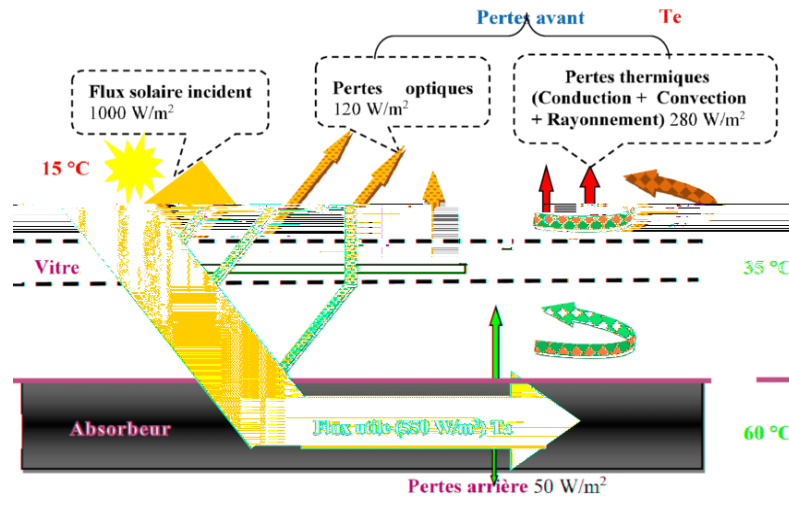


Figure II-4: « Schéma représentant

».

Toutefois, la littérature est d'accord sur le fait que les pertes latérales et arrières sont généralement minimales par rapport aux pertes thermiques subies par la face avant du capteur, qui restent les plus importantes. La « face avant » désigne la partie du capteur qui se trouve en direction du ciel, entre l'absorbeur et l'extérieur. Selon les recherches antérieures, l'énergie perdue, connue sous le nom de (Q_p), est influencée par divers paramètres tels que la qualité intrinsèque du capteur et sa température de fonctionnement [12] :

(II.2)

Avec :

: Pertes par la face avant qui dépend de la transmission de la couverture et de l'absorbeur de cette face.

: Pertes par la face arrière.

- Pertes par la face arrière :

(II.3)

Avec :

: Coefficient d'échange thermique ($w/m^2°C$) [14].

—(II.4)

: Coefficient de conductibilité thermique.

CHAPITRE II :

: Température moyenne du fluide.

: Température ambiante.

Ces pertes sont égales à $50 \text{ W/}^\circ\text{C}$ pour une isolation (laine de verre) de 7.5 cm d'épaisseur.

- **Pertes par la face avant :**

(II.5)

Les pertes avant sont beaucoup plus importantes ; elles sont dues aux échanges radiatifs et convectifs.

- **Pertes par rayonnement : (absorbeur – vitrage)**

Il s'agit de deux parois parallèle face à face ; la quantité de chaleur échangée s'écrit :

$$\frac{Q}{A} = \frac{\sigma (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2}} \quad (\text{II.6})$$

Cette formule s'applique pour le calcul du transfert absorbeur – vitre.

: Émissivité des deux surfaces.

(Constante de BOLTZMANN).

(II.7)

- **Pertes par convection : (dans la lame d'air entre absorbeur – vitre)**

(II.8)

Avec :

: Coefficient de transfert par convection.

Plusieurs déterminations ont été proposées pour définir ce coefficient en tenant compte de :

- La température moyenne de l'air.
- De la hauteur de la veine d'air.
- De l'état des surfaces.
- Des températures des surfaces.

Utilisons le nombre de « **NUSSELT** » et le celui de « **GRASHOF** », qui sont introduit par la similitude en mécanique des fluides :

$$\frac{\dots}{\dots^2} \quad (II.9)$$

Avec :

: Conductibilité thermique de l'air.

: Épaisseur de la veine d'air.

g: Accélération de la pesanteur.

: Viscosité cinétique.

: Dilation thermique de l'air.

Pour l'air dans les conditions d'emploi : Pr=0.733 [25] donc :

$$* \frac{\dots}{\dots} :$$

$10^4 < Gr < 10^7 \implies Nu = 0.152 (Gr)^{0.28}$ pour capteurs horizontaux.

$Nu = 0.093 (Gr)^{0.31}$ pour capteurs inclinés de 45°.

Si « Ψ » est l'angle d'inclinaison du capteur sur l'horizontale [25]:

$$Nu = 0.060 - 0.017 (\Psi/90) \cdot (Gr)^{0.33}$$

Pour un capteur incliné de 45°, on trouve $h = 3.5 \text{ W/m}^2\text{°C}$

$$\implies \dots^2$$

En 1987 «Bourhaleb.H» [25]. Présente ces bilans thermiques :

- **Le bilan thermique entre Absorbeur et couverture est :**

$$\frac{\dots}{\dots} \quad (II.9)$$

- :
- Pertes avant par rayonnement entre couverture – environnement [25]:

$$(II.10)$$

- Pertes convectif de la couverture – environnement :

$$(II.11)$$

- **environnement :**

$$(II.12)$$

CHAPITRE II :

Avec :

Émissivité de l'absorbeur (=0.95 peinture noire mat).

Émissivité de la couverture (=0.90 verre de 4mm d'épaisseur).

La formule de Klein est utilisée pour ce calcul [5] :

$$\frac{\dots}{\dots} \dots \dots \dots (II.13)$$

Avec :

$$(II.14)$$

$$^2 (II.15)$$

$\sigma=5.68.10^{-6}w/m^2K$ (constante de BOLTZMANN).

: Inclinaison des capteurs en degrés.

N : Nombre de couvertures.

: Facteur d'émission de l'absorbeur.

: Facteur d'émission de la couverture.

: Coefficient d'échange entre couverture et air extérieur.

: Température moyenne de l'absorbeur en [K].

: Température moyenne de l'air ambiant en [K].

: Température moyenne de ciel.

Dans ce sens, Sartori [44] présente en 2006, une synthèse des principales relations permettant de déterminer ce coefficient de transfert convectif. La plupart de ces coefficients sont de la forme [25]:

$$(II.16)$$

CHAPITRE II :

Ils diffèrent suivant les valeurs des paramètres a , b et n . Ainsi, MacAdams propose la relation suivante, qui est la plus couramment utilisée pour l'étude des capteurs solaires plans [7].

(II.17)

Comme exemple, pour un vent nul,

Pour $V=20\text{km/h}$,

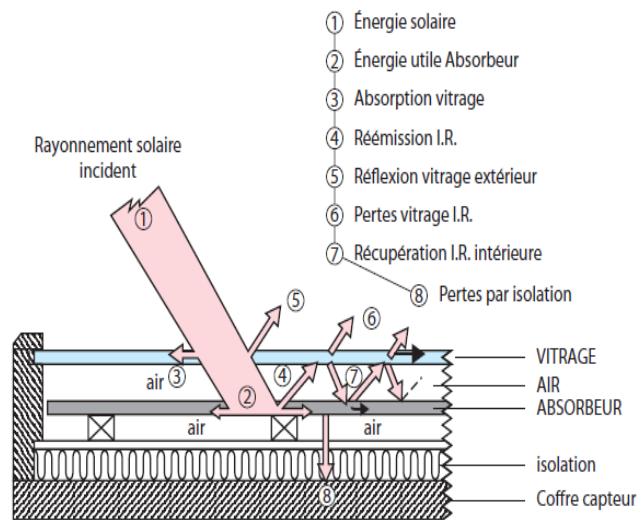


Figure II-5: les pertes thermiques dans un capteur solaire plan [5].

II.3 Modélisation mathématique :

II.3.1 :

Lorsque nous cherchons à décrire un phénomène physique, nous faisons souvent appel à des équations mathématiques pour en modéliser le comportement dans l'espace et dans le temps. Parmi les équations fondamentales qui gouvernent ce processus, on trouve notamment l'équation de conservation de la masse, les équations de Navier-Stokes pour décrire la dynamique des fluides, l'équation de conservation de l'énergie pour les fluides et les solides, ainsi que les équations de la turbulence. Pour rendre la modélisation plus simple et obtenir un modèle mathématique qui soit plus facile à manipuler pour décrire le problème, nous faisons souvent certaines hypothèses simplificatrices : Nous supposons que l'écoulement et le transfert de chaleur se déroulent dans un plan bidimensionnel. Nous considérons que l'écoulement de l'air est turbulent et stationnaire. Les propriétés physiques du fluide (telles que la capacité

CHAPITRE II :

thermique C_p , la viscosité μ , la conductivité thermique λ_f , et la densité ρ) ainsi que celles du solide (conductivité thermique λ_s) sont traitées comme constantes et évaluées à la température du fluide à l'entrée du canal. Nous assumons que le fluide est de type newtonien et incompressible. Les profils de vitesse et de température sont supposés uniformes. Nous considérons que les températures des parois (supérieure et inférieure) restent constantes. Enfin, nous négligeons le transfert de chaleur par rayonnement.

II.3.1.1 Conservation de la masse

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\rho \int_{-R}^R u \, dy \right) + \rho \int_{-R}^R u \, dy \frac{\partial}{\partial x} = 0 \quad (\text{II.1})$$

Où u et v étant les composantes du champ de vitesse dans les directions axiale (x) et radiale (y) respectivement.

II.3.1.2 Conservation de la quantité de mouvement :

- a. Conservation de la quantité de mouvement suivant la direction axiale :

$$\rho \int_{-R}^R u \, dy \frac{\partial}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\rho \int_{-R}^R u^2 \, dy \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\rho \int_{-R}^R uv \, dy \right) - \int_{-R}^R \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial y} \right) dy \quad (\text{II.2})$$

- b. Conservation de la quantité de mouvement suivant la direction radiale :

$$\rho \int_{-R}^R uv \, dy = \frac{\partial}{\partial y} \left(\rho \int_{-R}^R uv^2 \, dy \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\rho \int_{-R}^R uv \, dy \right) - \int_{-R}^R \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial v}{\partial x} \right) dy \quad (\text{II.3})$$

II.3.1.3

- a. Conservation d'énergie dans le fluide :

$$\rho \int_{-R}^R u \, dy \frac{\partial}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\rho \int_{-R}^R u^2 \, dy \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\rho \int_{-R}^R uv \, dy \right) - \int_{-R}^R \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial y} \right) dy \quad (\text{II.4})$$

II.4.1 Méthodes des différences finies

La méthode la plus ancienne dans ce domaine est basée sur un principe fondamental : le domaine d'étude est divisé en un réseau de nœuds dont la finesse est ajustée pour donner une représentation approximative des contours du domaine, puis, pour chaque nœud du maillage, on peut générer un ensemble d'équations algébriques égal au nombre d'inconnus des grandeurs étudiées. [27]

II.4.2 Méthodes des éléments finis

La technique consiste à diviser l'espace en zones élémentaires, où la grandeur souhaitée est exprimée par une approximation polynomiale. On peut constituer ce maillage de triangles ou de rectangles, où les valeurs inconnues aux sommets sont estimées en supposant une variation linéaire dans le domaine étudié. Il est essentiel de mailler l'ensemble de l'espace dans cette méthode, ce qui peut entraîner une consommation considérable de mémoire et des temps de calcul prolongés, ce qui entraîne souvent l'utilisation de stations de travail pour résoudre les problèmes industriels.

II.4.3 Méthodes des volumes finis

La méthode des volumes finis se caractérise par sa capacité à assurer la préservation de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie dans tous les volumes finis et dans l'ensemble du domaine de calcul. Il est également possible de simplifier la résolution des équations de conservation en linéarisant les termes non linéaires, comme les termes sources. Dans cette méthode, le domaine de calcul est divisé en plusieurs volumes, chaque volume entourant un nœud particulier. [27]

II.5 Méthode de résolution des équations de transport

II.5.1 Schéma de discrétisation :

Les systèmes d'équations décrivant les mouvements des fluides sont résolus par notre programme en utilisant la méthode des volumes finis. Trois étapes principales sont suivies dans cette méthode afin de résoudre un problème physique spécifique :

- Premièrement, on divise le domaine de calcul en volumes de contrôle en utilisant un maillage (voir figure II.10).
- Ensuite, on intègre les équations dans chaque volume de contrôle afin de les convertir en équations algébriques.
- Enfin, on résolve les équations ainsi discrétisées.

Ces équations sont présentées de la manière suivante :

CHAPITRE II :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varphi) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho U_i \varphi) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\Gamma_\varphi \frac{\partial \varphi}{\partial x_i} \right) + S_\varphi \quad (\text{II.10})$$

Où φ représente une grandeur intensive telle que ρ ou μ selon le modèle de turbulence utilisé. Γ_φ est un coefficient de diffusion et S_φ un terme de source dont les expressions respectives dépendent du modèle de turbulence choisi. Sous cette forme générale, tous les termes non-convectifs ou non-diffusifs sont inclus dans le terme source S_φ .

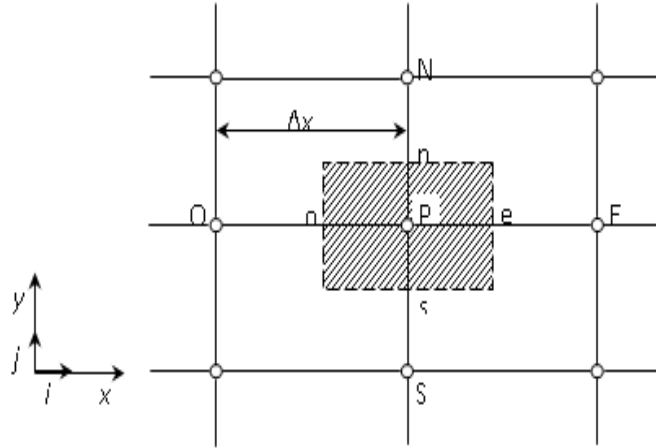


Figure II-6: « Volume de contrôle pour la résolution en volume fini [27] ».

La figure II.10 montre comment les équations de transport sont discrétisées en volumes finis. On évalue les dimensions de l'écoulement au centre de chaque volume de contrôle, représenté par les points : P, E, O, N et S. Les valeurs et les flux de diffusion, de conservation et de convection de ces grandeurs aux frontières du volume de contrôle sont intégrés dans l'intégration de l'équation II.10 dans un volume de contrôle. Il est donc essentiel de connaître les valeurs des grandeurs aux interfaces : e, o, n et s, afin de calculer les grandeurs au point P. Il est possible d'utiliser différentes techniques d'interpolation en ayant connaissance des valeurs au centre des volumes de contrôle adjacents.

Il convient de souligner que bien que l'approximation par différences finies centrées des termes de diffusion au deuxième ordre soit généralement adéquate pour la plupart des problèmes, cette méthode ne donne pas de résultats satisfaisants pour les termes convectifs. En effet, la direction de l'écoulement n'est pas correctement prise en compte par les différences centrées. Ce défaut majeur est illustré par la figure II.11.

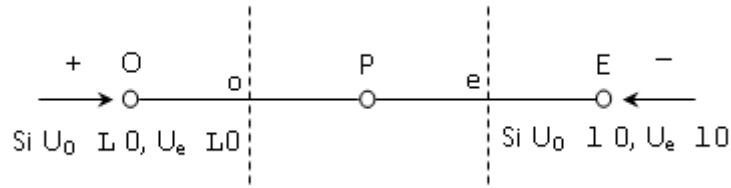


Figure II-7: « Schéma unidimensionnel illustrant un volume élémentaire entourant un

Les valeurs d'une entité φ aux interfaces et o sont déterminées par une approximation linéaire à l'aide des expressions suivantes :

$$\varphi_e = \frac{1}{2}(\varphi_P + \varphi_E) \quad (\text{II.11})$$

$$\varphi_o = \frac{1}{2}(\varphi_O + \varphi_P) \quad (\text{II.12})$$

D'après les deux dernières expressions, on constate que les points en amont et en aval ont le même effet sur le calcul des valeurs à l'interface, peu importe la vitesse de l'écoulement. Cependant, il peut y avoir un important mouvement de gauche à droite (ou inversement) à travers l'interface. Cette formulation n'est plus valable dans ces situations, car elle peut entraîner des instabilités numériques lorsque le transport à travers une face d'un volume de contrôle est plus important que la diffusion. L'importance relative des phénomènes convectifs et diffusifs peut être évaluée en utilisant le nombre de Peclet de maille :

$$Pe_{\text{maille}} = \frac{\rho U \Delta x}{\Gamma_{\varphi}} \quad (\text{II.13})$$

Avec ρ , U , et Γ_{φ} considérés comme constants le long de Δx , on peut observer que lorsque le nombre de Peclet de maille, construit sur la dimension du maillage et la vitesse à l'interface, dépasse 2, la discrétisation centrée des termes convectifs, en régime permanent, engendre des instabilités numériques.

II.5.2 Étapes de résolution du problème :

Les principales étapes utilisées dans notre simulation sont les suivantes :

1. Détermination du domaine de calcul (construction de la géométrie).
2. Discrétisation du domaine de calcul (maillage).
3. Identification des conditions aux limites.
4. Choix du modèle mathématique.

CHAPITRE II :

5. Choix de l'algorithme de solution.
6. Solution du modèle mathématique.
7. Visualisation et interprétation des résultats.

II.6 Présentation du code de calcul

II.6.1 Différentes étapes à suivre pour la modélisation numérique par fluent

Lors de l'élaboration du logiciel de simulation numérique des écoulements FLUENT, il est essentiel de maîtriser certaines notions théoriques fondamentales. Ces concepts portent principalement sur les définitions des équations principales qui régissent le déroulement.

La résolution numérique par FLUENT d'une manière générale, suit les étapes suivantes :

1. Création de la géométrie sous le Logiciel GAMBIT ;
2. Choix de la stratégie de maillage et création de plusieurs grilles ;
3. Définition des conditions aux limites dans GAMBIT ;
4. Définition du problème sous le logiciel FLUENT, étude des différentes grilles de maillage et sélection du maillage retenue ;
5. Calcul avec FLUENT pour les différents cas retenus ;
6. Analyse des résultats obtenus

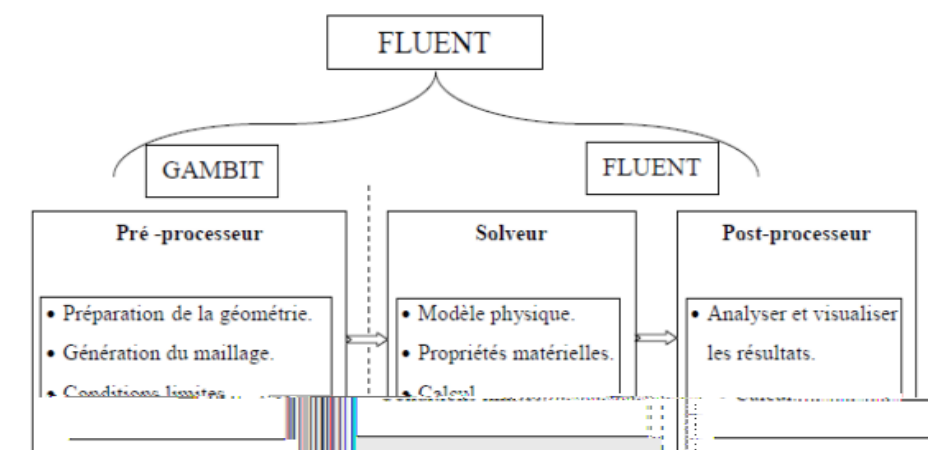


Figure II-8: « Structure de base du code "FLUENT " ».

II.6.2 Présentation de Gambit : [26]

GAMBIT est un logiciel de DAO (Dessin Assisté par Ordinateur) et de génération de maillage. Ce logiciel permet de réaliser des géométries en 2D ou 3D et de construire le maillage. Largement répandus dans l'industrie (automobile, aéronautique, spatiale, ...etc.) en raison de son interface graphique puissante, il permet aussi de réaliser tout type de géométries complexes (fixes ou mobiles) associées à des maillages fixes ou adaptatifs.

II.6.2.1 Choix du maillage :

Le maillage est une partition de l'espace ou d'un domaine en cellules appelées éléments [26]. Le choix du maillage est un point essentiel dans la précision et l'exactitude des résultats numériques. Pour ce faire, on doit déterminer les paramètres optimaux et choisir une stratégie de maillage qui répond à nos objectifs, parmi ces paramètres, on peut citer :

- le nombre de mailles ;
- la distance entre les mailles (concentration des mailles) ;
- la forme de la maille ;
- les paramètres de déformation pour le cas du maillage déformable

Les différentes formes de maillage des faces montrées dans le tableau suivant:

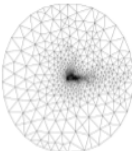
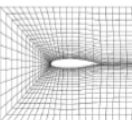
Type des cellules en 2D	La forme de maillage	Exemple
Triangulaire		
Quadrilatérale		

Figure II-9. Les différentes formes de maillage.

Aussi il permet de choisir le type de maillage des faces selon les options suivantes:

Option	Description
Map	Crée une grille régulière et structurée des éléments du maillage.
Sub map	Divise une face en plusieurs régions de façon à ce qu'on puisse leur appliquer Map.
Triprimitive	Divise une face en trois régions quadrilatérales et crée un maillage dans chaque région de la face.

Figure II-10: Description des types de maillages des faces.

II.6.3 Présentation de code FLUENT :

FLUENT est un code de calcul pour simuler les écoulements des fluides et les transferts thermiques dans des géométries complexes. Il peut résoudre des problèmes d'écoulement avec des mailles non structurées, qui peuvent être produites pour des géométries complexes, avec une relative facilité.

Les types de mailles supportées sont :

- Des mailles en 2D, triangulaires ou quadrilatérales ;
- Des mailles en 3D tétraédriques/hexaédriques/pyramidales ;
- Des mailles (hybrides) mixtes.

FLUENT a la capacité de simuler :

- Ecoulements 2D ou 3D ;
- Ecoulement stationnaire ou instationnaire ;
- 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 (conjugue) ou radiatif
- Ecoulements avec changements de phases ;
- Ecoulements en milieu poreux.

FLUENT emploie la méthode des volumes finis comme procédé de discrétisation

précision » pour les écoulements avec des longueurs d'échelles très différentes, comme dans le cas d'un canal très long et mince.

II.6.3.4 Choix de la formulation du solveur

Sous "FLUENT", on peut choisir entre plusieurs formulations du solveur:

- L'expression "Segregated", ou isolée (implicite) : Les équations de continuité, de quantité de mouvement et, si nécessaire, celle de l'énergie sont résolues par cette formulation, en les isolant les unes des autres (implicite par défaut). On utilise généralement un solveur isolé pour les écoulements qui ne sont pas compressibles à modérément compressibles.
- La formulation "Coupled", ou couplée (implicite ou explicite) : Cette possibilité permet de résoudre les équations gouvernantes en même temps, c'est-à-dire en les combinant les unes avec les autres. Toutefois, on traite séparément les autres scalaires, comme les quantités de turbulence. À l'origine, ce mode a été développé pour les flux compressibles à haute vitesse. Cela lui permet de traiter des écoulements étroitement liés (avec une forte interdépendance entre la densité, l'énergie et les moments) avec des forces de volume (telles que la flottabilité et les forces de rotation). Il est important de noter que le solveur couplé implicite nécessite presque autant de mémoire que le solveur isolé, tandis que le solveur couplé explicite se situe au milieu, en ce qui concerne les besoins en ressources, mais converge plus lentement que la formulation implicite et n'est recommandé que pour des raisons spécifiques.

II.6.3.5 Schémas de discrétisation

Dans le mode "FLUENT", il est nécessaire d'interpoler les variables stockées au centre de la cellule aux faces du volume de contrôle. Différents schémas de discrétisation peuvent être sélectionnés pour les termes convectifs des équations gouvernantes, tandis que les termes visqueux sont discrétisés automatiquement au second ordre pour une plus grande précision. La discrétisation au premier ordre permet une convergence améliorée, tandis que le "Second Order Upwind Scheme" est essentiel pour les écoulements qui ne sont pas alignés sur le maillage.

Aussi, il existe d'autres schémas de discrétisation :

- Le schéma "QUICK" (Quadratic Upwind Interpolation for Convective Kinetics) : Avec un maillage régulier, il offre une précision supérieure à celle du schéma au second ordre pour les écoulements rotationnels et tourbillonnaires (Swirling). Il n'est cependant pas conseillé par un maillage triangulaire. Ce modèle employé dans notre recherche.
- Le schéma à loi de puissance "Power Law" : il est plus précis que le "First Order Upwind Scheme" pour les écoulements à très bas nombres de Reynolds.

- Le schéma "third-order MUSCL" : il donne plus de précision que les autres schémas.

II.6.3.6 Choix du schéma d'interpolation de la pression

Dans la plupart des cas, le schéma "Standard" est acceptable pour des écoulements spécifiques. On peut choisir parmi les options suivantes :

- Le schéma force de volume pondéré "Body-Force-Weighted" est recommandé pour les écoulements impliquant d'importantes forces de volume (par exemple convection naturelle à haut nombre de Rayleigh).
- Le schéma "PRESTO" (Pressure Staggering Option) est approprié pour les écoulements hautement tourbillonnaires à grande vitesse de rotation, ou les écoulements dans des domaines fortement courbés.
- Le schéma au "Second Ordre" est utilisé pour les écoulements compressibles et pour améliorer la précision en écoulements incompressibles.
- Le schéma linéaire "Linear" est disponible comme alternative dans le cas où les autres options ont des difficultés de convergence ou génèreraient des comportements non physiques.

II.6.3.7 Choix de la méthode de couplage Pression-Vitesse

Lorsque les vitesses sont définies aux nœuds d'un volume de contrôle ordinaire (comme les autres scalaires tels que la pression et la température), il est prouvé qu'un champ de pression hautement non uniforme agit comme un champ uniforme sur les équations de quantité de mouvement discrétisées. La réponse consiste à définir les vitesses sur une grille décalée appelée "Staggered grid" et à utiliser des algorithmes tels que "SIMPLE" afin de résoudre cette relation ou connexion entre la pression et la vitesse. La famille des algorithmes "SIMPLE" consiste principalement en une méthode "d'estimation et de correction" pour évaluer la pression sur la "grille décalée" des éléments de la vitesse. [26]

"FLUENT" propose trois méthodes pour le couplage pression-vitesse (seulement avec la formulation "Segregated") :

- Les deux premières, très similaires, sont la méthode "SIMPLE" (Semi-Implicit Method for a Pressure Linked Equations) et la méthode "SIMPLEC" (SIMPLE Consistent). Cette dernière méthode se différencie de la première par le fait qu'on peut lui assigner un facteur de relaxation (correction) de pression proche de 1, ce qui accélère la convergence dans la plupart des cas, mais peut conduire à des instabilités de la solution.
- Méthode "PISO" (Pressure-Implicit with Splitting of Operators): Cette méthode fait partie des algorithmes de la famille "SIMPLE". Elle est recommandée pour

CHAPITRE II :

les écoulements instationnaires ou pour les maillages contenant des cellules très obliques "highly skewed".

Une fois que les paramètres de FLUENT ont été sélectionnés, on passe à la prochaine étape, qui consiste à lancer les calculs et à analyser et interpréter les résultats.

II.6.4 Forme linéaire de l'équation discrétisée

La variable inconnue ϕ au centre de la cellule ainsi que les valeurs des cellules voisines jouent un rôle dans l'équation du transport. En réalité, l'équation du transport pour ces inconnues n'est pas linéaire, mais elle adopte la forme linéaire suivante pour une simplification accrue :

$$(II.16)$$

Où (nb) réfère aux cellules voisines et a_p et a_{nb} sont les coefficients linéaires pour ϕ et ϕ_{nb} le nombre des cellules voisines pour chaque cellule dépend de la topologie de la maille ; en général il est égal au nombre des faces qui entourent la cellule.

Les équations linéaires qui diffèrent par les coefficients a_p et a_{nb} pour chaque cellule seront résolues en tant que système linéaire en utilisant la méthode implicite itérative de (Gauss Seidel) en combinant une méthode appelée (AMG) (algebraic multi Grid).

II.6.5 Sous relaxation :

En raison de la nature non linéaire de l'équation à résoudre par FLUENT, il est essentiel de surveiller la fluctuation de la variable ϕ . La sous-relaxation permet d'atteindre cet objectif en réduisant le changement de ϕ produit lors de chaque itération. Le changement de ϕ pour une cellule définie est lié à la valeur ancienne ϕ_{old} , $\Delta\phi$ est le changement de ϕ et α est le facteur de sous-relaxation :

$$(II.17)$$

II.6.6 Conditions aux limites :

La résolution par une méthode analytique ou numérique de l'équation de transport convecto-diffusif nécessite la détermination de ses conditions initiales et aux limites.

Pour le code Fluent les types disponibles des conditions aux limites sont classés comme suite :

a) Conditions d'entrée et de sortie de l'écoulement : pression d'entrée (pressure inlet), vitesse de l'entrée (velocity inlet), débit massique à l'entrée (mass flow inlet), admission (intake), pression de sortie (pressure outlet) ; sortie (outflow), champ de pression lointain (pressure far-field), échappement (exhaust).

CHAPITRE II :

b) Mur et conditions du pole : mur (wall), axe de symétrie (axis), conditions périodique, plan de symétrie (symétrie).

c) Cellules des zones internes : fluide ou solide (de différent type).

d) Condition des faces internes : ventilation, radiation, mur intérieur. Mais si on parle d'une façon plus générale nous aurons quatre types de conditions aux limites ou chacun d'eux nécessite une étude approfondie :

- à l'entrée du domaine : la valeur du variable est connue.
- à la sortie du domaine : soit qu'en connaît la valeur du variable donné ou on suppose que le régime est établi.
- à la paroi : soit on connaît la valeur de la variable posée (la vitesse ou la température par exemple), soit on connaît d'autres grandeurs physiques (gradient de vitesse, flux thermique).

Sur l'axe de symétrie : où le gradient de la variable posé suivant la direction perpendiculaire à l'axe de symétrie est nul. [27]

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'analyse théorique du capteur solaire plan à air (les éléments, les évaluations thermiques...) ainsi que le code de calcul FLUENT, la méthode de volume fini, les modèles de fermeture, la sélection de différents modèles d'interpolations, ainsi que les différentes conditions auxquelles ce code de calcul offre des limites.

Chapitre III.

Résultats et discussion

III.1 Problématique :

Jusqu'à présent, des études approfondies sont menées afin de réduire les pertes thermiques et optiques d'une part, et d'augmenter le transfert de chaleur entre l'absorbeur et le fluide caloporteur d'autre part. En général, cette augmentation est obtenue grâce à des chicanes qui empêchent le passage du fluide caloporteur. Cela entraînera une augmentation des pertes de charges dans la circulation fluide du capteur. Dans cette étude, des chicanes triangulaires au tête sont intégrées dans la veine fluide du capteur solaire, ce qui permet au fluide caloporteur de circuler à l'intérieur de ces absorbeurs, ce qui permet de réduire les pertes de charges linéaires au niveau des parois de la conduite du capteur.

L'aérodynamique interne est étudiée dans le but de maintenir le fluide caloporteur toujours dirigé vers l'absorbeur en lui imposant une orientation appropriée à ses chicanes, ce qui permet de gagner un maximum de calories.

Trois types de l'absorbeur seront examinés pour trois vitesses différentes : $v=1$ m/s et $v=8$ m/s :

- 1- Un modèle de capteur solaire sans chicane (modèle classique),
- 2- Un modèle de capteur avec quatre chicanes.
- 3- Un modèle de capteur avec neufs chicane.

III.2

III.2.1

III.2.1.1 Présentation de la géométrie :

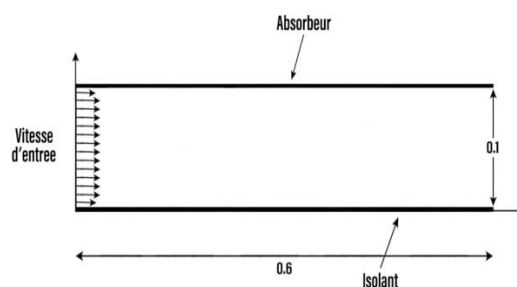


Figure III-1 : la géométrie étudiée sans chicanes

III.2.1.2 Description de la géométrie sans chicanes :

La longueur du capteur : $L = 0.6 \text{ m}$

L'espace entre l'absorbeur et l'isolant : $h = 0.1 \text{ m}$

III.2.2

III.2.2.1 Présentation de la géométrie :

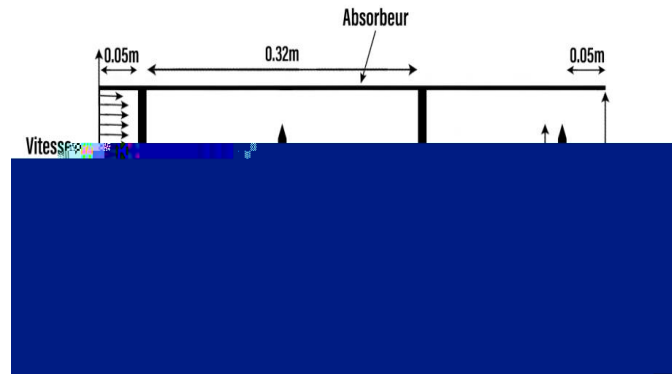


Figure III-2: la géométrie étudiée avec quatre chicanes.

III.2.2.2 Description de la géométrie 4 chicanes :

La longueur du capteur : $L = 0.6 \text{ m}$

La hauteur des chicanes : $h_{chi} = 0.08 \text{ m}$

L'espace entre l'entrée et la chicane supérieure : $L_1 = 0.05 \text{ m}$

L'espace entre les deux chicanes : $L_2 = 0.32 \text{ m}$

L'espace entre la chicane inférieure et la sortie : $L_3 = 0.05 \text{ m}$

L'espace entre l'absorbeur et l'isolant : $h = 0.1 \text{ m}$

L'épaisseur des chicanes : $e_{chi} = 0.01 \text{ m}$.

III.2.3 E

neuf chicanes :

III.2.3.1 Présentation de la géométrie

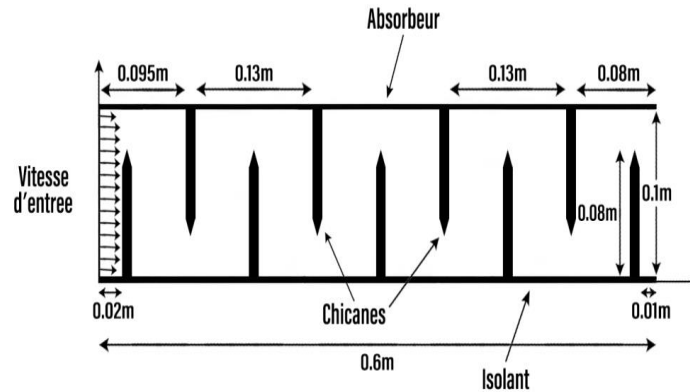


Figure III-3: la géométrie étudiée avec neuf chicanes.

III.2.3.2 Description de la géométrie 9 chicanes :

La longueur du capteur : $L = 0.6 \text{ m}$

La hauteur des chicanes : $h_{chi} = 0.08 \text{ m}$

L'espace entre l'entrée et la chicane supérieure : $L_1 = 0.095 \text{ m}$

L'espace entre les deux chicanes : $L_2 = 0.13 \text{ m}$

L'espace entre la chicane inférieure et la sortie : $L_3 = 0.01 \text{ m}$

L'espace entre l'absorbeur et l'isolant : $h = 0.1 \text{ m}$

L'épaisseur des chicanes : $e_{chi} = 0.01 \text{ m}$

III.3 Discussion:

La couverture en polycarbonate transparente est composée d'une paroi doublée en polycarbonate transparente de 6mm d'épaisseur est séparée par une lame d'air statique, ce qui réduit les pertes vers l'avant.

Les travaux de simulation sont classés en trois catégories pour chaque type de l'absorbeur :

- Première catégories : la vitesse d'entrée est $V = 1 \text{ m/s}$.
- Deuxième catégorie : la vitesse d'entrée est $V = 8 \text{ m/s}$.

III.3.1 La première catégorie :**III.3.1.1 Les conditions aux limites :**

La vitesse de l'air à l'entrée : $v_e = 1 \text{ m/s}$

La température de l'air à l'entrée : $T_e = 279^\circ\text{K}$

L'énergie cinétique turbulente à l'entrée : $k = 4.3 * 10^{-4} \text{ (m}^2 \text{ s}^{-2})$

L'énergie de dissipation à l'entrée : $\varepsilon = 2 * 10^{-8} \text{ (m}^3 \text{ s}^{-3})$

Le flux de la paroi supérieure : $\Phi = 650 \text{ W/m}$

La température de l'isolant et de la chicane inférieure : $T_{iso} = 370^\circ\text{K}$

La pression à la sortie : $P_s = P_{atm}$

III.3.1.2 Champ de vitesse :

Le champ de la vitesse longitudinale le long du conduit illustré par la figure (III.1) est représenté dans la figure (III.2).

Plusieurs phénomènes physiques caractérisant cet écoulement ont été capturés par le calcul, notamment ce qui suit :

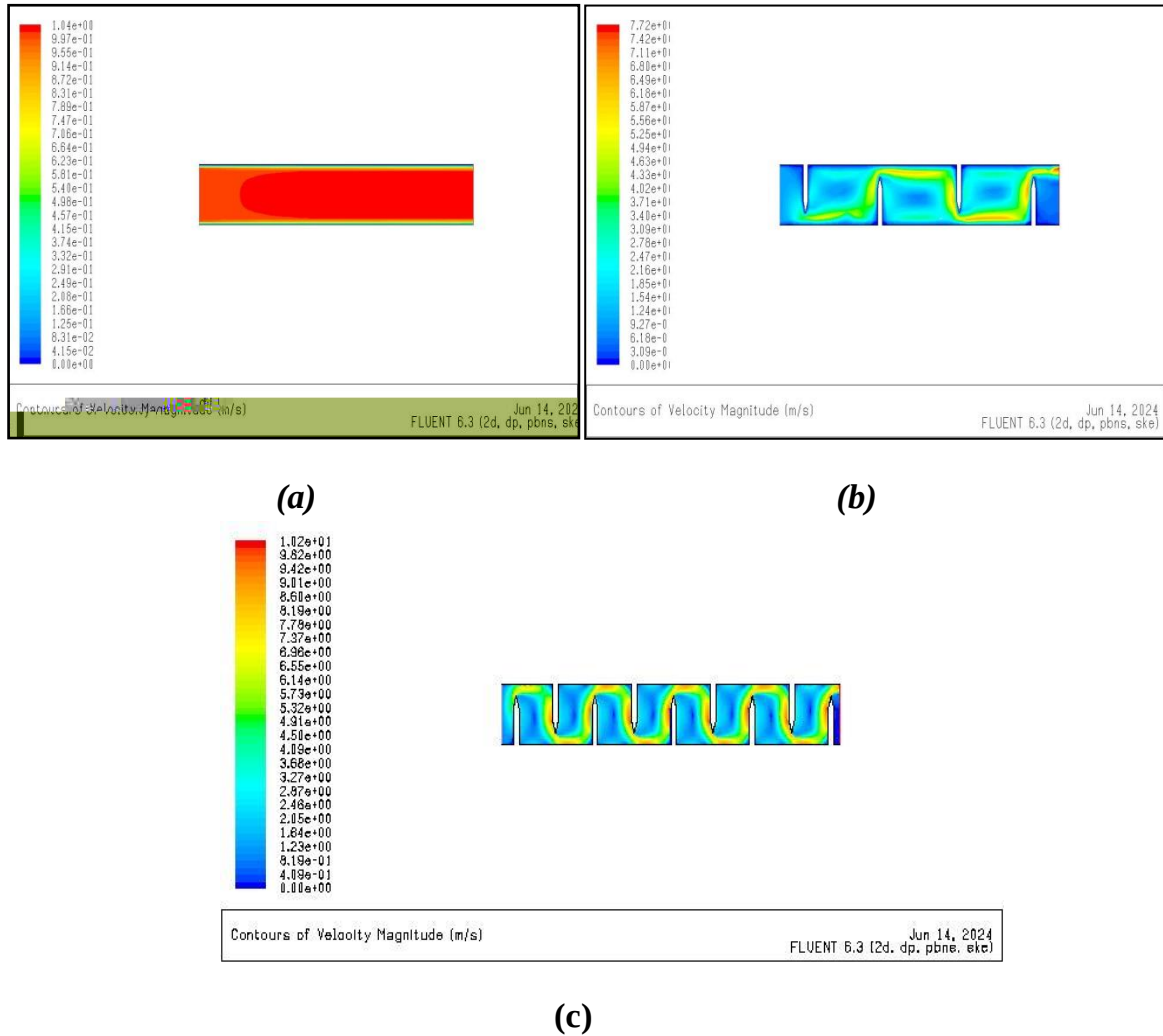


Figure III-4

- (a) Capteur sans chicanes.
- (b) Capteur avec quatre chicanes.
- (c) Capteur avec 9 chicanes.

Discussions :**a/- Sans chicanes :****Distribution de la Vitesse :**

Entrée : À l'entrée, la vitesse de l'air est uniforme, indiquant que l'air s'introduit de manière homogène dans le capteur avec une vitesse initiale de 1 m/s.

Centre : En progressant vers le centre du capteur, nous observons une augmentation progressive de la vitesse. Ceci peut être attribué à l'effet de chauffage de l'absorbeur, qui provoque l'expansion thermique de l'air et donc une augmentation de sa vitesse.

Sortie : À la sortie, la vitesse atteint un maximum dans la partie supérieure, indiquée par les teintes rouges. Cette zone de haute vitesse peut être due à l'effet combiné du réchauffement et de l'accélération de l'air se dirigeant vers la sortie du capteur.

Effet de l'Isolation :

L'isolation sur le côté inférieur du capteur empêche les pertes de chaleur vers le bas, maximisant ainsi l'efficacité de transfert de chaleur vers l'air. Cette isolation aide à maintenir un gradient de température plus élevé entre le haut (absorbeur) et le bas du capteur, favorisant ainsi une convection plus forte et une augmentation de la vitesse de l'air à mesure qu'il se déplace vers la sortie.

Effet du flux de chaleur :

Le flux solaire de 650 W/m^2 chauffe l'absorbeur, et l'air entrant à 279K (6°C) est progressivement chauffé en traversant le capteur. Cela contribue également à l'augmentation de la vitesse de l'air due à la réduction de la viscosité avec l'augmentation de la température.

Profil de Température et de Vitesse :

Le contraste entre les vitesses d'entrée (279 K) et de sortie (310 K) démontre l'efficacité de l'absorbeur et de la configuration isolante du capteur. La différence de température induit une accélération du flux d'air au fur et à mesure qu'il se déplace vers la sortie, où la température et la vitesse atteignent leur maximum.

b/- Quatre chicanes :**Effets des chicanes :**

L'augmentation observée de la vitesse de l'air au sommet des chicane est principalement due à l'effet de contraction. Lorsque l'air passe autour et au-dessus des chicane, les passages se rétrécissent, ce qui, selon le principe de continuité, nécessite une augmentation de la vitesse pour que le débit massique reste constant. De plus, le passage étroit peut augmenter la turbulence ou la vitesse locale due à la réduction de l'espace pour le passage de l'air.

Les chicane perturbent le flux d'air linéaire, provoquant des déviations et augmentant les interactions fluide-surface, ce qui peut contribuer à un transfert de chaleur plus efficace mais aussi à des variations de vitesse locales plus complexes.

La disposition des chicane influence la distribution de la vitesse de l'air à travers le capteur solaire. Les chicane créent des zones de faible pression à leurs sommets, ce qui aspire l'air environnant et accélère son mouvement. De plus la géométrie des chicane favorise la formation de tourbillons ce qui augmente encore la turbulence et la vitesse de l'air.

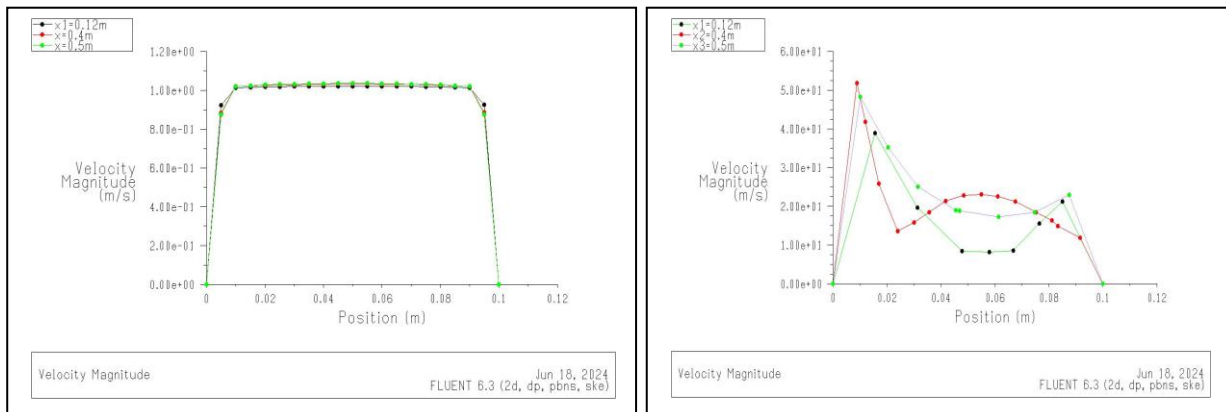
c/- Neufs chicane :

Distribution de la vitesse : Les variations de couleur dans l'image indiquent différentes magnitudes de vitesse, allant de 0 m/s (couleur bleue foncée) à plus de 35 m/s (couleur rouge). Les zones de haute vitesse près des chicane (rouge et jaune) suggèrent une forte turbulence, ce qui est favorable à l'échange thermique en perturbant la couche limite d'air stagnant qui pourrait isoler thermiquement l'absorbeur.

Impact des chicane : Les chicane modifient le parcours de l'air, forçant celui-ci à circuler de manière plus complexe, ce qui augmente le temps de contact air-absorbeur, essentiel pour l'amélioration du transfert de chaleur. Les zones de faible vitesse (bleu clair) entre les chicane peuvent indiquer où l'air a moins d'énergie cinétique, permettant une absorption plus efficace de la chaleur de l'absorbeur chauffé par un flux de 650 watts/m².

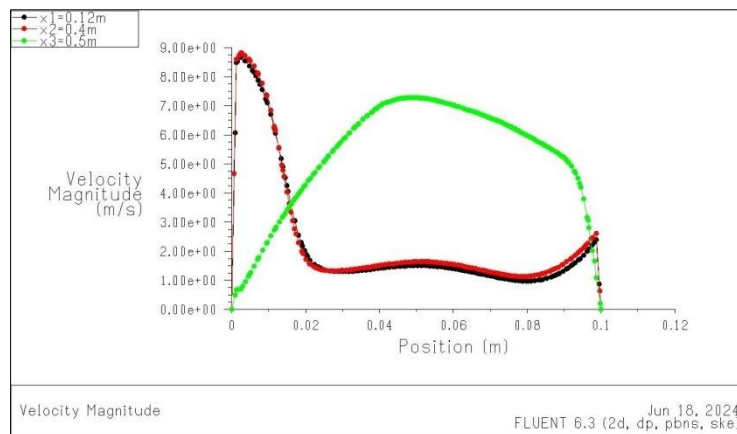
Conditions de fonctionnement et performance : Avec une température d'entrée de 279 K et une température de sortie de 310 K, notre système élève la température de l'air de 31 K, ce qui démontre une bonne capacité de réchauffement de l'air passant à travers le capteur. La présence de l'isolant en bas du capteur aide probablement à minimiser les pertes de chaleur, rendant le système plus efficace.

III.3.1.3 Profil de vitesse :



(a)

(b)



(c)

Figure III-5

(a) capteur sans chicanes.

(b) Capteur avec quatre chicanes.

(c) Capteur avec neuf chicanes.

Interprétation :**a/- sans chicanes :**

Courbe à $x = 0.2$ m (noire) : Cette courbe montre une augmentation de la vitesse de l'air, allant d'environ 0.8 m/s vers 1m/s aux niveaux de 0.01m jusqu'à atteindre la vitesse maximale 1.02m/s vers le centre. Ce profil peut indiquer que la distribution de l'air est relativement uniforme sur la majeure partie de la largeur du capteur, mais qu'elle accélère légèrement loin des bords.

Courbe à $x = 0.4$ m (rouge) : Cette courbe montre une augmentation de la vitesse de l'air, allant d'environ 0.7 m/s vers 1m/s aux niveaux de 0.01m jusqu'à atteindre la vitesse maximale 1.05/s vers le centre.

b/- quatre chicanes :

Courbe à $x = 0.14$ m (verte) : Cette courbe démontre un profil de vitesse intéressant avec un pic initial suivi d'une diminution, ce qui suggère une accélération rapide de l'air en réaction à la première chicane, induisant une turbulence significative. La décroissance rapide qui suit pourrait indiquer une stabilisation du flux d'air, où la vitesse diminue à mesure que l'air avance, interagissant avec les chicanes successives, et échange de la chaleur avec l'absorbeur.

Courbe à $x = 0.48$ m (rouge) : Cette courbe présente également un pic initial, mais avec une augmentation et une diminution moins prononcées comparée à la courbe verte. Cela suggère que bien que l'air soit également accéléré par les chicanes à cette position.

c/- neufs chicanes :

Courbe à $x = 0.13$ m (rouge) : la vitesse de l'air augmente rapidement puis diminue, reflétant une forte interaction initiale avec les premières chicanes qui génère de la turbulence. Cette perturbation initiale est suivie d'une stabilisation du flux d'air, à mesure qu'il interagit avec les chicanes suivantes et échange de la chaleur avec l'absorbeur.

Courbe à $x = 0.35$ m (vert) : le profil de vitesse montre des fluctuations importantes, avec des pics et des creux qui indiquent des interactions dynamiques continues entre l'air et les chicanes. L008869 pics pe

la vitesse vers la fin du parcours peut également indiquer une augmentation de la résistance aérodynamique ou un épuisement de l'énergie disponible.

III.3.1.4 Champ de Température :

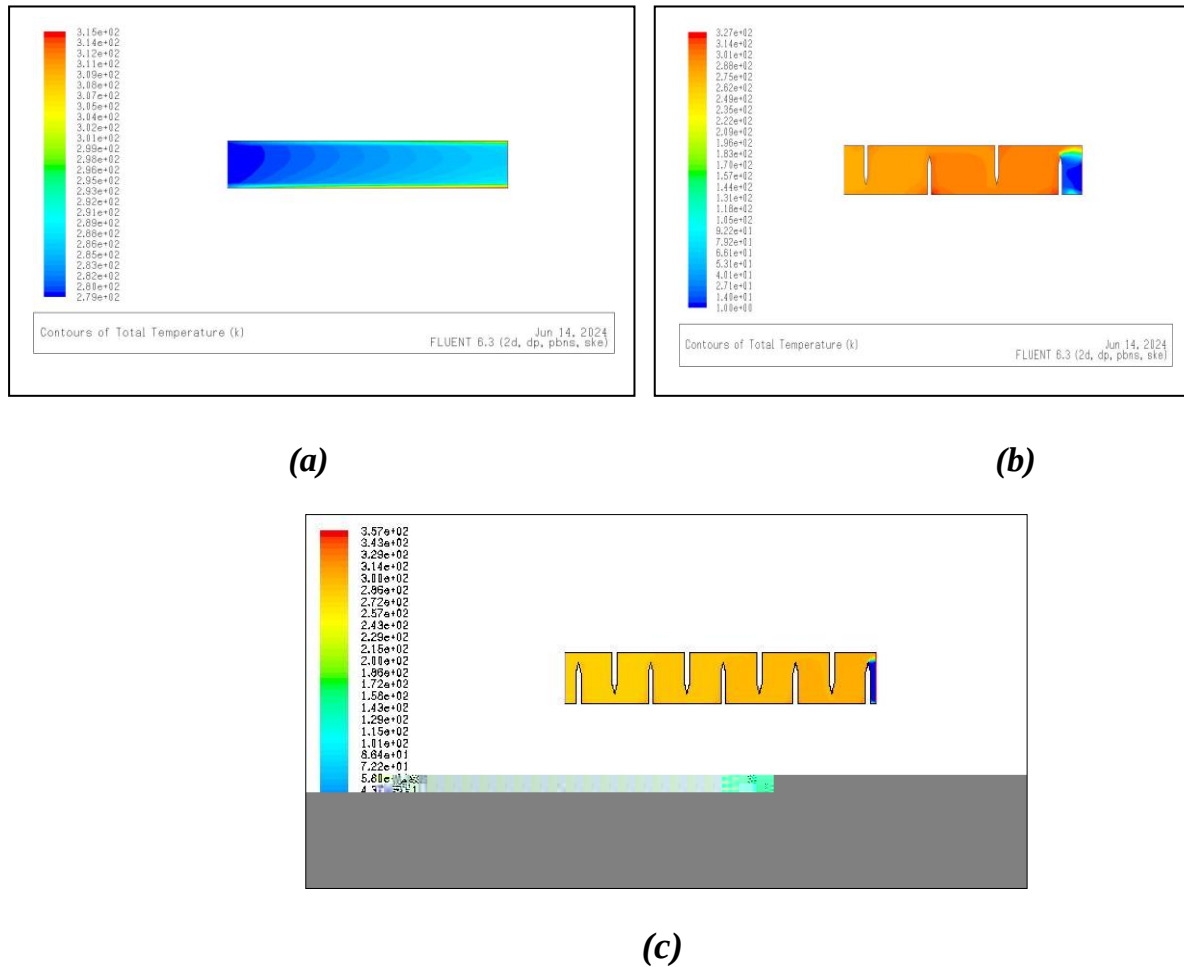


Figure III-6

(a) Capteur sans chicanes.

(b) Capteur avec quatre chicanes.

(c) Capteur avec 9 chicanes.

Discussions :

a/- Sans chicanes

Distribution de la température : Le graphique montre une Abaissement progressive de la température allant du rouge au bleu, indiquant une augmentation de la température de l'air à mesure qu'il se déplace à travers le capteur. La zone la plus froide près de l'entrée du capteur, où l'air entre à 279 K, se réchauffe progressivement grâce à l'absorbeur par un flux de 650 watts/m² et l'isolant chauffé à 370 K.

Zones de température élevée : au niveau de l'absorbeur les régions les plus chaudes (rouges et oranges) se situent vers le milieu et vers la sortie du capteur, ce qui suggère que l'air atteint sa température maximale à ces endroits.

b/- quartes chicanes :

Variation de la Température : Le gradient de couleur du bleu au rouge indique une augmentation de la température de l'air à mesure qu'il se déplace à travers le capteur.

Effet des Chicanes : Les chicanes visibles comme des interruptions dans le flux de l'air, semblent jouer un rôle crucial dans le mélange de l'air et la répartition de la chaleur. À chaque chicane, on observe des variations de température indiquant une turbulence accrue, ce qui est bénéfique pour un transfert de chaleur plus uniforme et efficace. Après chaque chicane, la température semble plus uniforme, suggérant que l'air a bien absorbé la chaleur de l'absorbeur.

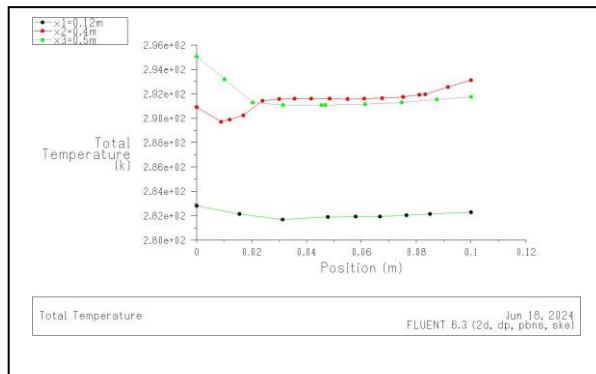
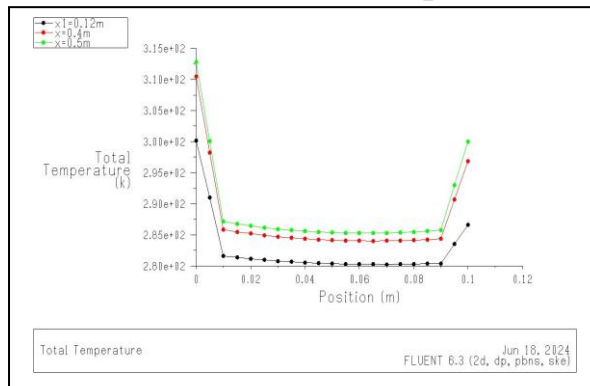
Zones de Haute Température : Les zones les plus chaudes près de la sortie du capteur montrent que l'air a atteint ou est proche de sa température maximale de sortie prévue de 310 K. Cela démontre l'efficacité du capteur à utiliser le flux thermique de l'absorbeur pour chauffer l'air jusqu'à la température désirée.

c/- neufs chicanes :

Distribution de température : Avec neuf chicanes, la distribution de la température montre plus de variations locales et des pics de température plus élevés, surtout après les chicanes. Cette configuration semble produire une meilleure homogénéisation de la température à travers le capteur.

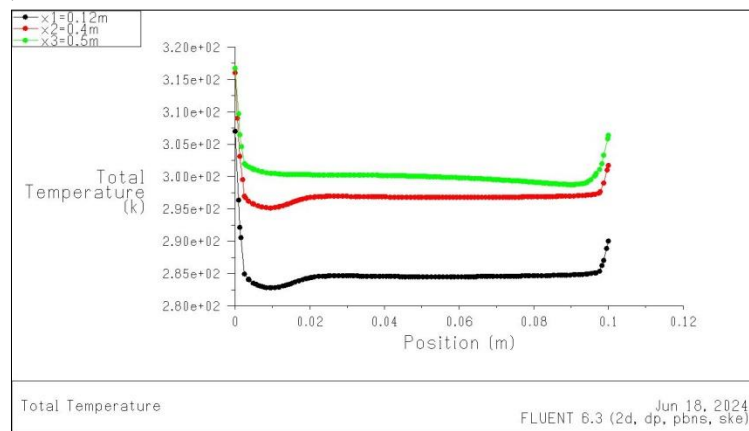
Impact des chicanes : Le nombre accru de chicanes crée plus de perturbations dans le flux d'air, améliorant potentiellement le transfert de chaleur en augmentant la turbulence, ce qui est visible par les pics plus fréquents et plus élevés de température.

III.3.1.5 Profil de Température :



(a)

(b)



(c)

Figure III-7

(a) Capteur sans chicanes.

(b) Capteur avec quatre chicanes.

(c) Capteur avec neufs chicanes.

Interprétation :

a/- sans chicane :

Courbe à $x = 0.2$ m (noire) : La courbe noire commence avec une température d'environ 303 K à 0.002m, suggérant le point près de bord inférieur. Rapidement la température diminue pour atteindre 285 K environ à 0.01 m, puis se stabilise presque à 282 K sur le reste de la largeur jusqu'à 0.09 m. puis une légère augmentation de la température à 290 K par l'absorbeur situé au-dessus qui est chauffé par le flux solaire

Courbe à $x = 0.4$ m (rouge) : De manière similaire La courbe rouge commence avec une température d'environ 313 K à 0.002m, suggérant le point près de bord inférieur. Rapidement la température diminue pour atteindre 290 K environ à 0.01 m, puis se stabilise presque à 285 k sur le reste de la largeur jusqu'à 0.09 m. puis une légère augmentation de la température à 300 k par l'absorbeur situé au-dessus qui est plus chauffé par le flux solaire.

b/-quatre chicanes :

Courbe à $x = 0.14$ m (verte) : La courbe verte indique que la température commence aux alentours de 287 k (position verticale zéro) et une légère diminution atteignant près de 285 K à mesure que la largeur augmente. Après elle retourne à la température de 287 k à 0.1m.

Courbe à $x = 0.48$ m (rouge) : La courbe rouge indique que la température commence aux alentours de 301 k (position verticale zéro) et une légère diminution atteignant près de 298 K à mesure que la largeur augmente, et presque elle se stabilise à 299 k sur le reste de la largeur jusqu'à 0.1 m.

c/- neufs chicanes :

Courbe à $x = 0.14$ m (noire) :

Cette courbe débute à environ 445 K et décroît rapidement à mesure qu'on s'éloigne du bord inférieur du capteur puis elle se stabilise à 290 k jusqu'à 0.1m. La diminution rapide pourrait être attribuée à la dissipation de la chaleur dans l'air ou à une moins bonne captation de la chaleur par l'air à mesure qu'il monte.

Courbe à $x = 0.35$ m (rouge) :

La courbe rouge commence également à une température élevée (environ 400 K) et montre une décroissance similaire, bien que la température initiale soit légèrement inférieure à celle de la première position. Puis elle se stabilise à 310 k jusqu'à 0.1m.

III.3.1.6 La dissipation turbulente :

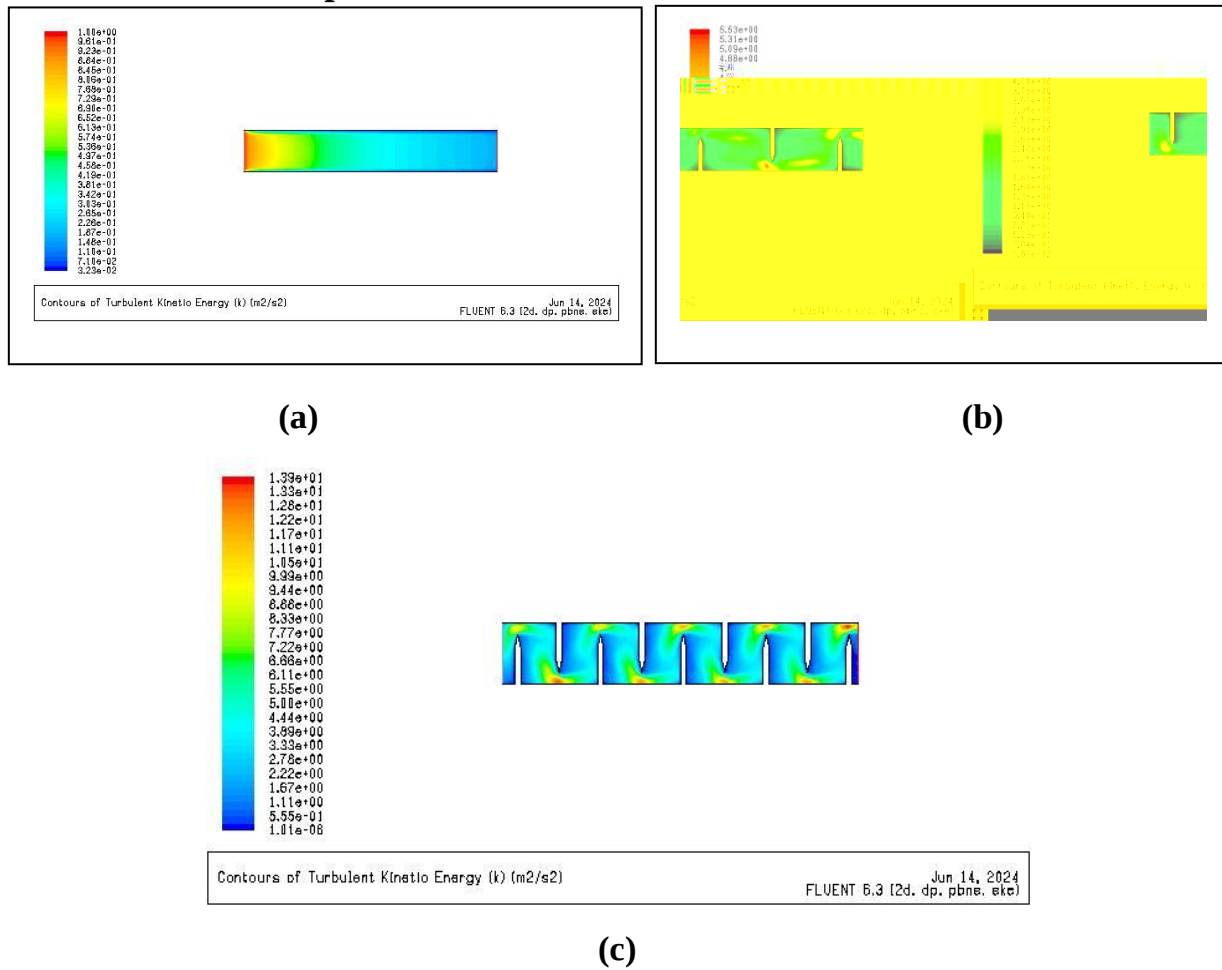


Figure III-8: contour de la dissipation turbulente du 1ère catégorie (v

(a) Capteur sans chicanes.

(b) Capteur avec quatre chicanes.

(c) Capteur avec neuf chicanes.

Discussions :

a/-Sans chicanes :

Distribution de l'énergie cinétique turbulente :

La plus haute énergie cinétique turbulente est observée près de l'entrée du capteur, où la couleur est proche du rouge, indiquant une valeur d'environ $1 \text{ m}^2/\text{s}^2$. Cela est typique car l'air entrant, en rencontrant un changement soudain de température et de vitesse, génère initialement une forte turbulence.

En progressant vers la sortie du capteur, l'énergie cinétique turbulente diminue progressivement, passant par une transition de couleurs chaudes à des couleurs plus froides, ce qui suggère une réduction de la turbulence. Cela peut être dû à la stabilisation du flux d'air et à l'augmentation de la température de l'air, qui tend à réduire la turbulence en augmentant la viscosité du fluide.

b/- quatres chicanes :

Localisation et Effets des Chicanes :

Les chicanes sont clairement visibles comme des zones où l'énergie cinétique turbulente est élevée, indiquées par des couleurs plus chaudes (jaunes à rouges). Ces augmentations suggèrent que les chicanes induisent de la turbulence, comme prévu, pour améliorer le mélange de l'air et optimiser le transfert de chaleur de l'absorbeur vers l'air.

Entre les chicanes, la turbulence diminue, comme montré par les zones bleues à vertes, indiquant une énergie cinétique plus basse. Cela est typique car les zones loin des chicanes ne sont pas directement influencées par les perturbations mécaniques générées par les chicanes.

c/-neufs chicanes :

Augmentation de la Turbulence: Avec neuf chicanes, il y a une présence plus continue de turbulence à travers le capteur. Cela suggère une interaction plus fréquente entre le flux d'air et les chicanes, ce qui améliore le transfert de chaleur en raison du mélange plus intensif de l'air.

Points de Haute Turbulence: Les zones de très haute turbulence, notamment près de la sortie, suggèrent que les chicanes additionnelles augmentent significativement l'agitation de l'air, ce qui pourrait être bénéfique pour le chauffage de l'air .

III.3.1.7 Le profil de la dissipation turbulente :

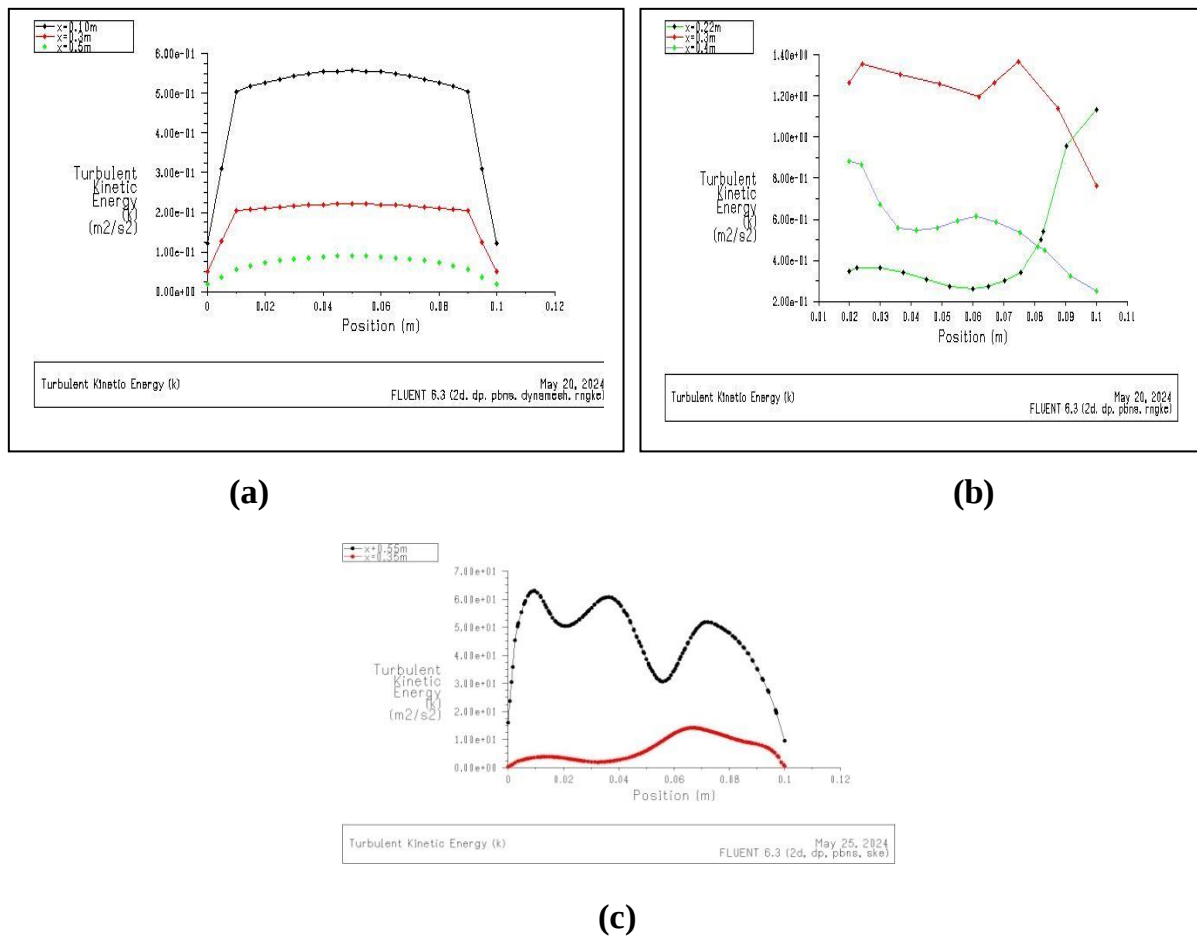


Figure III-9

(a) Capteur sans chicanes.

(b) Capteur avec quatre chicanes.

(c) Capteur avec neuf chicanes.

Interprétations :

a/- Sans chicanes :

Courbe à $x = 0.1\text{ m}$ (noire) :

Cette courbe montre que l'énergie cinétique turbulente augmente rapidement jusqu'à atteindre un pic à environ 0.05 m avant de diminuer abruptement. Cette augmentation peut indiquer une zone de forte turbulence à l'entrée du capteur, probablement causée par l'impact initial de l'air froid entrant à une vitesse de 1 m/s et se heurtant à un environnement plus chaud.

Courbe à $x = 0.3$ m (rouge) :

La courbe rouge montre un niveau inférieur d'énergie cinétique turbulente comparée à la première position. La turbulence augmente légèrement au début avant de se stabiliser. Cela peut refléter une diminution de l'impact des perturbations initiales ou une adaptation du flux d'air à l'environnement du capteur, résultant en un flux plus laminaire.

Courbe à $x = 0.5$ m (verte) :

À cette position, l'énergie cinétique turbulente est nettement plus basse et reste relativement constante sur toute la distance mesurée. Cette uniformité et faible intensité de la turbulence suggèrent que l'air a presque complètement transitionné vers un régime laminaire, ou que les perturbations ont été largement dissipées.

b/- Quatres chicanes :**Courbe à $x = 0.22$ m (verte) :**

La courbe commence par des valeurs basses d'énergie cinétique turbulente, Au fur et à mesure l'énergie cinétique reste faible, indiquant que le flux d'air est stable et peu perturbé par les chicanes ou d'autres facteurs structurels jusqu'à environ 0.08 m.

Vers le haut on observe une augmentation significative de l'énergie cinétique turbulente. Cette hausse peut indiquer que l'air interagit plus intensément avec une chicane ou que le flux d'air rencontre une résistance accrue, augmentant ainsi la turbulence.

Courbe à $x = 0.3$ m (rouge) :

La courbe commence par une valeur relativement élevée de l'énergie cinétique turbulente, indiquant une turbulence significative au début. Cela dû à l'interaction initiale de l'air avec la chicane la plus proche.

Ensuite, l'énergie cinétique turbulente se stabilise à un niveau inférieur, mais reste notable. Ce niveau peut refléter un état d'équilibre où la turbulence est maintenue par la conception du capteur et la position des chicanes.

Vers le haut de la plage mesurée, il y a une chute nette de l'énergie cinétique turbulente. Cette diminution pourrait être liée à une zone où les effets des chicanes deviennent moins prononcés.

Courbe à $x = 0.4$ m (gris) :**0.02 m à 0.05 m :**

La courbe commence par une valeur initialement élevée, indiquant une zone de forte turbulence. Ce niveau élevé attribué aux interactions entre l'air et la chicanes.

0.06 m à 0.1 m :

On observe une diminution de l'énergie cinétique turbulente. Cette baisse progressive vers le haut du capteur a $0.25\text{m}^2/\text{s}^2$

c/- Neufs chicanes :**Courbe à $x = 0.35$ m (rouge):**

L'énergie cinétique turbulente est relativement faible et augmente légèrement à mesure que la position s'éloigne de l'isolant . Le pic d'énergie est très modeste, ce qui indique que la turbulence à cette position est relativement faible sur l'ensemble de la gamme de positions.

Courbe à $x = 0.55$ m (noir):

Cette courbe montre une énergie cinétique turbulente beaucoup plus élevée, avec plusieurs pics indiquant des variations significatives de la turbulence. Cela suggérer une plus grande instabilité du fluide à cette position.

III.3.2 La deuxième catégorie :**III.3.2.1 Les conditions aux limites :**

La vitesse de l'air à l'entrée : $v_e = 8\text{m/s}$

La température de l'air à l'entrée : $T_e = 279^\circ\text{K}$

L'énergie cinétique turbulente à l'entrée : $k = 4.3 * 10^{-4} \text{ (m}^2\text{/s}^2\text{)}$

L'énergie de dissipation à l'entrée : $\varepsilon = 2 * 10^{-8} \text{ (m}^3\text{/s}^3\text{)}$

Le flux de la paroi supérieure : $\Phi = 650 \text{ w/m}$

La température de l'isolant et de la chicane inférieure : $T_{iso} = 370^\circ\text{K}$

La pression à la sortie : $P_s = P_{atm}$

III.3.2.2 Champ de vitesse :

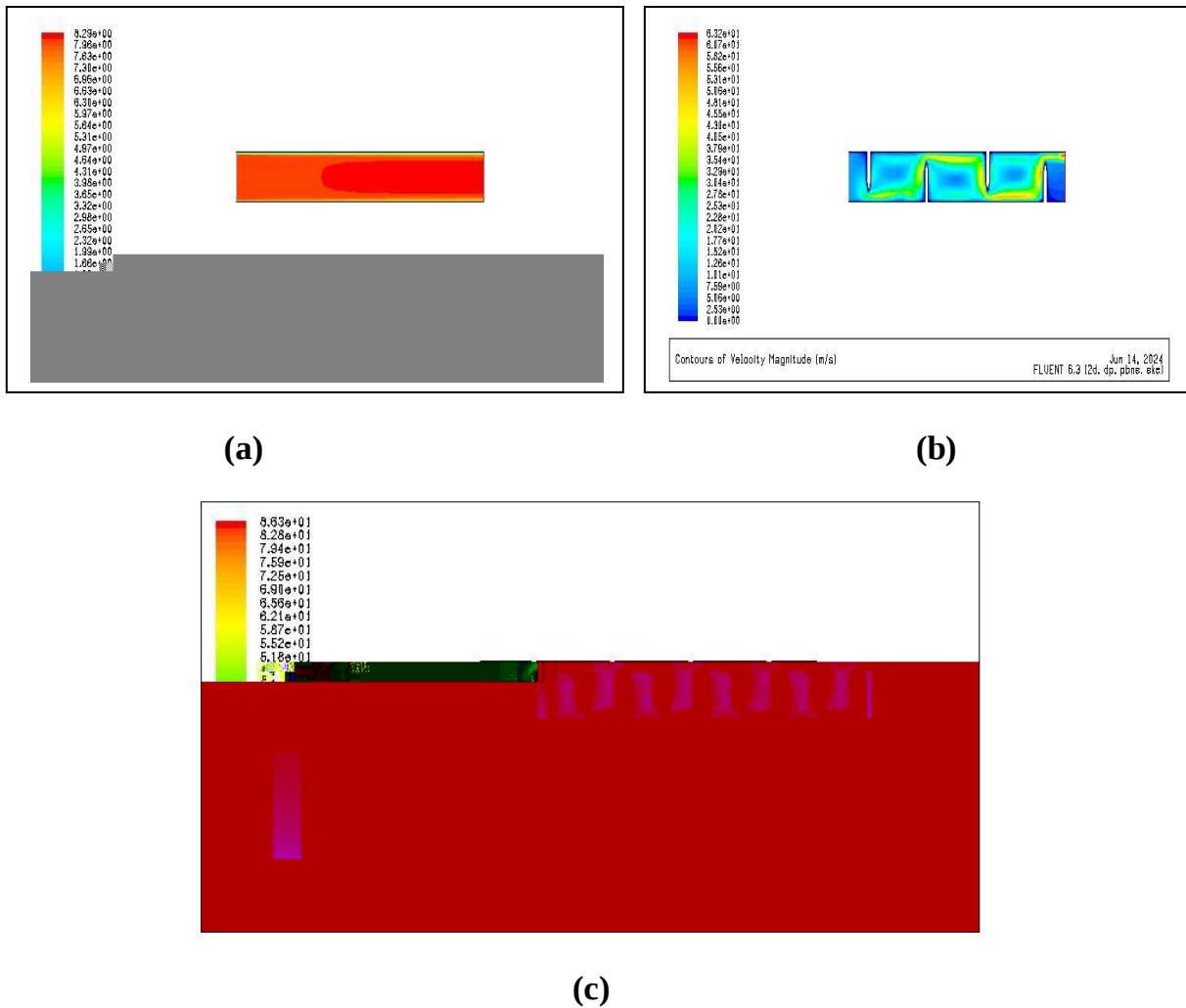


Figure III-10

(a) Capteur sans chicanes.

(b) Capteur avec quatre chicanes.

(c) Capteur avec neuf chicanes.

Discussions :

a/- Sans chicanes :

Uniformité du Flux :

À 8 m/s, le flux est moins uniforme et plus concentré au centre, ce qui peut être préférable pour des applications nécessitant un chauffage rapide et intense dans des zones spécifiques du capteur.

Efficacité Énergétique et Transfert de Chaleur :

Le régime à 8 m/s peut être moins efficace pour le chauffage uniforme mais est probablement plus efficace énergétiquement, réduisant les pertes de chaleur dues à la rétention d'air moins longue.

b/- Quatres chicanes :

Haute Vitesse: L'image montre une concentration de vitesse élevée surtout au centre, ce qui indique un passage rapide de l'air. Ce profil pourrait entraîner une distribution moins uniforme de la chaleur, mais il minimise la perte thermique due à la réduction du temps de contact entre l'air et l'absorbeur.

Impact sur l'efficacité: À cette vitesse, bien que le flux d'air soit rapide, il pourrait ne pas permettre un échange de chaleur suffisamment efficace en raison de la diminution du temps de contact.

c/- Neufs chicanes :

Flux Turbulent : Les pics de vitesse plus élevés et les variations importantes dans la distribution de la vitesse indiquent un flux plus turbulent. Cela est attribué à l'augmentation de l'énergie cinétique dans le flux d'air due à une vitesse d'entrée plus élevée.

Pertes Thermiques : Les vitesses plus élevées réduire les pertes thermiques dues à la conduction et à la convection à travers les parois du capteur, Cependant cela pourrait compromettre l'efficacité de l'absorption de la chaleur.

III.3.2.3 Profil de vitesse :**(a)****(b)****(c)****Figure III-11**

(a) capteur sans chicanes.

(b) Capteur avec quatre chicanes.

(c) Capteur avec neuf chicanes.

Interprétation :

brusquement sur les bords . Cette chute rapide sur les bords représente une zone où l'air est fortement ralenti due au frottement.

b/- Quatres chicanes :

Courbe à $x = 0.14$ m (verte) : Cette courbe révèle un comportement de vitesse captivant, commençant par un pic soudain suivi d'une baisse notable. Ce pic peut être interprété comme une réponse immédiate à la première chicane du système, où l'air s'accélère brusquement, générant une forte turbulence. La baisse rapide de la vitesse qui s'ensuit suggère que le flux d'air commence à se stabiliser. Au fur et à mesure que l'air progresse, il interagit avec d'autres chicanes, ralentissant potentiellement en raison de l'augmentation des perturbations et de la dissipation thermique avec l'absorbeur.

Courbe à $x = 0.48$ m (rouge) : De façon similaire, cette courbe montre un pic initial, bien que ce dernier soit plus prononcé par rapport à la courbe verte. Cette augmentation plus marquée suggère que, à cette position, l'air subit encore une accélération notable à cause des chicanes. Cela peut indiquer une interaction continue de l'air avec les chicanes, malgré sa progression dans le capteur, suggérant que l'effet de ces structures sur la vitesse de l'air reste significatif même en aval du parcours.

c/- Neufs chicanes :

Courbe à $x = 0.13$ m (noire) : Cette courbe montre une augmentation de la vitesse au bord de l'isolant à 58m/s , et une diminution de vitesse lorsque on approche du milieu vers l'absorbeur.

Courbe à $x = 0.4$ m (rouge) : : De façon similaire ,Cette courbe montre une augmentation de la vitesse au bord de l'isolant bien marqué par rapport a la courbe noire, et une diminution importante de vitesse par rapport a la courbe noire lorsque on approche du milieu vers l'absorbeur.

III.3.2.4 Champ de Température :

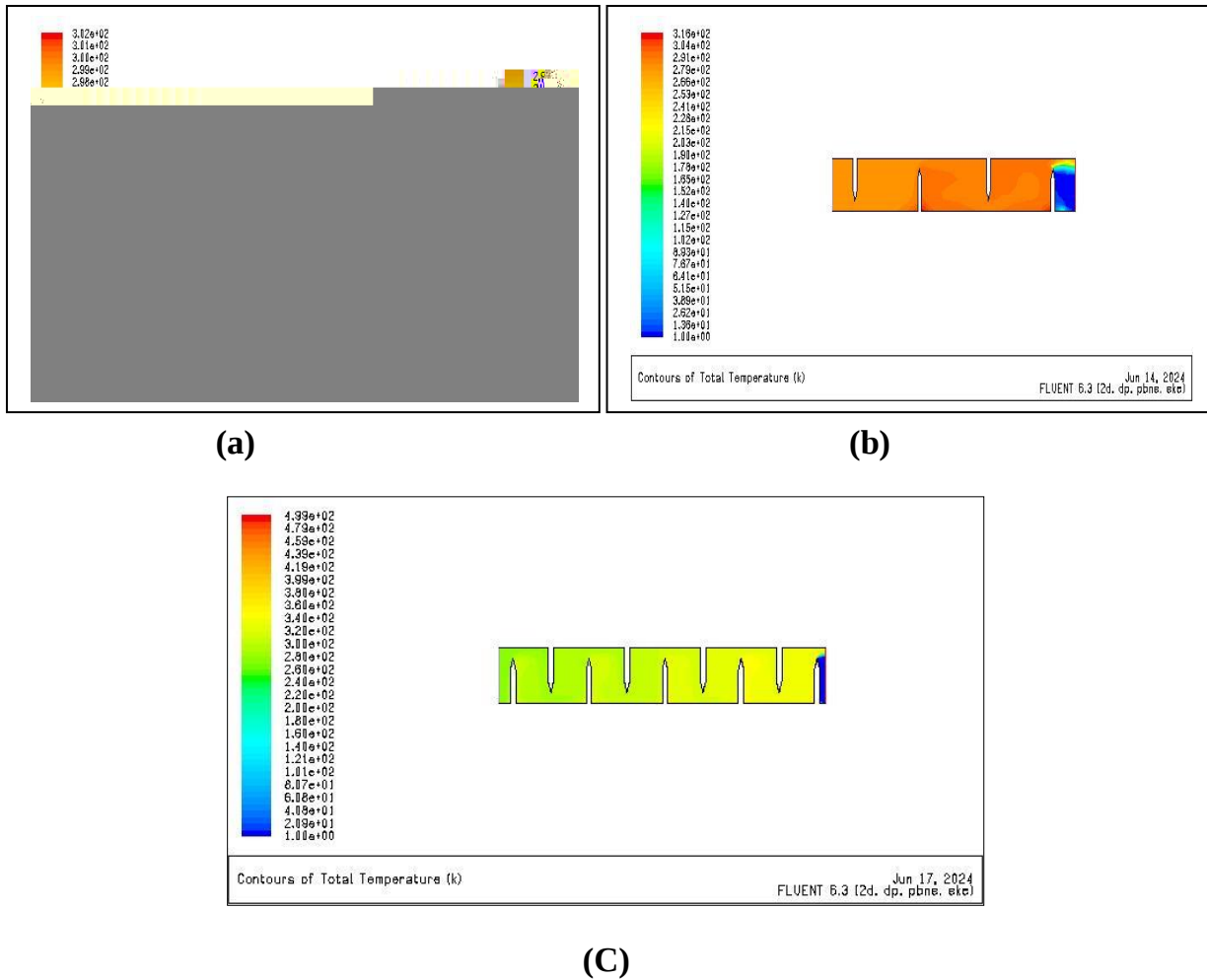


Figure III-12

(a) Capteur sans chicanes.

(b) Capteur avec quatre chicanes.

(c) Capteur avec neuf chicanes.

Discussions :

a/- Sans chicanes :

Avec une vitesse d'entrée de 8 m/s, la température augmente rapidement à l'entrée avant de se stabiliser, ce qui indique une moins bonne efficacité de l'échange thermique en raison de la vitesse élevée. L'air circulant plus rapidement a moins de temps pour absorber la chaleur de l'absorbeur, ce qui entraîne une distribution de température moins uniforme et potentiellement une efficacité réduite du système pour capter et stocker la chaleur.

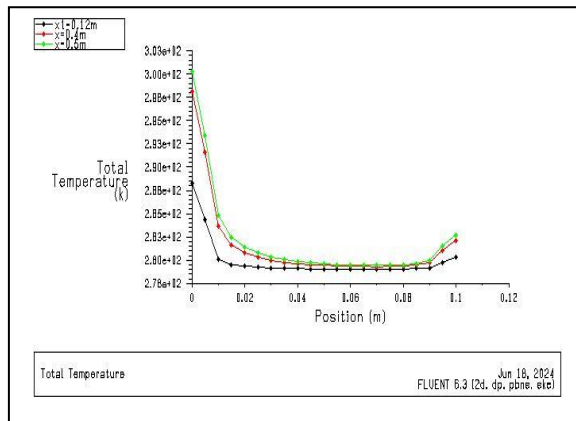
b/- Quatres chicanes :

À une vitesse plus élevée, on observe une concentration de températures plus élevées près de l'entrée et des premières chicanes, mais la dissipation de la chaleur est plus rapide le long du parcours de l'air. Le flux rapide réduit le temps de contact de l'air avec l'absorbeur, diminuant l'efficacité globale du transfert de chaleur malgré une augmentation de la turbulence qui peut améliorer le mélange de l'air et l'échange thermique localement.

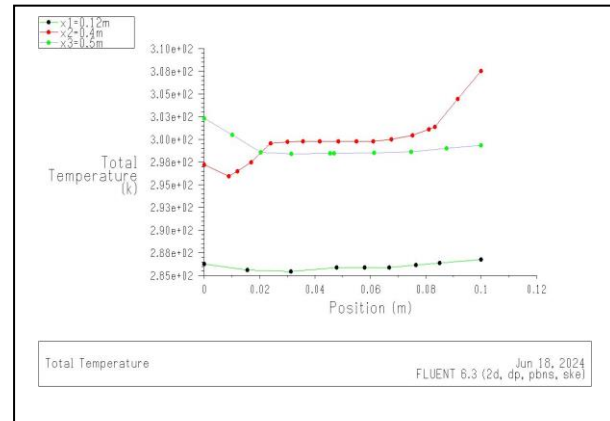
c/- Neufs chicanes :

à une vitesse plus élevée de 8 m/s, Le contour de température révèlent des variations plus marquées et des pics de température plus localisés, particulièrement près des chicanes. Ces pics indiquent que la turbulence accrue due à la vitesse plus élevée favorise un transfert de chaleur plus intense mais moins uniforme. La distribution irrégulière de la température pourrait signifier que certaines parties du capteur sont mieux chauffées que d'autres, ce qui peut entraîner une efficacité globale moins homogène

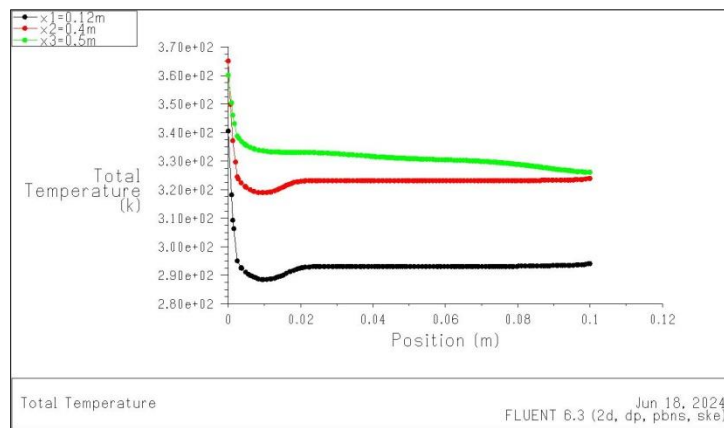
III.3.2.5 Profil de Température :



(a)



(b)



(c)

Figure III-13: Profil de Température du 2ème catégorie (v

(a) Capteur sans chicanes.

(b) Capteur avec quatre chicanes.

(c) Capteur avec neufs chicanes

Interprétations

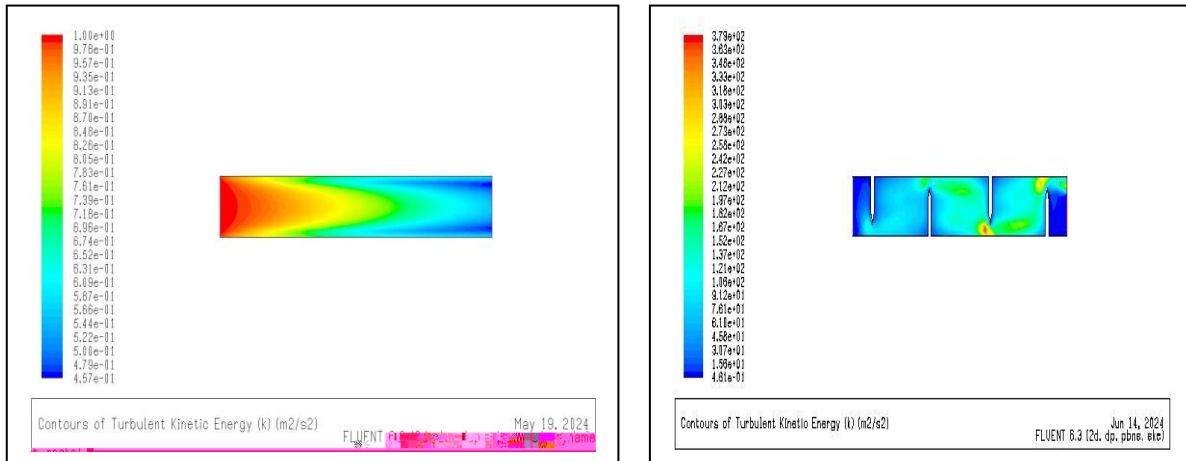
a/- sans chicanes :

Courbe noire ($x = 0.1 \text{ m}$) : À cette position sur l'isolant la température est de 288 K. Puis une diminution jusqu'elle stabilise à 279 K sur toute la hauteur à 0.09m et une légère augmentation vers l'absorbeur.

Courbe rouge ($x = 0.3 \text{ m}$) : au niveau de l'isolant, la température est à 295 K. Ensuite, elle diminue de manière significative jusqu'à se stabiliser à 280 K à une hauteur de 0.09 m, avant de connaître une légère remontée à l'approche de l'absorbeur.

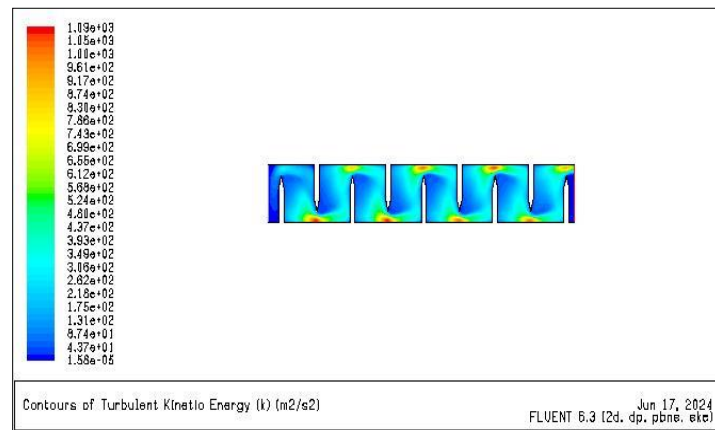
Courbe verte ($x = 0.5$ m)

III.3.2.6 La dissipation turbulente :



(a)

(b)



(c)

Figure III-14: contour de la dissipation turbulente du 2ème catégorie (v

(a) Capteur sans chicanes.

(b) Capteur avec quatre chicanes.

(c) Capteur avec neufs chicanes

Discussion :**a/- Sans chicanes :****Répartition de l'énergie cinétique turbulente :**

À **8 m/s** : L'énergie cinétique turbulente est plus élevée sur toute la longueur du capteur, avec des pics significatifs, indiquant une turbulence plus intense probablement due à la vitesse plus élevée de l'air qui intensifie les interactions turbulentes.

Implications pour le transfert de chaleur :

À une vitesse plus élevée (8 m/s), bien que l'intensité de la turbulence puisse améliorer le mélange de l'air et potentiellement augmenter le transfert de chaleur, la rapidité du flux d'air réduire le temps de contact avec l'absorbeur, ce qui ne pas être optimal pour l'absorption de chaleur sur toute la longueur du capteur.

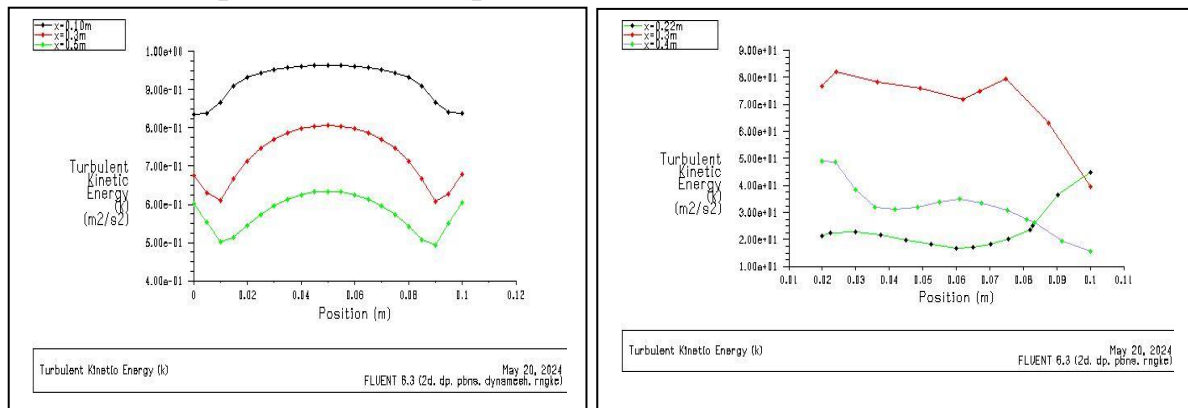
b/- Quatres chicanes :

La présence d'une énergie cinétique plus élevée et de pics plus prononcés indique un régime turbulent intensifié. Cette forte turbulence peut améliorer le transfert de chaleur en augmentant l'agitation de l'air et en favorisant une distribution de température plus uniforme à travers le capteur.

c/- Neufs chicanes :

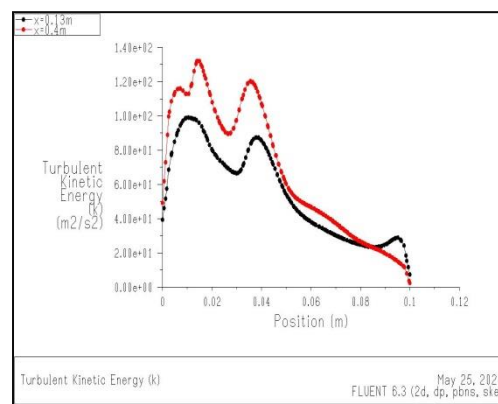
La turbulence est nettement plus élevée à cette vitesse, comme le montrent les nombreuses zones rouges et jaunes étendues, surtout à proximité immédiate des chicanes. Cela indique un mélange plus intense et des perturbations du flux d'air dues aux chicanes mais aussi augmente les pertes de chaleur en raison de la vitesse d'air élevée.

III.3.2.7 Le profil de la dissipation turbulente :



(a)

(b)



(c)

Figure III-15: profil de la dissipation turbulente du 2ème

(a) Capteur sans chicanes.

(b) Capteur avec quatre chicanes.

(c) Capteur avec neuf chicanes.

a/- Sans chicanes :

Courbe noire ($x = 0.1 \text{ m}$) : Cette courbe montre un pic d'énergie cinétique turbulente vers le milieu du capteur a $0.98 \text{ m}^2/\text{s}^2$ suggérant que la turbulence est la plus intense dans cette région.

Courbe rouge ($x = 0.3 \text{ m}$) : La courbe montre une énergie cinétique turbulente globalement plus faible que celle à 0.1 m , avec un pic moins élevé a $0.8 \text{ m}^2/\text{s}^2$

Courbe verte ($x = 0.5 \text{ m}$) : Cette courbe présente la plus faible énergie cinétique turbulente, suggérant que la turbulence continue de décroître au fur et à mesure que

l'air se déplace vers l'extrémité du capteur. L'air pourrait devenir plus laminé, ou les effets de stabilisation thermique pourraient réduire la turbulence à cette distance.

b/- Quatres chicanes :

Courbe à $x = 0.22$ m (verte) :

La courbe commence par des valeurs basses d'énergie cinétique turbulente, Au fur et à mesure l'énergie cinétique reste faible, indiquant que le flux d'air est stable et peu perturbé par les chicanes jusqu'à environ 0.06 m.

Vers le haut on observe une augmentation significative de l'énergie cinétique turbulente. Cette hausse peut indiquer que l'air interagit plus intensément avec une chicane ou que le flux d'air rencontre une résistance accrue, augmentant ainsi la turbulence.

Courbe à $x = 0.3$ m (rouge) :

La courbe commence par une valeur relativement élevée de l'énergie cinétique turbulente, indiquant une turbulence significative au début. Cela dû à l'interaction initiale de l'air avec la chicane la plus proche.

Ensuite, l'énergie cinétique turbulente se stabilise à un niveau inférieur, mais reste notable. Ce niveau peut refléter un état d'équilibre où la turbulence est maintenue par la conception du capteur et la position des chicanes.

Vers le haut, il y a une chute nette de l'énergie cinétique turbulente. Cette diminution pourrait être liée à une zone où les effets des chicanes deviennent moins prononcés.

Courbe à $x = 0.4$ m (gris) :

La courbe commence par une valeur initialement élevée, indiquant une zone de forte turbulence. Ce niveau élevé attribué aux interactions entre l'air et la chicanes.

0.04 m à 0.06 m :

On remarque une légère augmentation de l'énergie cinétique turbulente Cette augmentation progressive vers le haut du capteur arrive a $35 \text{ m}^2/\text{s}^2$

0.06 m à 0.1 m :

On observe une diminution de l'énergie cinétique turbulente. Cette baisse progressive vers le haut du capteur a $15\text{m}^2/\text{s}^2$

c/- neufs chicane :

Courbe rouge (x=0.4 m): Cette courbe montre un profil d'énergie cinétique turbulente très fluctuant avec plusieurs pics significatifs, ce qui indique une turbulence intense et variée à cette position. Le pic le plus élevé se situe vers 0.02 m.

Courbe noire (x=0.13 m): Bien que présentant aussi des variations, cette courbe est globalement moins élevée en énergie cinétique que la ligne rouge. Cela suggère une turbulence moins intense à cette position plus éloignée de la source de perturbation

Conclusion Générale

Ce mémoire a abordé de manière approfondie l'amélioration de l'efficacité des capteurs solaires plans à air, en se concentrant particulièrement sur l'intégration de chicanes pour optimiser les transferts de chaleur. À travers une série de simulations numériques réalisées avec les logiciels Gambit et Fluent, nous avons examiné l'impact de différentes configurations de chicanes sur la performance thermique des capteurs. Les résultats montrent clairement que l'ajout de chicanes augmente significativement l'efficacité du capteur, avec une mention spéciale pour le modèle à neuf chicanes qui a démontré une performance supérieure.

L'étude a révélé que l'ajout de chicanes dans les capteurs solaires plans à air peut considérablement améliorer les transferts de chaleur, ce qui se traduit par une efficacité accrue. Les trois configurations testées, sans chicanes, quatre chicanes, et avec neuf chicanes, ont démontré que le nombre de chicanes joue un rôle crucial dans l'optimisation de la performance du capteur. Notamment, le modèle avec neuf chicanes a présenté la meilleure performance, offrant ainsi des perspectives prometteuses pour des applications pratiques dans le chauffage solaire.

Une découverte notable de cette étude concerne l'effet de la vitesse du fluide caloporteur, spécifiquement à 8 m/s, qui a démontré un impact considérable sur l'efficacité du transfert de chaleur. À cette vitesse, l'amélioration de la convection forcée a été particulièrement marquée, et une réduction des pertes thermiques. Ce paramètre optimisé a permis de franchir un palier supplémentaire dans l'efficacité des systèmes de chauffage solaire à air, en prouvant que le contrôle précis de la vitesse du fluide est crucial pour maximiser les performances.

Cette recherche contribue à la littérature existante en offrant des insights détaillés sur le design et l'optimisation des capteurs solaires à air et en soulignant l'importance des modifications structurales pour le développement de systèmes de chauffage solaire plus efficaces et économiquement viables. Enfin, les implications de cette étude pour la conception future des capteurs solaires suggèrent des avenues pour des recherches supplémentaires, notamment dans l'amélioration des matériaux et des technologies de simulation.

General Conclusion

En résumé, ce travail n'est pas seulement un pas en avant dans la compréhension des mécanismes de transfert de chaleur dans les capteurs solaires, mais aussi une contribution pratique à l'amélioration des technologies renouvelables, essentielle pour répondre aux besoins énergétiques croissants de manière durable.

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

- 1- **Bessemoulin P. et Oliuéri J., (2000)**, « Le rayonnement solaire et sa composante ultraviolette », La Météorologie 8e série - n° 31, Septembre 2000
- 2- **Francis Codron, (2012)**, « Transfert radiatif bilan énergétique », Note du cours, Université Pierre et Marie Curie-Paris 6, France.
- 3- **Kassewa A., Tchapo.Singo, (2006)**, « Système d'alimentation photovoltaïque avec ,stockage hybride pour l'habitat énergétiquement autonome.», Thèse de Doctorat de l'Université, Henri. Poincare, Nancy-I.
- 4- **L'énergie solaire**, lien : <http://herve.silve.pagesperso-orange.fr/solaire> , Consulté en Juin 2018.
- 5- **Delorme C.** « le rayonnement solaire utilisable », Université d'Avignon publication-France.
- 6- **Effet de serre** : <https://climate.selectra.com/fr/comprendre/effet-de-serre#effet-de-serre-definition-et-schema>
- 7- **DERMECHE chahinaz ET MERROUCHE ahmed .** Mémoire de fin d'étude Modélisation en régime transitoire des performances d'un capteur solaire plan. 2016
- 8- - Détermination du gisement solaire par imagerie satellitaire avec intégration dans un système d'information géographique pour le sud d'Algérie - 2019
- 9- **Bruno Fleche** « énergie renouvelable : solaire thermique »
- 10- **ABABSA Dalila**, « Optimisation Du Rendement D'un Capteur Solaire Par Minimisation Des Pertes Convectives », Thèse de Magister en Physique option : Physique Energétique. Université El hadj lakhdar Batna. 2010.
- 11- **Saadi Souad**, « Effet des paramètres operationels sur les performances d'un capteur solaire plan », Mémoire de Magister en Physique Spécialité : Energies Renouvelables, Université Mentouri de Constantine, 2010.

- 12-BOURHALEB Houssine.** «Etude et expérimentation d'une chaîne énergétique solaire avec capteur à air, stockage thermique souterrain et récupération par pompe à chaleur», Thèse de doctorat 3^{ème} cycles en Energétique, Université HAINAVT Cambresis. 1987.
- 13-S.Youcef-Ali,** «Study and optimization of the thermal performances of the offset rectangular plate fin absorber plates, with various glazing», *Renewable Energy*, 30, pp. 271–280. 2005
- 14-KARROUTE Salima,** «Etude théorique et numérique des systèmes couplés : Distillateur plan-capteur et Distillateur Hot Box-Capteur », Thèse de Magister en Physique Spécialité : Physique Energétique Option : Photo thermique. Université Mentouri de Constantine, 2009.
- 15-Donatien Njomo,** «Étude thermique du comportement d'un capteur solaire plan à air à couverture combinée plastique-vitre», *Revue Générale de Thermique*. 37, pp. 973-980, 1998.
- 16-FERAHTA Fatima zohra,** «Etude du transfert thermique dans la lame d'air d'un capteur solaire». Thèse en cotutelle de Doctorat en Physique Discipline : Mécanique et Energétique. Université Aix-Marseille, Université El Hadj Lakhdar Batna. 2012.
- 17-DGS,** *Solarthermische Anlagen*, Berlin, 2001.
- 18-M. N. Bargach, R. Tadili, A. S. Dahman, M. Boukallouch.** «Comparison of the performance of two solar heating systems used to improve the microclimate of agricultural greenhouses in Morocco». *Renewable Energy*, 29, pp. 1073–1083. 2004.
- 19-N.T. Ahmad.** « Agricultural solar air collector made from low cost plastic packing film ». *Renewable Energy*, 23, pp. 663–671. 2001.

BIBLIOGRAPHIE

- 20-**Marwa M. Hassan, Yvan Beliveau.** «Design, construction and performance prediction of integrated solar roof collectors using finite element analysis». Construction and Building Materials, 21, pp. 1069–1078. 2007.
- 21-**Fayza Ben Yelles, Batoul Benabadji, Boumediène Benyoucef, Zakariya Ziani.** «Comparaison entre un capteur a aérogel de silice et d'autres capteurs plans». 13^{èmes} Journées Internationales de Thermique Albi, France du 28 au 30 Août 2007.
- 22-**Cardonnel. C : Solaire actif et passif** (Conception, bilan thermique, habitat), Les éditions parisiennes, CFP Chaud Froid Plomberie, s.l., , 239 p. 1983.
- 23-**C. D. Hoa, C. W. Yeha, S. M. Hsiehb.** «Improvement in device performance of multi-pass flatplate solar air heaters with external recycle». Renewable Energy, 30, pp. 1601–1621. 2005.
- 24-**Ahmed Ouameur Fouad,** «Morphologie urbaine et confort thermique dans les espaces publics: Etude comparative entre trois tissus urbains de la ville de Québec ». Mémoire de Maître ès Sciences (M.Sc) Université Laval Québec. 2007.
- 25-**J, Bonal; P, Rossetti.** Les énergies alternatives, Omniscience. 2007.
- 26- **D. Fedala,** « Initiation a la CFD », Octobre 2007
- 27-**Abdellouahab Benseddik** « Dimensionnements et simulation d'un prototype de cuiseur solaire pour les régions sahariennes » Mémoire de l'ingénieur université Abou Bakr Belkaid, Tlemcen. Soutenance en 01 juillet 2008