

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE PHYSIQUE

N° : /2019.....



DOMAINE : Sciences de la matière

FILIERE : Physique

OPTION : Physique Energétique
et Energies Renouvelables

Physique Energétique et Energies Renouvelables

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Réalisé par :

SAIDANE Fatima Zohra

BAOUCHE Foulla

Intitulé

**Simulation numérique d'écoulements d'air avec
échange de chaleur au sein d'un capteur solaire
plan à air**

Soutenu le 02/07/2019 devant le jury composé de :

Dr. BOURASSE Abdelkarim	Université Mohamed Boudiaf- M'sila	Président
Dr. CHINE Adel	Université Mohamed Boudiaf- M'sila	Rapporteur
Dr. TAHROUR Farouk	Université Mohamed Boudiaf- M'sila	Examineur

Année universitaire : 2018/2019

Remerciement

Tout d'abord, nous remercions ALLAH, notre créateur

de nous avoir

Donné le courage

Donné la force

Pour accomplir ce travail.

Nous adressons nos plus vifs remerciements pour notre

encadreur, Dr. Adel Chine qui a proposé le thème de ce

mémoire, aussi pour ses conseils et son soutien ont été

pour moi un vrai support scientifique et personnel.

Nous remercions également le membre de jury pour

avoir examiner ce travail

A travers ce modeste travail, nous tenons à remercier

vivement notre responsable de formation Dr. Salmi

Mohamed.

Tout mes remerciements et mon estime a tous les

enseignants du département de physique.

Et Nous présentons mes sincères remerciements à tout

le personnel

Et NOUS présentons mes sincères remerciements à

toute personne qui m'a aidé à la Réalisation de ce

travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A la mémoire de mon père

Que dieu l'accueille dans sa vaste paradis

*A ma très chère mère qui a été la lumière
de ma vie*

A mes chères sœurs

*A mon chère frère **FATEH***

*A toute la famille **Saidane***

*A mon encadreur **Dr Adel chine***

*A mes cher amies: Ahlem, Khaoula,
Ikhlasse, Fatima, Chahira, Chaima,ouarda.*

A tous mes collègues et mes amis partout

Sans oublié ; je dédie ce mémoire à mon

*binôme : **Baouche Foulla** et à toute sa
famille*

Saidane Fatma zohraa

Dédicaces

*À ma très chère Ma mère Et Mon père
A mes chères sœurs
A mon cher frère
A toute ma famille et ma grande famille, pour
tous les efforts et les
Sacrifices qu'ils me présentent.
Et Mon encadreur DR. *Chine Adel*
A tous mes amis sans exception.
Pour conclure, je le dédie à:
A mon classe 2em année master physique
option énergétique et à
Tous
Ce qui m'ont aimé et m'ont respecté
Sans oublié ; je dédie ce mémoire à mon
binôme : *Saidane fatima Zohraa* et à toute
sa famille*

Baouche Foulla

Sommaire

Liste des figures	I
Liste des tableaux.....	III
Nomenclature	IV
Introduction général	1

Chapitre I Généralités et définitions

I.1 Introduction	3
I.2 Energie solaire	4
I.2.1 Définition du soleil	4
I.2.2 Structures du soleil	4
I.2.3 Rayonnement solaire.....	5
I.3 Capteurs solaires thermiques	6
I.3.1 Classification des capteurs solaires thermiques	7
I.3.2 Définition et principe de fonctionnement d'un capteur solaire plan	7
I.3.3 Eléments constituant un capteur solaire plan	7
I.3.3.1 Couverture transparente (vitre)	8
I.3.3.2 Fluide caloporteur	8
I.3.3.3 Absorbeur	9
I.3.3.4 Isolation thermique	9
I.3.3.5 Coffre	10
I.3.4 Capteur solaire plan à air	10
I.3.4.1 Différents types des capteurs solaires plans à air	11
I.4 Capteurs plans vitrés et non vitrés.....	13
I.4.1 Capteurs plans vitrés	13
I.4.1.1 Avantages	13
I.4.1.2 Inconvénients	14
I.4.2 Capteurs plans non vitrés	14
I.4.2.1 Avantages	14
I.4.2.2 Inconvénients	15

<i>I.5 Applications des capteurs solaires plans</i>	<i>15</i>
<i>I.5.1 Chauffage de l'eau sanitaire</i>	<i>15</i>
<i>I.5.2 Chauffage de locaux.....</i>	<i>16</i>
<i>I.5.3 Séchage indirect des produits agricoles.....</i>	<i>16</i>
<i>I.6 Rendement de capteur solaire plan</i>	<i>17</i>
<i>I.7 Conclusion</i>	<i>18</i>

Chapitre II Modélisation mathématique et numérique

<i>II.1 Introduction.....</i>	<i>20</i>
<i>II.2 Géométrie du domaine d'étude</i>	<i>20</i>
<i>II.3 Mise en équation du problème.....</i>	<i>22</i>
<i>II.4 Modélisation numérique du problème</i>	<i>25</i>
<i>II.4.1 Méthode des volumes finis pour un problème de transport mixte stationnaire unidirectionnel</i>	<i>25</i>
<i>II.4.2 Logiciels de simulation</i>	<i>28</i>
<i>II.4.2.1 Logiciel Fluent-Gambit.....</i>	<i>28</i>
<i>II.4.2.1 Algorithme SIMPLE.....</i>	<i>28</i>
<i>II.5 Conclusion.....</i>	<i>29</i>

Chapitre III Résultats et discussions

<i>III.1 Introduction</i>	<i>31</i>
<i>III.2 Résultats numériques</i>	<i>31</i>
<i>III.2.1 Maillage adopté pour les calculs</i>	<i>31</i>
<i>III.2.2 Résultats pour tout le domaine</i>	<i>32</i>
<i>III.2.3 Résultats pour différentes flux de chaleur</i>	<i>34</i>
<i>III.2.4 Résultats pour différentes taux de blocage</i>	<i>35</i>
<i>III.2.5 Résultats pour différentes nombres de chicane</i>	<i>37</i>
<i>III.3 conclusion</i>	<i>39</i>
<i>Conclusion générale.....</i>	<i>40</i>

Bibliographie

Résumé

Liste des figure

Chapitre I Généralité et Définitions

Figure (I.1): Distribution spectrale du rayonnement solaire reçus hors atmosphère	3
Figure (I.2): Vue en coupe du soleil [6] : (1) Cœur, (2) Zone de radiation, (3) Zone de convection, (4) Photosphère, (5) Chromosphère, (6) Couronne, (7) Protubérance	5
Figure (I.3): Description schématiques des composantes du rayonnement solaire	6
Figure (I.4): Schéma descriptif d'un capteur solaire plan	10
Figure (I.5): Séchoir à air pour le séchage des produits agricoles	11
Figure (I.6): Capteur solaire plan à air simple passe : A) écoulement d'air en dessus de l'absorbant, B) écoulement d'air en dessous de l'absorbant C) capteur à double vitrage avec écoulement d'air en dessous de l'absorbant	11
Figure (I.7): Capteur solaire plan à air multi-passe : A, B et D) écoulement d'air autour de l'absorbant, C) écoulement d'air en dessous de l'absorbant	12
Figure (I.8): Capteurs à absorbeur perméable	12
Figure (I.9): Différents types géométriques de l'absorbant. (A) : Absorbant en forme V, (B) Absorbant en forme U, (C) : Absorbant à ailettes droites	13
Figure (I.10): Principaux éléments constituant un capteur solaire plan vitré	13
Figure (I.11): Capteur solaire plan non vitré	14
Figure (I.12): Chauffe-eau solaire monobloc	15
Figure (I.13): Chauffage domestique par radiateur conventionnel	16
Figure (I.14): Séchoir artificiel des produits agricoles associé au procédé de séchage indirect	17

Chapitre II Modélisation mathématique et numérique

Figure(II.1): Géométrie du domaine d'étude, (a) : Vue globale du capteur plan, (b) : Zoom sur l'obstacle artificiel (chicane)	21
Figure(II.2): Conditions aux limites associées au problème de transfert de chaleur et de masse stationnaire au sein d'une conduite rectangulaire bidimensionnelle.	24

Figure(II.3): Géométries du volume V_c de contrôle utilisé pour le problème d'advection-diffusion stationnaire unidimensionnel.....25

Chapitre III Résultats et discussions

Figure(III.1): Vue de maillage adopté pour nos simulations. (a) Vue globale, (b) zoom au niveau de la chicane31

Figure(III.2): Morphologie des isovaleurs de la fonction de courant au sein de la conduite rectangulaire. (a) Zone d'entrée, (b) zone utile et (c) zone de sortie. (5 chicanes, $e_p = 0.3$, $V_e = 0.1$ [m/s], $P_r = 34.95$ et $\Phi = 500$ [W.m⁻²]).....32

Figure(III.3): Distribution de la vitesse V au sein de la conduite rectangulaire. (a) Zone d'entrée, (b) zone utile et (c) zone de sortie (5 chicanes, $e_p = 0.3$, $V_e = 0.1$ [m/s], $P_r = 34.95$ et $\Phi = 500$ [W.m⁻²]).33

Figure(III.4): Allure de la température le long de la conduite. (a) Zone d'entrée, (b) zone utile et (c) zone de sortie (5 chicanes, $e_p = 0.3$, $V_e = 0.1$ [m/s], $P_r = 34.95$ et $\Phi = 500$ [W.m⁻²]). ...33

Figure(III.5): Distribution de la vitesse V à la sortie de la conduite. (a) $\Phi = 300$ [W.m⁻²], (b) $\Phi = 500$ [W.m⁻²] ET (c) $\Phi = 700$ [W.m⁻²]. (5 chicanes, $e_p = 0.3$, $V_e = 0.1$ [m/s], $P_r = 34.95$).34

Figure(III.6): Morphologie des lignes de courant au voisinage des chicanes. (a) $\Phi = 300$ [W.m⁻²], (b) $\Phi = 500$ [W.m⁻²] ET (c) $\Phi = 700$ [W.m⁻²]. (5 chicanes, $e_p = 0.3$, $V_e = 0.1$ [m/s], $P_r = 34.95$).34

Figure(III.7): Morphologie des lignes de courant au voisinage des chicanes. (a) $\Phi = 300$ [W.m⁻²], (b) $\Phi = 500$ [W.m⁻²] ET (c) $\Phi = 700$ [W.m⁻²]. (5 chicanes, $e_p = 0.3$, $V_e = 0.1$ [m/s], $P_r =$)......35

Figure(III.8): Distribution de la vitesse à la sortie du capteur pour différents rapports de blocage e_p . (a) $e_p = 0.3$, (b) $e_p = 0.5$ et (c) $e_p = 0.7$. (5 chicanes, $\Phi = 500$ [W/m²], $V_e = 0.1$ [m/s], $P_r = 34.95$).35

Figure(III.9): Distribution de la température à la sortie du capteur pour différents rapports de blocage e_p . (a) $e_p = 0.3$, (b) $e_p = 0.5$ et (c) $e_p = 0.7$. (5 chicanes, $\Phi = 500$ [W/m²], $V_e = 0.1$ [m/s], $P_r = 34.95$).36

Figure(III.10): Formes des lignes de courant à la sortie du capteur pour différents rapports de blocage e_p . (a) $e_p = 0.3$, (b) $e_p = 0.5$ et (c) $e_p = 0.7$. (5 chicanes, $\Phi = 500$ [W/m²], $V_e = 0.1$ [m/s], $P_r = 34.95$).37

Figure(III.11): Isovaleurs de la vitesse V pour différents nombres de chicane. (a) $n = 3$ ($P_r = 69.85$), (b) $n = 5$ ($P_r = 34.95$) et (c) $n = 7$ ($P_r = 23.216$). ($\Phi = 500$ [W/m²], $e_p = 0.3$, $V_e = 0.1$ [m/s]).37

Figure(III.12): Isovaleurs de la température T pour différents nombres de chicane. (a) $n = 3$ ($P_r = 69.85$), (b) $n = 5$ ($P_r = 34.95$) et (c) $n = 7$ ($P_r = 23.216$). ($\Phi = 500$ [W/m²], $e_p = 0.3$, $V_e = 0.1$ [m/s])38

Figure(III.13): Isovaleurs de la température T pour différents nombres de chicane.

(a) $n = 3$ ($P_r = 69.85$), (b) $n = 5$ ($P_r = 34.95$) et (c) $n = 7$ ($P_r = 23.216$). ($\Phi = 500$ [W/m²], $e_p = 0.3$, $V_e = 0.1$ [m/s]).38

Liste des tableaux

Tableau(I.1): Caractéristiques principales du soleil	4
Tableau(II.1): Données géométriques associées au capteur plan	21
Tableau(III.1): Caractéristiques géométriques du maillage	31

Nomenclateur

<i>Notation Latin</i>	<i>Désignation</i>	<i>Unité</i>
<i>E</i>	<i>Energie</i>	<i>J</i>
<i>m</i>	<i>La masse</i>	<i>kg</i>
<i>C</i>	<i>La vitesse de lumière</i>	<i>m. s⁻¹</i>
<i>I₀</i>	<i>constante solaire</i>	<i>w. m⁻²</i>
<i>I</i>	<i>éclairage énergétique</i>	<i>w. m⁻²</i>
<i>ε</i>	<i>le coefficient de correction</i>	<i>—</i>
<i>η</i>	<i>Le rendement d'un capteur solaire plan</i>	<i>%</i>
<i>∅</i>	<i>Energie Solaire</i>	<i>W</i>
<i>G*</i>	<i>la puissance solaire globale</i>	<i>w. m⁻²</i>
<i>Δt</i>	<i>Période de temps</i>	<i>s</i>
<i>ε_v</i>	<i>Émissivité thermique de la vitre</i>	<i>—</i>
<i>α_a</i>	<i>Coefficient d'absorption de l'absorbeur</i>	<i>—</i>
<i>Γ</i>	<i>Conductance thermique du capteur</i>	<i>kg/m². s</i>
<i>T</i>	<i>Temperature</i>	<i>k</i>
<i>H</i>	<i>La hauteur</i>	<i>m</i>
<i>L</i>	<i>La longueur</i>	<i>m</i>
<i>e</i>	<i>La hauteur de rugosité</i>	<i>m</i>
<i>t</i>	<i>L'épaisseur de rugosité</i>	<i>m</i>
<i>P</i>	<i>La distance entre deux chicanes</i>	<i>m</i>
<i>e_p</i>	<i>le taux de blocage</i>	<i>m</i>
<i>ρ</i>	<i>Masse volume du fluide</i>	<i>kg/m³</i>
<i>V</i>	<i>La vitesse</i>	<i>m. s²</i>
<i>∅</i>	<i>la viscosité cinématique</i>	<i>m²/s</i>
<i>μ</i>	<i>la viscosité dynamique</i>	<i>Pa. s</i>
<i>g</i>	<i>le champ gravitationnel</i>	<i>m. s⁻²</i>

Indice	Désignation
<i>ab</i>	<i>Absorbée</i>
<i>Ut</i>	<i>Utile</i>
<i>pe</i>	<i>Perte</i>
<i>in</i>	<i>Inertie</i>
<i>a, ∞</i>	<i>L'ambient</i>

Introduction générale

Le danger engendré par l'utilisation des énergies fossiles (*changement climatique inhabituel notamment dans les pays industriels*) a poussé l'être humain à la recherche d'un autre alternatif afin d'éviter ce danger. Les énergies renouvelables représentent actuellement le meilleur alternatif aux énergies fossiles (*charbon, dérivées du pétrole, gaz naturel, etc.*). Car ils sont inépuisables et respectueuses à l'environnement (*énergie solaire, aéraulique, hydraulique, etc.*).

Le soleil représente un immense gisement de l'énergie solaire. La capacité énergétique de cette étoile ($3.7 \times 10^{26} (W)$), a permis à notre planète de recevoir une énergie thermique journalière de l'ordre de $1000 [W.m^{-2}]$. La bonne exploitation de cette dernière peut aider l'être humain à arrêter d'exploiter les énergies fossiles.

La conversion de l'énergie solaire en énergie thermique peut se faire au moyen d'un dispositif dit capteur solaire thermique. La taille et la forme de ce dernier liées étroitement au domaine d'exploitation de cette énergie (*chauffage et climatisation, séchage, etc.*).

Les travaux scientifiques actuels se focalisent vers l'amélioration de la performance du capteur solaire, afin de convertir le maximum de l'énergie solaire capté par ce dispositif. La compréhension du comportement de fluide caloporteur, durant l'échange de chaleur et de masse au sein du capteur solaire thermique, peut aider énormément les chercheurs à trouver les bons moyens permettant d'améliorer le fonctionnement de ces appareils.

Le présent travail, qui rentre dans le cadre de la préparation du projet de fin d'étude en master physique énergétique assurée par la faculté des sciences de la matière de l'université de M'sila, représente une simple contribution scientifique afin de comprendre le comportement de l'écoulement du fluide caloporteur au sein du capteur solaire thermique.

L'objectif de ce travail est d'avoir un savoir-faire dans le domaine d'exploitation des énergies solaires, par le biais de la résolution d'un problème d'échange de chaleur et de masse au sein d'un capteur solaire thermique plan simple passe. Le problème physique réel a été simplifié afin d'avoir un problème dont le phénomène physique associé sera facile à comprendre par voix numérique.

Dans le cadre de ce travail, nous avons effectué des simulations numériques (*logiciel commercial Fluent*) d'écoulement d'air non-isotherme, à travers une conduite rectangulaire bidimensionnelle (*effet de bord négligeable*) possède des obstacles

artificielles (*chicanes*). L'écoulement est laminaire stationnaire, où l'échange thermique entre l'absorbeur et le fluide caloporteur s'effectue dans une zone dite conduit utile.

Nous avons structuré le présent travail comme suit :

Dans le premier chapitre nous présenterons des généralités et définitions en relation avec l'énergie solaire. Les capteurs solaires thermiques ainsi que le calcul de son rendement ont été abordés aussi.

La formulation mathématique et numérique du problème à résoudre a été présentée dans le deuxième chapitre, où la méthode des volumes finis, le logiciel commercial Fluent ainsi que l'algorithme de résolution du système algébrique discrète ont été aussi brièvement discutés.

Les résultats numériques, issus de nos simulations par le logiciel Fluent, ainsi que leurs discussions sont présentés en chapitre troisième.

Nous avons finalisé ce manuscrit par une conclusion générale et des perspectives.

Chapitre I

*Généralités et définitions :
Energies renouvelables,
rayonnement solaire et capteurs
solaires plans*

1 Introduction

Le soleil libère d'énormes quantités d'énergie qui, après avoir parcouru une distance d'environ 150 millions de kilomètres atteignent la surface de la terre avec une puissance moyenne d'environ $1000(W/m^2)$, cette énergie provient d'une réaction thermonucléaire qui se produit au soleil .En chaque seconde 564×10^6 Tonnes d'hydrogène se transforment en 560×10^6 Tonnes d'Hélium, cette différence de 4 millions de tonnes est dissipée sous forme d'énergie ($E=mc^2$) estimée à $3.7 \times 10^{26}(W)$ [1].

La terre reçoit une partie du rayonnement solaire. Le flux énergétique reçu par la terre est appelé éclairement énergétique, abrégé en éclairement. La moyenne annuelle de cet éclairement reçu sur un plan normal aux rayons du soleil situé au sommet de l'atmosphère est appelée constante solaire [$I_0 = 1367(W.m^{-2})$] [1]. Vu la rotation de la terre autour du soleil, la distance entre les deux varie le long de l'année. Dans ce cas l'éclairement peut se donner par jour selon l'équation suivante [2] :

$$I(j) = \varepsilon(j)I_0 \text{ (I.1)}$$

Où, $\varepsilon(j)$ représente le coefficient de correction dû à la variation de la distance qui sépare la terre du soleil. Cette dernière varie en fonction du numéro du jour de l'année j , il est exprimée par l'équation suivant [3] :

$$\varepsilon(j) = 1 + 0.0344 \cos\left(\frac{2\pi}{36.25}j\right) \text{ (I.2)}$$

Nous présenterons en figure (I.1) la Distribution spectrale du rayonnement solaire reçus hors atmosphère.

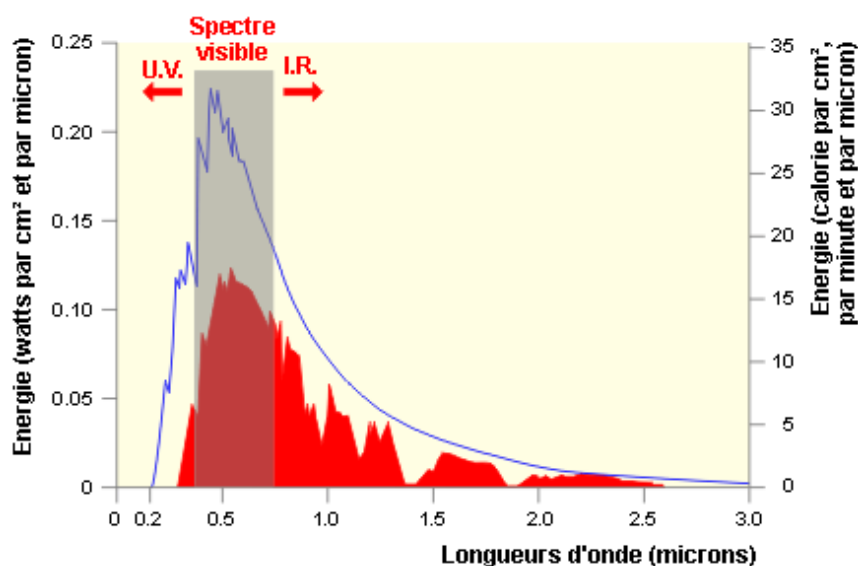


Figure (I.1) : Distribution spectrale du rayonnement solaire reçus hors atmosphère [2].

2 Energie solaire

2.1 Définition du soleil

Le soleil est une petite étoile dans l'univers qui est situé au centre d'un système solaire, et la plus proche de la terre. Le soleil a une forme pseudo-sphérique comparable à une immense boule de gaz très chaud qui se compose de 80% d'hydrogène et de 19% d'hélium, le 1% restant étant un mélange de plus de 100 éléments, soit pratiquement tous les éléments chimiques connus [4, 5].

Tableau (I.1) : Caractéristiques principales du soleil [3]

<i>Diamètre (km)</i>	1392000
<i>Masse (kg)</i>	2×10^{30}
<i>Surface (km²)</i>	6.09×10^{12}
<i>Volume (km³)</i>	1.41×10^{18}
<i>Masse volumique moyenne (kg.m⁻³)</i>	1408
<i>Vitesse (km/s)</i>	217
<i>Distance du centre de la voie lactée (km)</i>	2.5×10^{17}

2.2 Structures du soleil

Le soleil n'est pas une sphère homogène, il est constitué de 5 zones principales : l'intérieur, la photosphère, la chromosphère et la couronne solaire, Les protubérances solaires.

- ⇒ **L'intérieur** : L'intérieur contient le noyau, la zone de radiation et la zone de convection, il représente la source d'énergie du soleil, il est composé de 2/3 d'hydrogène et 1/3 d'hélium. La température atteint 16 MK.
- ⇒ **La photosphère**: C'est la couche gazeuse qui enveloppe le soleil, elle est responsable presque de la totalité du rayonnement que la terre reçoit.
- ⇒ **Chromosphère** : Elle surmonte la photosphère, c'est une couche gazeuse qu'on assimile à l'atmosphère solaire, son épaisseur ne dépasse pas 800 (km) et sa température est de 43×10^3 (K).

- ⇒ **La couronne** : C'est une auréole blanche irrégulière sans limite définies, son épaisseur est de l'ordre de 3×10^6 (km) [6].
- ⇒ **Les protubérances solaires** : L'un des phénomènes les plus spectaculaires au niveau de la couronne est la formation de protubérances. Il s'agit de gigantesques colonnes de gaz moins chaud mais plus dense que celui de la couronne, qui naissent près de la surface et peuvent s'étendre sur des centaines de milliers de kilomètres.

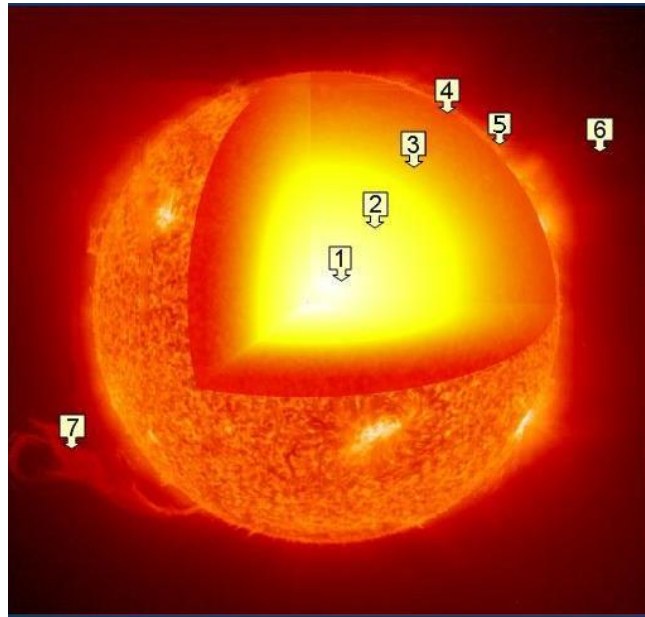


Figure (I.2) : Vue en coupe du soleil [6] : (1) Cœur, (2) Zone de radiation, (3) Zone de convection, (4) Photosphère, (5) Chromosphère, (6) Couronne, (7) Protubérance.

2.3 Rayonnement solaire

Le rayonnement solaire reçu par une surface dépend de plusieurs paramètres tels que : la saison, la latitude et l'orientation de la surface réceptrice. Un tel rayonnement est constitué de trois composantes principales :

- ⇒ **Le rayonnement direct** : c'est l'éclairement énergétique provenant directement du disque solaire (*ciel clair*), il est reçu par une surface réceptrice normale aux rayons solaires.
- ⇒ **Le rayonnement diffus** : c'est l'éclairement énergétique provenant de toute la voûte céleste et il n'a pas d'orientation privilégié.
- ⇒ **Le rayonnement réfléchi** : c'est le rayonnement émis par la surface terrestre sous forme réfléchi ou diffus. Il dépend directement de la nature du sol. Etant de l'ordre de 15 (W/m^2) à Tlemcen, il est donc négligeable pour les

systèmes photo thermiques sauf pour le fort albédo du sol (*neige*) et au facteur de trouble atmosphérique élevé (*vent de sable*).

- ⇒ **Le rayonnement global** : est égal à la super position des trois composantes directe, diffuse et réfléchie : c'est l'éclairement énergétique d'une surface inclinée. Cet éclairement peut éventuellement être influencé par la nébulosité du ciel (*fraction de la voûte céleste occultée nuages*), l'indice de sérénité de l'atmosphère (*rapport du rayonnement au sol sur le rayonnement hors atmosphère*) et par les effets de masque [7].

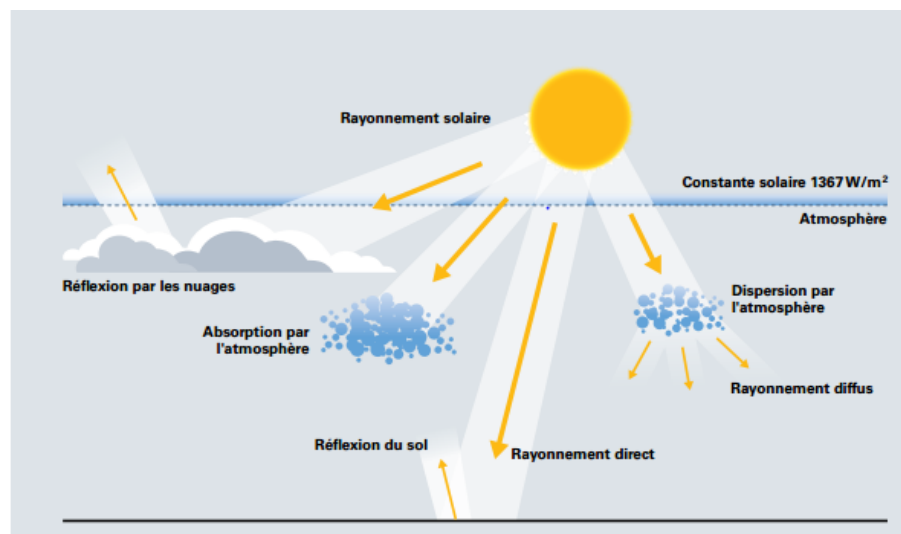


Figure (I.3) : Description schématiques des composantes du rayonnement solaire[8].

3 Capteurs solaires thermiques

L'énergie solaire thermique est la transformation de l'énergie contenue dans le rayonnement solaire (*photons*) en chaleur. Cette transformation en chaleur et donc en énergie thermique permet de chauffer un fluide caloporteur. On peut utiliser cette énergie propre, transportée par ce dernier, dans des différents cas d'applications solaires : centrales solaires thermodynamiques, chauffe-eau et chauffage solaires, rafraîchissement solaire, cuisinières et sècheurs solaires. La production de cette énergie peut être soit utilisée directement (*pour chauffer un bâtiment par exemple*), ou indirectement (*comme la production de vapeur d'eau pour entraîner des alternateurs et ainsi obtenir une énergie électrique*).

Pour transformer l'énergie contenue dans le rayonnement solaire on doit d'abord le capter. La captation de cette énergie peut se faire par deux façons [9]:

- ⇒ Captation par concentration.

- ⇒ Captation par surface plane.

Selon la conversion d'énergie on distingue deux catégories de capteurs solaires :

- ⇒ Capteurs solaires thermiques.
- ⇒ Capteurs solaires photovoltaïques.

3.1 Classification des capteurs solaires thermiques

On peut classer les capteurs solaires thermiques selon la température de fonctionnement : Capteurs à faible température, Moyenne température et haute température. Suivant ce classement il existe essentiellement trois types des capteurs solaires thermiques [10].

- ⇒ Capteur plan.
- ⇒ Capteur à tube sous vide.
- ⇒ Capteur à concentration.

3.2 Définition et principe de fonctionnement d'un capteur Solaire plan

Un capteur solaire plan désigne tout système exposé au rayonnement solaire afin de le capter et de le transformer en énergie thermique. Ce système de captage a pour base l'effet de serre où le rayonnement est capté dans le domaine du visible et du proche de l'infrarouge (*longueurs d'ondes comprises entre 0.3 et 3 (μm)*). Ce rayonnement traverse la vitre du capteur, où il se trouve piégé à l'intérieur, puis capté par la surface absorbante. L'absorbeur à son tour émet du rayonnement thermique dans un domaine de l'infrarouge éloigné du visible (*entre 4 et 30 (μm)*). Ce rayonnement est totalement arrêté par la paroi du verre, qui s'échauffe et rayonne par moitié vers la surface absorbante et par moitié vers l'extérieur. Le fluide qui circule sous cette paroi (*fluide caloporteur*) récupère par convection une partie de cette énergie absorbée et subit une élévation de température à la traversée [11].

3.3 Eléments constituant un capteur solaire plan

Un capteur solaire plan est constitué essentiellement par les éléments suivants :

- ⇒ La couverture transparente (*vitre*).
- ⇒ L'absorbeur (*plaque métallique de couleur noir*).
- ⇒ L'isolation thermique.
- ⇒ Le coffre.

- ⇒ Le fluide caloporteur.

Dans la suite du paragraphe nous décrivons en détaille les éléments susmentionnés.

3.3.1 Couverture transparente (vitre)

Le verre est considéré comme une couverture pour les installations solaires thermiques. Cette matière permet de laisser passer le rayonnement solaire et d'arrêter le rayonnement infrarouge réémis par l'absorbeur. La chaleur est donc bloquée entre l'absorbeur et la couverture : c'est l'effet de serre. Les différents types des matériaux transparents utilisés sont : le verre en simple ou double vitrage trempé (*bonne résistance aux chocs*) ou non, Certains matériaux plastiques ayant les propriétés de permettre la création de l'effet de serre (*c'est le cas des matériaux comme le polycarbonate, le méthacrylate et le tedlar*).

Les inconvénients de l'utilisation du verre sont sa fragilité, son poids et son prix élevé en double vitrage. Pour les matériaux plastiques, les inconvénients de l'utilisation de ces derniers sont liés étroitement par le vieillissement (*dégradation de leurs propriétés thermomécanique avec le temps*), et le prix de la matière de fabrication de ces couvertures transparentes [12].

3.3.2 Fluide caloporteur

Pour extraire la chaleur accumulée au sein de la plaque absorbante, on utilise habituellement soit de l'eau ou de l'air. Ce dernier se distingue par les avantages suivants sur le système en question :

- ⇒ Pas de problème de gel à l'hiver ou d'ébullition à l'été.
- ⇒ Avec l'air sec, il n'y pas de problème de corrosion.
- ⇒ Mise en œuvre simple.
- ⇒ Système fiable.

Malgré tous ces avantages, l'utilisation de l'air comme fluide caloporteur peut s'influer par les éléments suivants :

- ⇒ L'air ne peut servir qu'au chauffage des locaux.
- ⇒ Le produit de la masse volumique par la chaleur spécifique est faible pour l'air Comparativement à celui de l'eau.
- ⇒ Les conduites doivent avoir une forte section pour laisser passer un débit suffisant compte tenu de la remarque précédente.

⇒ Les transferts thermiques sont moins bons qu'avec l'eau.

Dans le cas de tuyauteries soudées sur la face arrière de la plaque absorbante, il faut prendre soin aux soudures afin de réduire le plus possible la résistance thermique de contact [9].

3.3.3 Absorbeur

L'absorbeur est l'élément central du capteur solaire, il absorbe le rayonnement solaire global de courtes longueurs d'onde et le convertit en chaleur. Il est constitué d'une plaque plane de conductivité thermique élevée, au-dessous de cette plaque circule le fluide caloporteur. Le matériau constituant la plaque de l'absorbeur peut être soit métallique soit en matière plastique. Ce dernier est utilisé uniquement dans le cas où un milieu agressif circule directement au-dessous de l'absorbeur, tel est le cas de l'eau d'une piscine (*contient des désinfectants des eaux favorisant la corrosion des matériaux métalliques*). Les matériaux métalliques constituant la plaque absorbante sont le plus souvent : le cuivre, l'acier inoxydable ou bien l'aluminium. Ces matières sont tous de bonnes conductibilités thermiques. En pratique, on emploie généralement une feuille de cuivre ou d'aluminium de 0.2 (mm) d'épaisseur avec des variantes de 0.15 à 0.3 (mm). Les canaux contenant le fluide caloporteur (*conduit cylindrique de forme serpentin*) ne doivent pas être trop espacés, afin que la transmission de la chaleur de l'absorbeur vers le fluide caloporteur se fasse plus efficacement. Dans la pratique, on choisit généralement un intervalle de 100 à 120 (mm) entre les tubes. Cela représente un compromis entre une évacuation optimale de la chaleur, une faible inertie thermique et une utilisation réduite des métaux tout en préservant des coûts de fabrication bas [13].

3.3.4 Isolation thermique

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

a) Partie avant de l'absorbeur

La lame d'air située entre la vitre et l'absorbeur se comporte comme un isolant vis-à-vis de la transmission de chaleur par conduction. Cependant, si l'épaisseur de cette lame est trop grande, une convection naturelle intervient, d'où une perte d'énergie. Pour les températures usuelles de fonctionnement du capteur plan, l'épaisseur de la lame d'air est de 2.5 (cm). En plaçant deux vitres, on limite les pertes dues à la réémission ainsi que les pertes par conduction et par convection.

b) Parties arrière et latérale

Afin de limiter les pertes thermiques à la périphérie du capteur, on peut placer une ou plusieurs couches d'isolant qui doit résister et ne pas dégazer aux hautes températures, sinon, il faut s'attendre à voir apparaître un dépôt sur la face intérieure de la couverture. En plus d'utiliser un isolant pour minimiser les pertes thermiques on peut augmenter la résistance de contact entre la plaque, l'isolant et le coffre en évitant de presser ces surfaces les unes contre les autres car dans le cas d'une forte rugosité, il peut exister entre les deux faces en contact un film d'air qui empêche la chaleur de passer facilement par conduction. Le choix du matériau à utiliser dépend de :

- ❖ Sa résistance aux températures de fonctionnement ;
- ❖ La permanence de ces caractéristiques dans le temps (*conductivité thermique*).
- ❖ La résistance aux chocs, à l'humidité, au feu, à l'eau de pluie etc. [14].

3.3.5 Coffre

Le coffre fabriqué couramment en aluminium ou en bois, enferme l'absorbeur et l'isolation thermique du capteur, les protégeant ainsi contre l'humidité et les détériorations mécaniques [15].

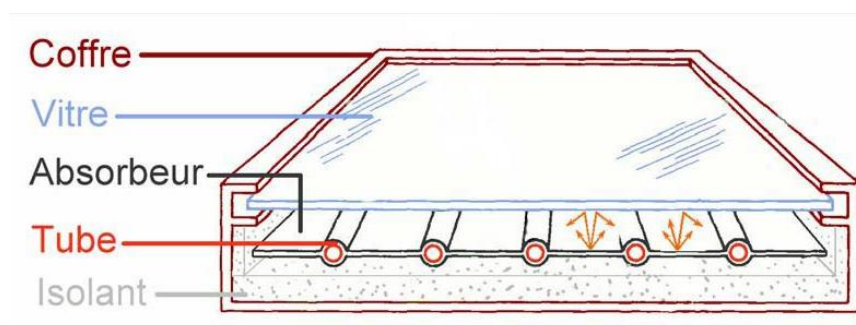


Figure (I.4) : Schéma descriptif d'un capteur solaire plan

3.4 Capteurs solaires plan à air

Comme leur nom l'indique ils produisent de l'air chaud. Ces capteurs sont utilisés dans certaines installations de ventilation, d'aération douce et de chauffage des locaux. Dans le cas du chauffage à air, on peut directement faire passer l'air à réchauffer à travers le capteur. Une application particulière de ces capteurs est le séchage de certains produits agricoles : Foin, Figue, Abricot, etc. Noter bien que ces systèmes solaires sont légers et n'ont pas de problème de refroidissement ni d'ébullition, c'est l'avantage par rapport aux capteurs à liquide.

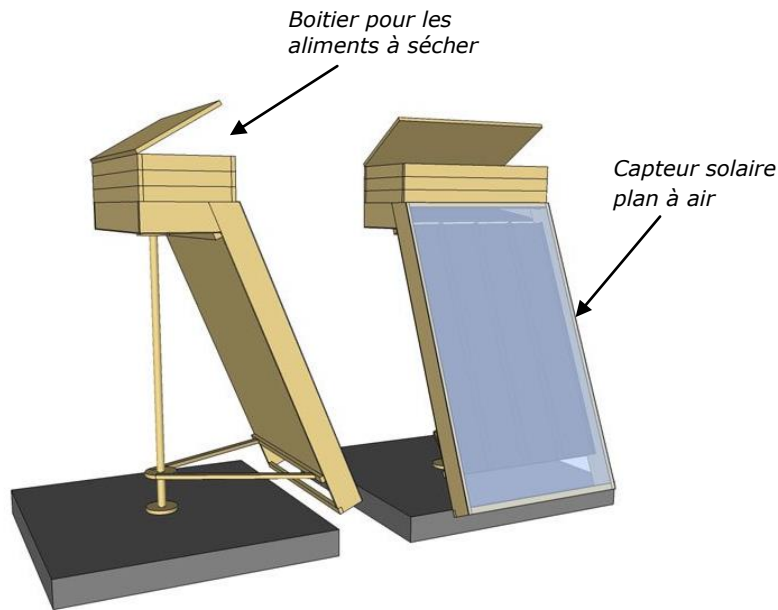


Figure (I.5) : Séchoir à air pour le séchage des produits agricoles

3.4.1 Différents types des capteurs solaires plans à air

A) Capteur solaire à absorbeur plan

Pour ce type de capteurs, l'absorbeur est une plaque en tôle plane, leur variété réside dans le nombre de vitres qui les composent et dans le nombre des veines d'écoulement d'air.

On cite plusieurs sortes de capteurs selon leur écoulement :

- ⇒ Capteur plan à air à simple passage (Voir fig. (I.6)).
- ⇒ Capteur plan à air à plusieurs passages (Voir fig. (I.7)).

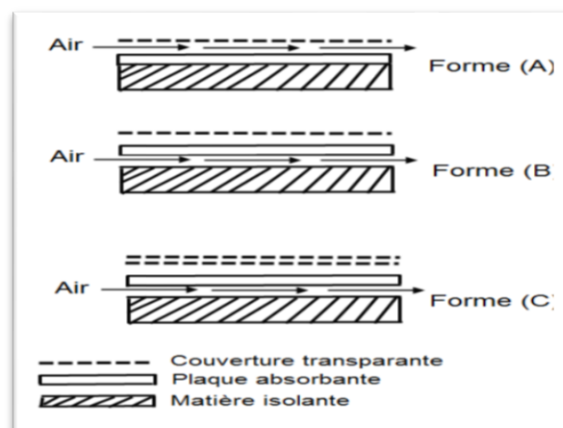


Figure (I.6) : Capteur solaire plan à air simple passe : A) écoulement d'air en dessus de l'absorbant, B) écoulement d'air en dessous de l'absorbant C) capteur à double vitrage avec écoulement d'air en dessous de l'absorbant [9].

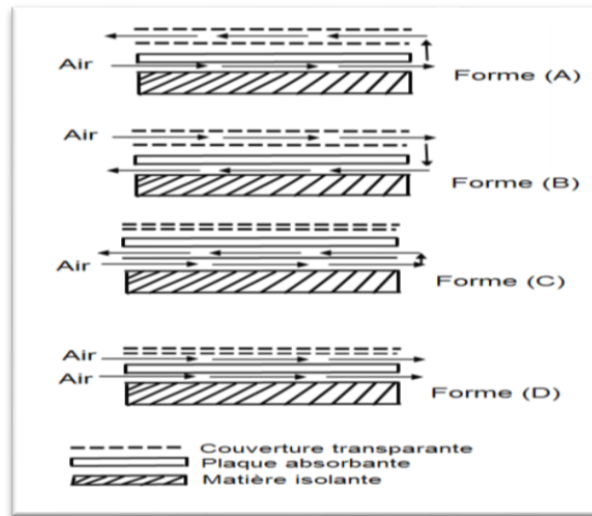


Figure (I.7) : Capteur solaire plan à air multi-passe : A, B et D) Écoulement d'air autour de l'absorbant, C) écoulement d'air en dessous de l'absorbant [6].

B) Capteurs à absorbeur perméable

L'amélioration du rapport surface d'échange sur projection de la surface d'absorbant consiste à utiliser un absorbeur poreux.

On peut utiliser à cet effet du tissu noir, de la fibre de verre noircie, des écrans rainurés et étirés, de la laine d'acier ou des assemblages de lamelles.

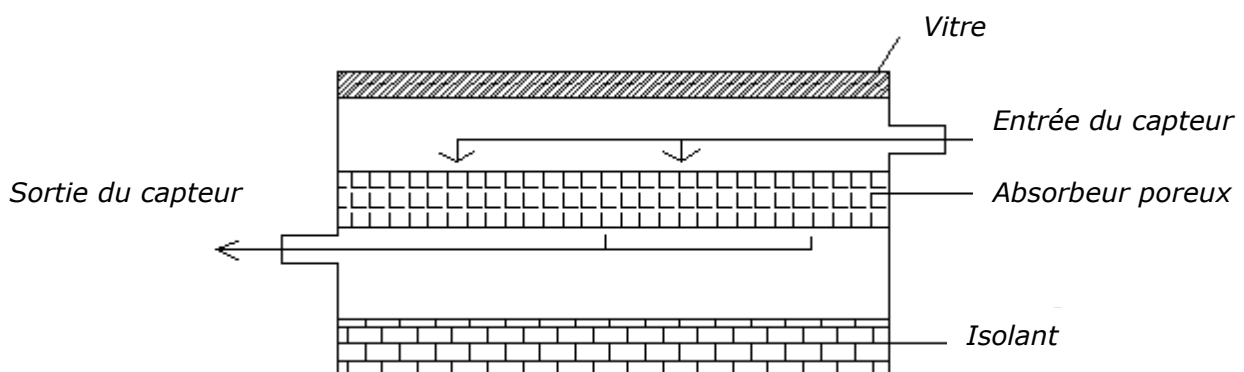


Figure (I.8) : Capteurs à absorbeur perméable

C) Capteurs à absorbeur à géométrie variable

Si l'on veut utiliser le vitrage comme une garde pour réduire les pertes de chaleur il faut que le transfert de chaleur ait lieu entre le dos de l'absorbant et l'air. L'absorbant constitue alors la paroi frontale du canal d'air et le revêtement intérieur de l'isolation constitue le fond du canal. On peut augmenter taux d'échange thermique, entre

l'absorbeur et le fluide caloporteur, soit en donnant un pouvoir émissif élevé à l'absorbeur, ou bien en donnant à l'absorbeur une surface striée ou rainurée.

Les formes les plus utilisées sont les suivantes:

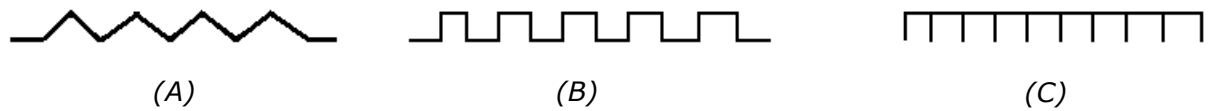


Figure (I.9) : différents types géométriques de l'absorbeur. (A) : Absorbeur En forme V, (B) Absorbeur en forme U, (C) : Absorbeur à Ailettes droites [1].

4 Capteurs plans vitrés et non vitrés

4.1 Capteurs plans vitrés

Le capteur plan vitré est généralement utilisé dans les installations de chauffage de l'eau sanitaire ou des locaux. La température de fonctionnement est généralement comprise entre 30°C et 60°C. Il est constitué d'une caisse isolée couverte par un vitrage (*boîtier*). A l'intérieur, on retrouve l'absorbeur dans lequel circule le fluide caloporteur. Le vitrage bloque le rayonnement infrarouge et isole la lame d'air au-dessus de l'absorbeur pour garder la chaleur.

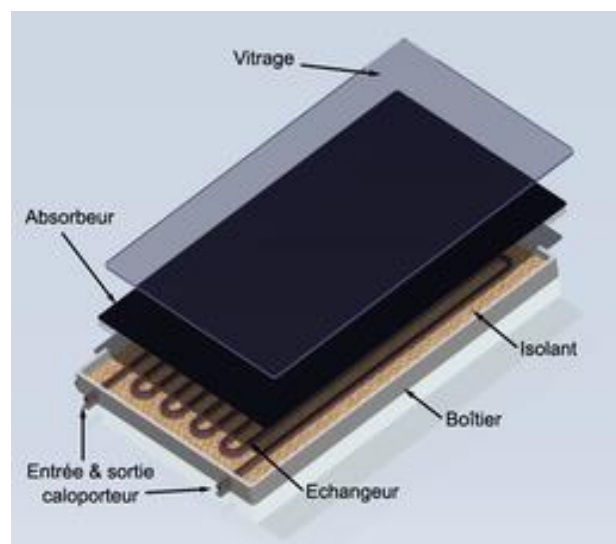


Figure (I.10) : Principaux éléments constituant un capteur solaire plan vitré

4.1.1 Avantages

Les avantages de ce type de capteur sont les suivants :

- ⇒ Longue durée de vie.

- ⇒ Bonne efficacité énergétique.
- ⇒ peu d'entretiens.

4.1.2 Inconvénients

Les inconvénients liés à ce type de capteur peuvent se résumer comme suit :

- ⇒ Plus coûteux que des capteurs non vitrés.
- ⇒ Grande surface de captation.
- ⇒ Nécessite un traitement chimique pour les fluides caloporteurs liquides.

4.2 Capteurs plans non vitrés

Le capteur plan non vitré est beaucoup plus économique mais moins répandu. Très dépendant de la température extérieure, il est généralement utilisé dans les installations de chauffage de piscine mais peut parfois faire office de système de chauffage de l'eau sanitaire dans les pays chaud. Dans les zones tempérées, la température de fonctionnement est généralement inférieure à 30°C. Il est seulement constitué d'un absorbeur dans lequel circule le fluide caloporteur.



Figure (I.11) : Capteur solaire plan non vitré

4.2.1 Avantages

- ⇒ Moins coûteux que des capteurs vitrés.
- ⇒ Peu d'entretiens.
- ⇒ Rendement élevé pour des températures <40°C.
- ⇒ L'absorbeur peut constituer lui-même le toit des bâtiments.

4.1.2 Inconvénients

- ⇒ Fonctionne uniquement pour des faibles températures .
- ⇒ Grande surface de captation pour les grandes installations.

5 Applications des capteurs solaires plans

Les capteurs thermiques plans sont intégrés dans plusieurs techniques de chauffage solaire. Parmi ces dernières on peut citer :

5.1 Chauffage de l'eau sanitaire

Le chauffage de l'eau sanitaire est l'une des technologies solaires les plus accessibles aux particuliers. Le principe est simple: des capteurs plans thermiques transforment le rayonnement lumineux en chaleur. Le fluide caloporteur circule dans les capteurs thermiques et transporte la chaleur jusqu'à l'eau sanitaire stockée dans un ballon.

Bien entendu, plusieurs systèmes permettent de chauffer l'eau sanitaire, avec pour chacun ses avantages et ses inconvénients. On peut citer comme exemple :

- ⇒ Chauffe-eau monobloc.
- ⇒ Chauffe-eau à circulation forcé.
- ⇒ Chauffe-eau à auto-vidange.

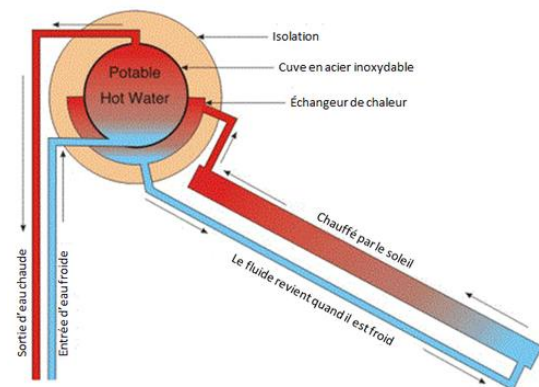


Figure (I.12) : Chauffe-eau solaire monobloc.

5.2 Chauffage de locaux

Le chauffage de locaux à partir de capteurs solaires plan n'est pas encore très développé même si l'évolution des normes d'isolation des bâtiments peut rendre cette technologie plus attractive. Le principal frein est que l'on a principalement besoin de chauffage en hiver, période durant laquelle l'ensoleillement est réduit. Il existe trois manières de chauffer un local par l'énergie solaire thermique: par des radiateurs conventionnels, par une ventilation à air chaud ou par un plancher chauffant.

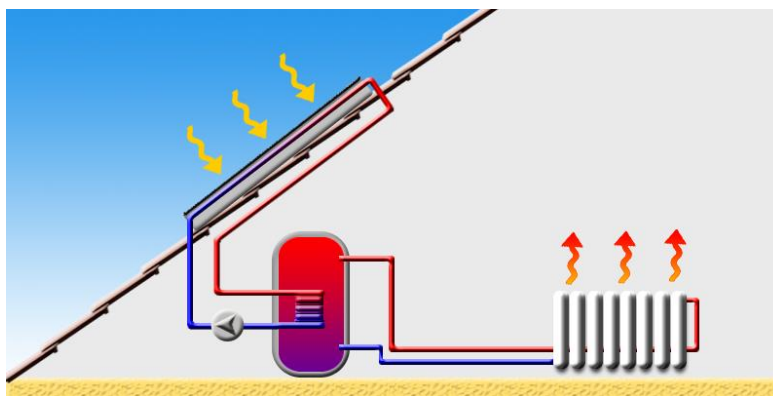


Figure (I.13) : Chauffage domestique par radiateur conventionnel.

5.3 Séchage indirect des produits agricoles

Le séchage naturel des produits agricoles est un mode traditionnel de séchage solaire qui consiste à utiliser l'action du rayonnement solaire et des mouvements convectifs de l'air ambiant pour réduire le taux d'humidité contenu dans le produit à sécher afin de mieux le conserver. Durant le processus de séchage naturel, les produits ne sont en général protégés ni contre les aléas climatiques, ni contre les insectes. Il en résulte leur salissement progressif, leur exposition aux micro-organismes et donc leur infection. Dans le but d'obtenir des produits séchés de meilleures qualités, d'accélérer le processus de séchage et de réduire sa forte dépendance vis-à-vis des conditions climatiques, l'utilisation des séchoirs artificiels à capteur solaire plan (*séchage indirect*) peut être considéré comme meilleur moyen permettant de palier les problèmes rencontrés durant le procédé de séchage direct. Le principe de fonctionnement d'un séchoir solaire thermique indirect est basé sur le réchauffement des produits à sécher par l'air chaud sortant du capteur solaire plan. Ce réchauffement, sous conditions maîtrisées, provoque une diminution du taux d'humidité relative, et réduit la durée de séchage.

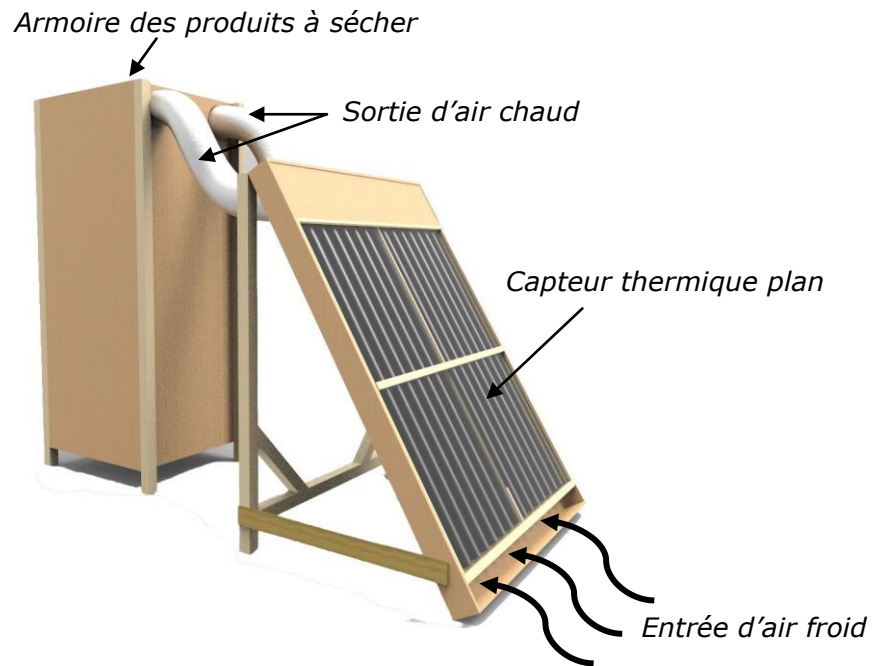


Figure (I.14) : Séchoir artificiel des produits agricoles associé au procédé de Séchage indirect.

6 Rendement de capteur solaire plan

Le bilan énergétique d'un capteur plan est défini par l'énergie solaire absorbée par le capteur Φ_{ab} , l'énergie utile emmagasinée dans le fluide caloporteur Φ_{ut} , les pertes thermiques Φ_{pe} et l'énergie d'inertie thermique de l'installation Φ_{in} . Ce bilan thermique est donc peut s'écrire par :

$$\Phi_{ab} = \Phi_{ut} + \Phi_{pe} + \Phi_{in} \quad (I.3)$$

Le rendement d'un capteur solaire plan est obtenu par le rapport entre la puissance thermique utile Φ_{ut} et la puissance solaire globale G^* reçue par le capteur sur une période Δt , ce rendement est donnée par :

$$\eta = \frac{\int_0^{\Delta t} \Phi_{ut} dt}{\int_0^{\Delta t} G^* dt} \quad (I.4)$$

La puissance globale reçue par le capteur G^* s'exprime en (W/m^2). Elle peut être retrouvée sur les atlas des gisements solaires. L'énergie utile Φ_{ut} produit par le capteur est obtenue par l'expression du bilan énergétique en régime permanent où l'énergie d'inertie thermique Φ_{in} est considérée comme nul (état stationnaire) :

$$\Phi_{ut} = \Phi_{ab} - \Phi_{pe} \text{ (I.5)}$$

Avec :

$$\Phi_{ab} = \varepsilon_v \cdot \alpha_a \cdot G \text{ (I.6)}$$

ε_v : Émissivité thermique de la vitre.

α_a : Coefficient d'absorption de l'absorbeur.

Et :

$$\Phi_{pe} = \Gamma (T_p - T_\infty) \text{ (I.7)}$$

Γ : Conductance thermique du capteur.

T_p : Température de l'absorbeur.

T_∞ : Température ambiante.

7 Conclusion

Le premier chapitre intitulé généralités et définitions : Energies solaires ; capteurs solaires, a été réservé à la présentation des généralités et définitions en relation avec l'énergie solaire et son exploitation. Ce chapitre a été commencé par une introduction qui présente brièvement le comportement énergétique du soleil et son influence sur celui de la terre. Des définitions liées au soleil, en particulier à sa structure et son rayonnement, ont été aussi présentées. Les capteurs solaires thermiques, dispositifs responsable de la conversion de l'énergie solaire en énergie thermique, sont exposés en détail dans ce chapitre notamment les capteurs thermiques plans. On a achevé ce chapitre par la présentation des lois permettant le calcul du rendement énergétique d'un capteur thermique plan et une conclusion.

Chapitre II

*Modélisation mathématique et
numérique du problème*

1 Introduction

Un des problèmes essentiels de la conversion de l'énergie solaire en énergie thermique est les faibles échanges thermiques entre le fluide caloporteur et la plaque absorbante du capteur solaire, en raison de la présence d'une zone d'inertie thermique dite sous couche laminaire, au-dessous de l'absorbeur. Cette dernière joue le rôle de résistance thermique qui bloque l'échange thermique total et augmente ainsi les pertes thermiques. En conséquence, pour améliorer les performances thermiques d'un capteur solaire plan, il faut éliminer cette couche. Une des solutions proposée pour éliminer cette dernière est l'implantation des rugosités artificielles (*chicanes, nervures*), au niveau du conduit du capteur, afin de créer le régime turbulent pleinement développé, notamment près de l'absorbeur, pour détruire cette inertie thermique (*sous couche laminaire*) et par conséquent augmenter l'échange thermique entre l'absorbeur et le fluide caloporteur.

La résolution numérique de notre problème consiste à résoudre l'ensemble des équations gouvernantes associées au phénomène à étudier (*écoulement stationnaire non isotherme d'un fluide caloporteur le long d'un conduit de capteur solaire plan*). Tous les phénomènes physiques de transfert de chaleur et de masse sont régis par un système d'équations aux dérivées partielles (*équations : de continuité, de quantité de mouvement et d'énergie*) qu'il convient de les résoudre pour connaître les caractéristiques du champ thermique et dynamique au sein de l'écoulement. L'objectif de ce chapitre consiste à traduire mathématiquement le système d'équations gouvernantes associé au phénomène d'échange thermique au sein d'un conduit rectangulaire d'un capteur solaire plan contient de chicanes, et présenter la procédure numérique de résolution de ce système d'équations.

2 Géométrie du domaine d'étude

La géométrie du domaine d'étude est une conduite bidimensionnelle de forme rectangulaire, elle a une hauteur et une longueur noter H et L respectivement. La longueur L a été divisée en trois parties : longueur d'entrée L_e , longueur utile L_u et longueur de sortie L_s . Les deux longueurs d'entrée et de sortie ont été choisies de manière à assurer à la fois un écoulement développé à l'entrée et un bon mélange du fluide caloporteur à la sortie (*zone chaude et froide*). La partie utile de la conduite (*zone de test*) contient des rugosités artificielles de forme rectangulaire (*chicanes*), afin d'assurer un bon échange thermique entre l'absorbeur et le fluide caloporteur. La hauteur de la rugosité est notée e et son épaisseur est t . La distance entre deux chicanes successives désigne le pas entre chicanes, il est noté P . Le rapport entre la hauteur de la

chicane est la hauteur de la conduite est nommé le taux de blocage, il est noté $e_p = \frac{e}{H}$. Et celui entre le pas P et la hauteur de la conduite H est le pas relatif, il est indiqué par $P_r = \frac{P}{H}$.

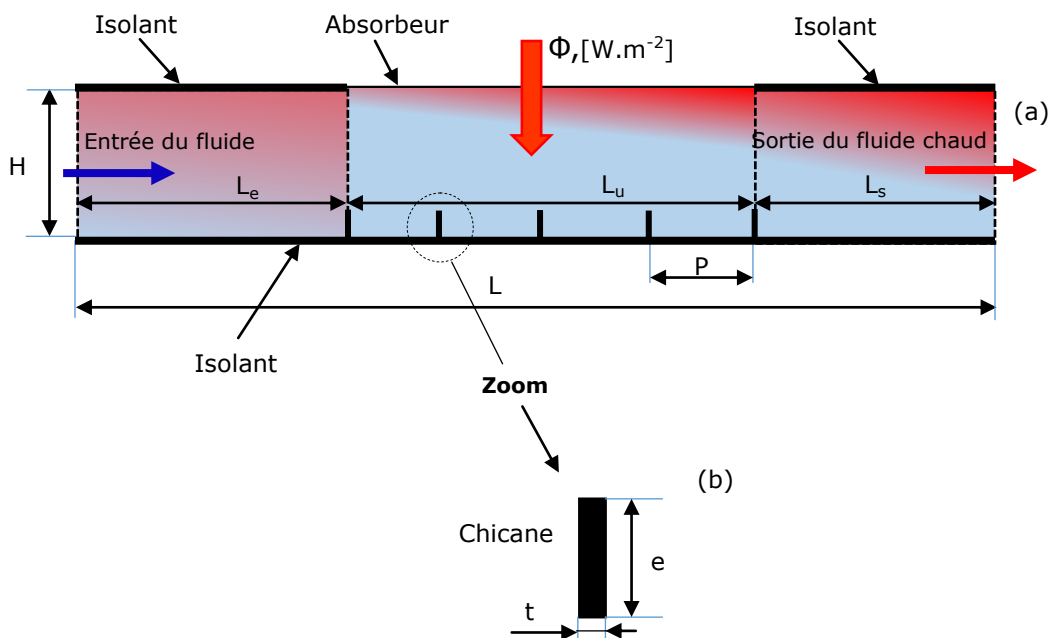


Fig (II.1) : Géométrie du domaine d'étude, (a) : Vue globale du capteur plan, (b) : Zoom sur l'obstacle artificiel (chicane).

Dans le tableau (II.1) nous avons résumés les dimensions géométriques du capteur plan, adopté pour nos simulations en régime laminaire stationnaire (Re inférieure à 2300).

Tab. (II.1) : Données géométriques associées au capteur plan.

Portions	Dimension, [m]
Longueur totale L	2.5100
Longueur d'entrée L_e	0.7500
Longueur utile L_u	1.4000
Longueur de sortie L_s	0.4000
Hauteur de la conduite H	0.0250
Epaisseur des chicanes t	0.0010
Hauteur de la chicane e	0.0075

3 Mise en équation du problème

Cette partie a été réservée à la formulation mathématique de l'échange thermique et de masse au sein d'un capteur solaire plan munit d'obstacles artificiels (*chicanes*). Le modèle mathématique adopté pour modéliser ces phénomènes est représenté par l'ensemble des équations de conservation, écrites en repère cartésien : conservation de la masse, conservation des quantités de mouvement et conservation de l'énergie. Ces équations peuvent être représentées mathématiquement par une seule équation nommée : l'équation de transport générale. Cette dernière exprime physiquement l'équilibre énergétique durant le transport (*advection et diffusion*) d'une propriété physique quelconque Φ à travers un volume de contrôle représentant le domaine d'étude (voir Fig. (II.1)).

L'équation de transport générale peut s'écrire par :

$$\frac{\partial(\rho\Phi)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{V}\Phi) = \nabla \cdot (\Gamma \nabla \Phi) + \psi \quad (\text{II.1})$$

Avec :

$\frac{\partial(\rho\Phi)}{\partial t}$: Variation temporelle de Φ au sein du domaine d'étude ;

$\nabla \cdot (\rho \mathbf{V}\Phi)$: Flux net convectif de Φ à travers les frontières du domaine d'étude ;

$\nabla \cdot (\Gamma \nabla \Phi)$: Flux net diffusif de Φ à travers les frontières du domaine d'étude ;

ψ : Génération de Φ dans le domaine d'étude ;

ρ : Masse volume du fluide ;

\mathbf{V} : Vecteur vitesse ;

Γ : Conductance diffusif.

Pour un écoulement stationnaire de fluide incompressible, l'équation (II.1) prend la forme suivante :

$$\rho \nabla \cdot (\mathbf{V}\Phi) = \nabla \cdot (\Gamma \nabla \Phi) + \psi \quad (\text{II.2})$$

Pour un écoulement stationnaire incompressible ($\frac{\partial}{\partial t}=0, \rho=cste$), la conservation de la masse au sein du domaine d'étude peut être tirée de l'équation (II.2) en supprimant le flux net diffusif et la génération de la propriété transportée Φ et en lui donnant la valeur 1. On obtient ainsi :

$$\nabla \cdot \mathbf{V} = 0 \quad (\text{II.3})$$

La projection de cette dernière équation dans un repère bidimensionnel cartésien donne :

$$\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} = 0 \quad (\text{II.4})$$

De même, l'équation de conservation de quantité de mouvement peut s'écrire en posant :

$\Phi = \mathbf{V}$, $\Gamma = \mu$ et $\Psi = -\nabla p + \rho \mathbf{f}$. On obtient donc :

$$\rho \nabla \cdot (\mathbf{V} \otimes \mathbf{V}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\mu \nabla \mathbf{V}) + \rho \mathbf{f} \quad (\text{II.5})$$

Dans l'équation (II.5) on a \otimes , p , μ et \mathbf{f} désignent : le produit dyadique (*produit tensoriel*), la pression statique, la viscosité dynamique et la résultante des forces massique s'exerçant sur le fluide, respectivement.

La projection de l'équation (II.5) sur un repère bidimensionnel cartésien (o, x, y) donne :

⇒ **Suivant la direction x**

$$V_x \frac{\partial V_x}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_x}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 V_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_x}{\partial y^2} \right) + f_x \quad (\text{II.6})$$

⇒ **Suivant la direction y**

$$V_x \frac{\partial V_y}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_y}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 V_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_y}{\partial y^2} \right) + f_y \quad (\text{II.7})$$

Où $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ représente la viscosité cinématique.

Pour notre étude les composantes f_x et f_y valent respectivement : $0, g=9.81 [m \cdot s^{-2}]$, où g désigne le champ gravitationnel.

Pour exprimer l'équation de conservation de l'énergie à partir de l'équation (II.2) on pose :

$\Phi = T$, $\Gamma = \frac{\lambda}{C_p}$. Cette équation devient :

$$\nabla \cdot (\mathbf{VT}) = \alpha \Delta T + \Psi \quad (\text{II.8})$$

Dans l'équation (II.8) T et α désignent respectivement la température du fluide en écoulement et la diffusivité thermique au sein de ce fluide. Il faut noter que la génération de chaleur Ψ au sein du fluide dépend du mécanisme de génération (*comme exemple : effet de joule, réaction chimique ou nucléaire*).

Dans un repère cartésien (o, x, y) , l'équation (II.8) s'écrit :

$$V_x \frac{\partial T}{\partial x} + V_y \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (\text{II.9})$$

Dans la suite nous présenterons l'ensemble des conditions aux limites associées aux équations gouvernantes de notre problème (éqts. (II.4). (II.6). (II.7) et (II.9)).

Nous avons résumés l'ensemble des conditions aux limites, associées au problème de transfert stationnaire de chaleur et de masse au sein d'un conduit rectangulaire, sur la figure (II.2).

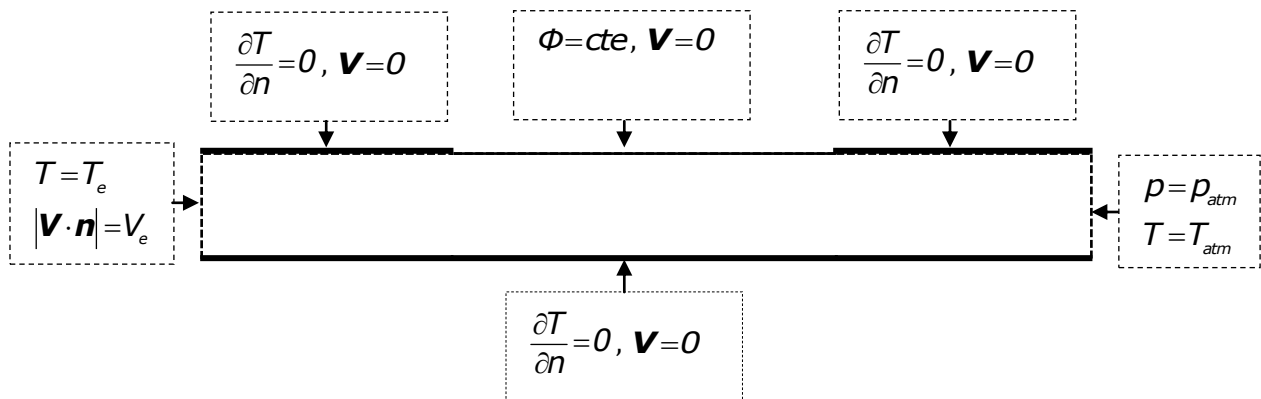


Fig (II.2) : Conditions aux limites associées au problème de transfert de chaleur et de masse stationnaire au sein d'une conduite rectangulaire bidimensionnelle.

Avec l'ensemble des équations gouvernantes (éqts. (II.4). (II.6). (II.7) et (II.9)) et les conditions aux limites mentionnées en Fig. (II.2), notre problème de point de vue mathématique est bien posé. Autrement dit, pour savoir le comportement thermique et

dynamique du fluide caloporteur au sein du conduit, on est besoin de résoudre numériquement l'ensemble de ces équations avec les conditions aux limites associées.

4 Modélisation numérique du problème

Vue le comportement mathématique non-linéaire des équations gouvernantes, la résolution de ces dernières nécessite l'utilisation des moyens numériques (*méthode des différences finis, méthode des volumes finis, méthode des éléments finis, etc.*). L'aide principale de ces méthodes est la transformation de l'écriture différentielle de ces équations en écriture algébriques, afin de profiter des moyens de l'analyse numériques pour les résoudre. Dans ce travail nous avons choisi la méthode des volumes finis comme méthode numérique pour la discrétisation des équations gouvernantes. Le choix de cette méthode est dû de part à l'utilisation du logiciel commercial Fluent (*version : 6.2.2*), et d'autre part à la forme conservative des équations discrètes obtenu après la discrétisation.

4.1 Méthode des volumes finis pour un problème de transport mixte stationnaire unidirectionnel

Cette partie a pour objectif la présentation des principes de base de la méthode des volumes finis, en résolvant un problème stationnaire unidirectionnel d'échange thermique au sein d'un écoulement à champ de vitesse constant.

Le transport advectif-diffusif stationnaire unidimensionnel de la propriété spécifique Φ est gouverné par l'équation différentielle suivante :

$$\frac{d}{dx}(\rho u \Phi) = \frac{d}{dx} \left(\Gamma \frac{d\Phi}{dx} \right) \quad (\text{II.10})$$

avec ρ désigne la masse volumique du fluide en écoulement et u sa vitesse.

La conservation de la masse au sein de l'écoulement peut s'écrire par :

$$\frac{d}{dx}(\rho u) = 0 \quad (\text{II.11})$$

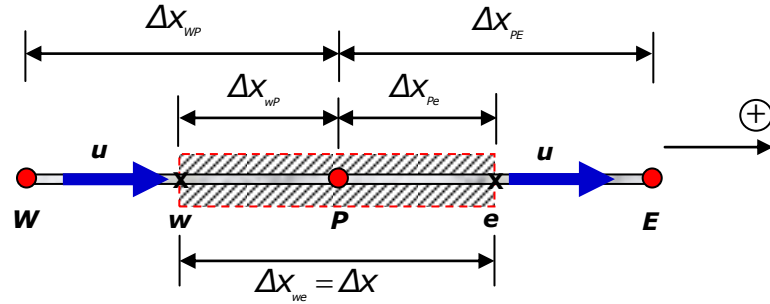


Figure II.3 : Géométries du volume V_c de contrôle utilisé pour le problème d'advection-diffusion stationnaire unidimensionnel.

L'intégration de l'éq. (II.10) au sein du volume de contrôle indiqué dans la fig. (II.3) donne :

$$\int_{V_c} \frac{d}{dx} (\rho u \Phi) dV = \int_{V_c} \frac{d}{dx} \left(\Gamma \frac{d\Phi}{dx} \right) dV \quad (\text{II.12})$$

D'après l'éq. (II.12) on a :

$$\int_{V_c} \frac{d}{dx} \left(\Gamma \frac{d\Phi}{dx} \right) dV = \left(\Gamma \frac{d\Phi}{dx} A \right)_e - \left(\Gamma \frac{d\Phi}{dx} A \right)_w \quad (\text{II.13})$$

de plus :

$$\begin{aligned} \int_{V_c} \frac{d}{dx} (\rho u \Phi) dV &= \int_{A_e} [\rho u \Phi]_w^e dA \\ &= \int_{A_e} (\rho u \Phi) dA - \int_{A_w} (\rho u \Phi) dA \\ &= (\rho u \Phi A)_e - (\rho u \Phi A)_w \end{aligned} \quad (\text{II.14})$$

Avec $A = dy \cdot dz$.

En remplaçant les éqts. (II.13) et (II.14) dans l'éq. (II.12), on obtient :

$$(\rho u \Phi A)_e - (\rho u \Phi A)_w = \left(\Gamma \frac{d\Phi}{dx} A \right)_e - \left(\Gamma \frac{d\Phi}{dx} A \right)_w \quad (\text{II.15})$$

Nous suivrons les mêmes démarches pour l'équation de conservation de la masse (II.11), on trouve :

$$(\rho u A)_e - (\rho u A)_w = 0 \quad (\text{II.16})$$

Nous définissons deux variables comme suit :

$$\begin{cases} F = \rho u \\ D = \frac{\Gamma}{\Delta x} \end{cases} \quad (\text{II.17})$$

qui désignent respectivement, le débit massique par unité de surface et la conductance diffusive. Sur les faces Ouest et Est du V_c , ces deux variables s'écrivent comme suit :

$$\begin{cases} F_w = (\rho u)_w \\ D_w = \frac{\Gamma_w}{\Delta x_{WP}} \end{cases} \quad (\text{II.18})$$

$$\begin{cases} F_e = (\rho u)_e \\ D_e = \frac{\Gamma_e}{\Delta x_{PE}} \end{cases} \quad (\text{II.19})$$

Pour évaluer les gradients de Φ , parus dans les termes de diffusion (voir éq. (II.15)), on utilise des schémas centrés aux différences finis, afin de profiter de la précision quadratique de ces derniers. Par contre, pour les termes advectifs, le choix des schémas de discrétisation dépend étroitement de l'intensité du champ de vitesse (schémas : UPWIND, loi en puissance, Hybride, Quick, etc.).

En utilisant des schémas centrés pour les termes diffusives, ainsi que les étqs. (II.18) et (II.19), l'éq. (II.15) devient :

$$(\rho u)_e \Phi_e A_e - (\rho u)_w \Phi_w A_w = \Gamma_e A_e \left(\frac{\Phi_E - \Phi_P}{\Delta x_{PE}} \right) - \Gamma_w A_w \left(\frac{\Phi_P - \Phi_W}{\Delta x_{WP}} \right) \quad (\text{II.20})$$

ou bien :

$$F_e \Phi_e - F_w \Phi_w = D_e (\Phi_E - \Phi_P) - D_w (\Phi_P - \Phi_W) \quad (\text{II.21})$$

De même l'éq. (II.16) prend la forme :

$$F_e - F_w = 0 \quad (\text{II.22})$$

Dans l'équation (II.22) il ne reste que l'évaluation des termes d'advection pour avoir la forme finale discrète.

Notez bien que les volumes de contrôle dont leurs faces coïncident avec ceux du domaine d'étude ils nécessitent un traitement spécial qui tient compte les conditions aux limites.

4.2 Logiciels de simulation

Comme nous avons signalé auparavant, l'ensemble de nos simulations ont été effectué avec le logiciel commercial Fluent (*version : 6.2.2*), où le maillage du domaine d'étude a été fait par le remaillleur automatique Gambit (*version : 2.2.2*). Dans ce qui suit nous présenterons une brève description de ces deux logiciels.

4.2.1 Logiciel Fluent-Gambit

La simulation numériques en mécanique des fluides (CFD ; Computation Fluide Dynamics) est reconnue aujourd'hui comme l'un des outils incontournables de conception et est largement utilisée dans l'industrie. Notre choix est basé sur « Fluent », qui permet de simuler tous les écoulements fluides, incompressible ou compressible, sous différents phénomènes physique d'écoulement laminaire ou turbulent, avec ou sans transfert thermique...etc. D'où « Gambit » représente le préprocesseur qui permet de : définir la géométrie, mailler les domaines de la géométrie d'un problème de CFD et aussi la définition du types de condition aux limites. Il génère des fichiers *.msh exporter sur Fluent. Notre calcul numériques a été effectuée à l'aide du Logiciel « Fluent » version 6.3.26 ; Le logiciel permet la prédiction des écoulements fluides par résolution des équations de conservation de la masse. Le recours cas de la résolution numérique s'impose et nous approuve de choisir la méthode numérique conforme pour qu'on obtienne des meilleures approximations. Parmi les méthodes numériques les plus fréquemment utilisées dans les problèmes d'écoulements et de transferts thermiques on a choisi la méthode des volumes finis .

4.2.2 Algorithme SIMPLE

Les étapes de l'algorithme SIMPLE sont :

- 1. Donner un champ de pression P^* .*
- 2. Résoudre l'équation de quantité de mouvement*
- 3. Résoudre l'équation de P^* .*

4. Calculer P .

5. Calculer u, v des équations de correction des vitesses.

6. Résoudre les équations discrétisées pour les autres grandeurs physiques (l'équation d'énergie par exemple).

7. Traiter la pression corrigée P comme une nouvelle pression estimée P^* , retourner à l'étape 2 et répéter jusqu'à convergence.

5 Conclusion

Ce chapitre a été réservé à la modélisation mathématique et numérique du problème à résoudre (*transfert de chaleur de le long d'un capteur thermique plan à air*). Nous avons commencé par la présentation de la géométrie du domaine d'étude. Par la suite nous avons exposé l'ensemble des équations gouvernantes ainsi que les conditions aux limites associées, en relation avec le transport de chaleur et de masse au sein du capteur. La méthode des volumes finis, technique mathématique permettant de transformer l'écriture différentielle des équations gouvernantes en écriture algébrique, a été brièvement présentée. Nous avons finalisé ce chapitre par une brève description du logiciel Fluent ainsi que l'algorithme de résolution des systèmes d'équations algébriques SIMPLE et une conclusion.

Chapitre III

Résultats et discussion

1 Introduction

Cette partie a été réservée à la présentation des résultats, issus des simulations numériques par le logiciel commercial Fluent (*version : 6.3*), d'écoulements de fluide newtonien (*l'air*) le long d'une conduite rectangulaire muni de rugosités artificielles (*chines*), représentant un capteur solaire plan bidimensionnel. L'objectif de ces résultats est la compréhension par voix numériques de l'influence des sollicitations cinématique, thermique et géométrique sur l'échange de chaleur et de masse au sein du capteur.

2 Résultats numériques

2.1 Maillage adopté pour les calculs

Le maillage que nous avons adopté pour nos simulations est présenté en Fig. (III.1). Le choix de ce maillage est basé sur le contrôle de l'influence géométrique sur les résultats numériques. Autrement dit, on choisit un maillage de telle sorte que le changement des tailles des pas de discrétisation spatiales (Δx et Δy) n'influe pas sur le résultat.

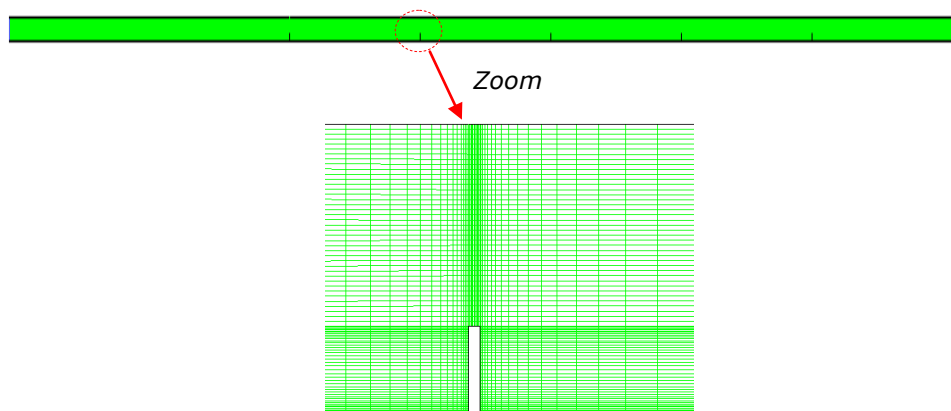


Fig. (III.1) : Vue de maillage adopté pour nos simulations. (a) Vue globale, (b) zoom au niveau de la chicane.

Dans le tableau Tab. (III.1) nous montrons les principales caractéristiques du maillage paru dans la Fig. (III.1).

Tab. (III.1) : Caractéristiques géométriques du Maillage paru

Caractéristique géométriques	Valeurs
Nombre d'éléments	34000
Tailles minimales d'éléments	2.317×10^{-9} [m ²]

Tailles minimales suivant x	5.207×10^{-5} [m]
Tailles minimale suivant y	4.450×10^{-5} [m]

2.2 Résultats pour tout le domaine

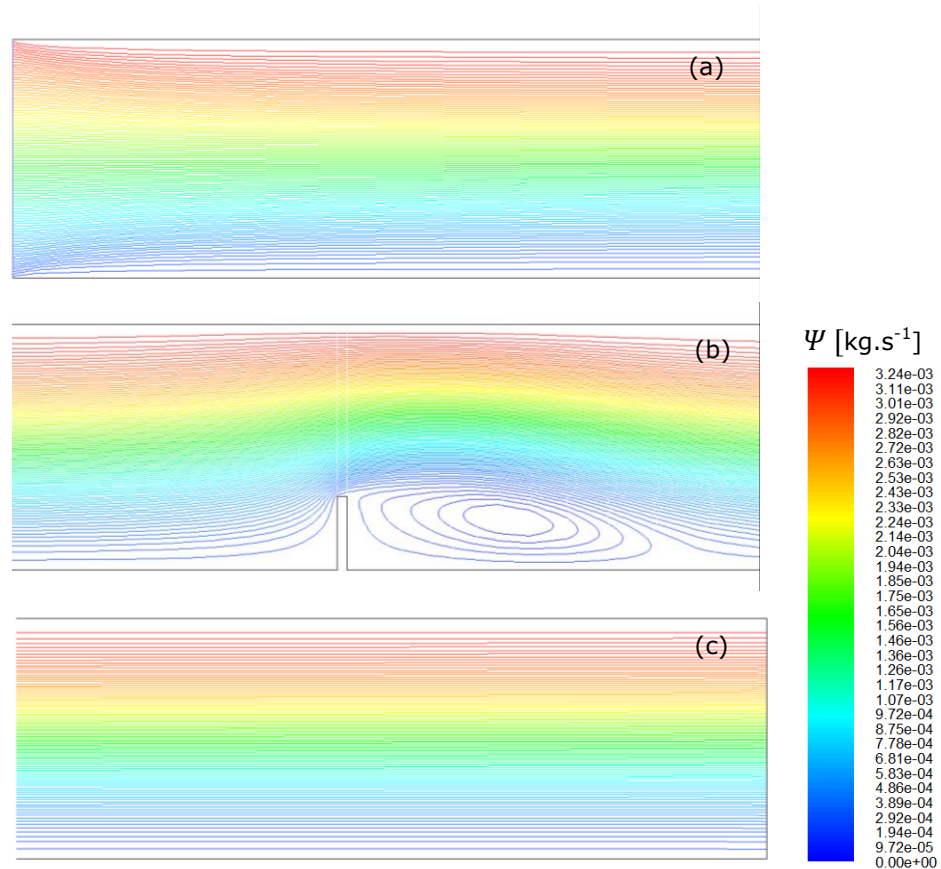


Fig. (III.2) : Morphologie des isovaleurs de la fonction de courant au sein de la conduite rectangulaire. (a) Zone d'entrée, (b) zone utile et (c) zone de sortie. (5 chicanes, $e_p = 0.3$, $V_e = 0.1$ [m/s], $P_r = 34.95$ et $\Phi = 500$ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]).

En Fig. (III.2) nous présentons l'allure des isovaleurs de la fonction de courant (*lignes de courant*) au sein du domaine d'étude. L'analyse de cette figure montre que les lignes de courant, dans les zones d'entrée et de sortie de la conduite, sont des droites parallèles à la direction d'écoulement. Au niveau de l'obstacle (*chicane*) nous constatons la présence des zones de recirculation à l'aval de l'obstacle. Ces recirculations peuvent être dues au décollement du fluide caloporteur au sommet de la chicane.

Les isovaleurs de la vitesse le long de la conduite rectangulaire sont schématisées sur la Fig. (III.3). A l'entrée et à la sortie de la conduite l'écoulement est cinématiquement établi. Autrement dit, le vecteur vitesse est parallèle à la direction de l'écoulement. Au niveau de la chicane, l'intensité du champ de vitesse augmente brusquement. Cette

augmentation est due à la diminution brusque de la section de passage du fluide caloporteur a cette endroit (*conservation de la masse*).

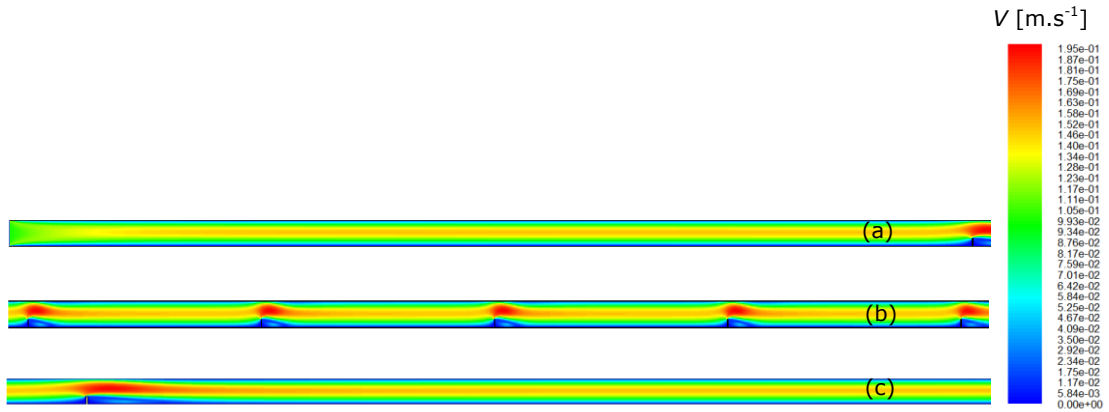


Fig. (III.3) : Distribution de la vitesse V au sein de la conduite rectangulaire. (a) Zone d'entrée, (b) zone utile et (c) zone de sortie (5 chicanes, $e_p = 0.3$, $V_e = 0.1$ [m/s], $Pr = 34.95$ et $\phi = 500$ [W.m⁻²]).

L'allure de la température au sein de la conduite rectangulaire est donnée en Fig. (III.4). Selon cette dernière nous constatons que la distribution de la température est homogène à l'entrée et à la sortie de la conduite. Par contre dans la partie utile du capteur, l'influence de l'échange convectif entre la plaque absorbante et le fluide caloporteur est plus remarquable. Autrement dit, l'augmentation de la température du fluide dans les zones près de l'absorbeur. Cette augmentation entraîne l'augmentation de la température à la sortie du capteur, qui est de l'ordre de 550 [K].

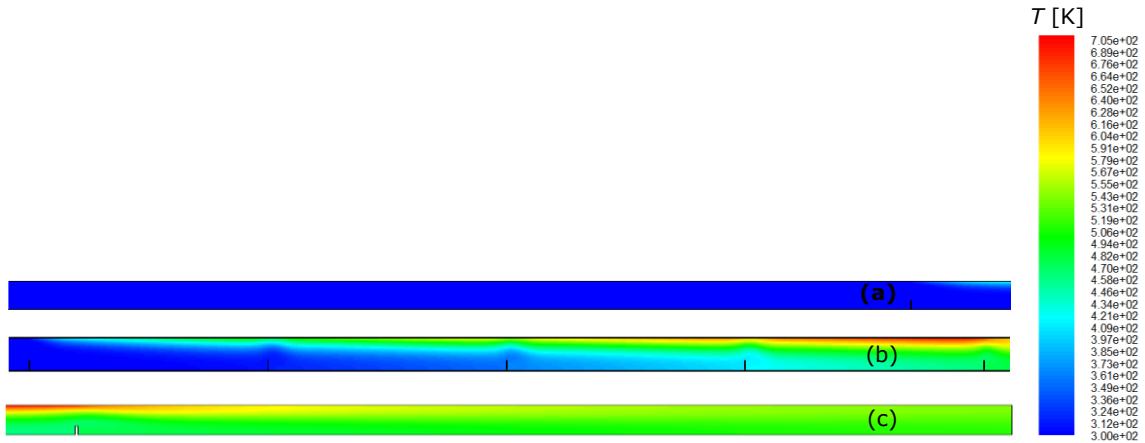


Fig. (III.4) : Allure de la température le long de la conduite. (a) Zone d'entrée, (b) zone utile et (c) zone de sortie (5 chicanes, $e_p = 0.3$, $V_e = 0.1$ [m/s], $Pr = 34.95$ et $\phi = 500$ [W.m⁻²]).

2.3 Résultats pour différents flux de chaleur

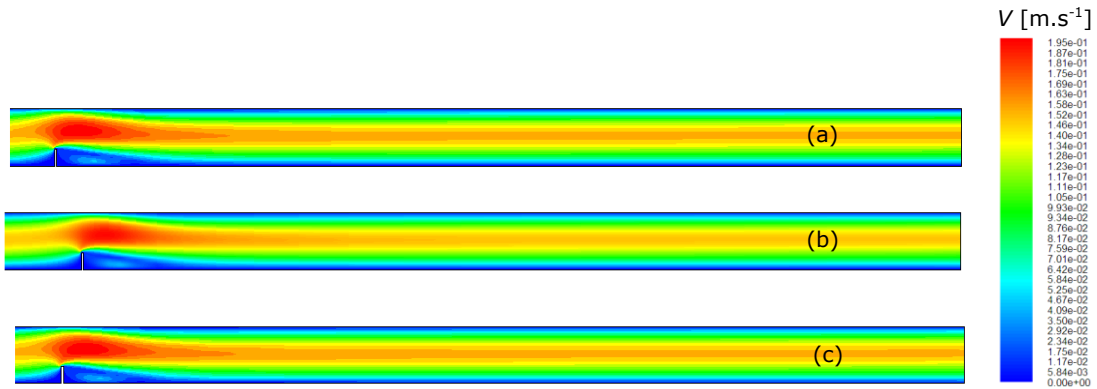


Fig. (III.5) : Distribution de la vitesse V à la sortie de la conduite. (a) $\Phi = 300$ $[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}]$, (b) $\Phi = 500$ $[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}]$ ET (c) $\Phi = 700$ $[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}]$. (5 chicanes, $e_p = 0.3$, $V_e = 0.1$ $[\text{m}/\text{s}]$, $P_r = 34.95$).

Pour différentes conditions thermique sur l'absorbeur ($\Phi = 300, 500$ et 700 $[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}]$) nous présentons en Fig. (III.5) la distribution de la vitesse V dans la zone de sortie du capteur. En examinant cette figure, nous remarquons que la variation du flux de chaleur imposé au sein de l'absorbant est peu d'influence sur la distribution du champ de vitesse dans le capteur. Cela peut s'interpréter par la faible résistance du fluide caloporteur à l'écoulement (*viscosité dynamique de l'ordre de $10^{-5}\text{Pa}\cdot\text{s}$*).

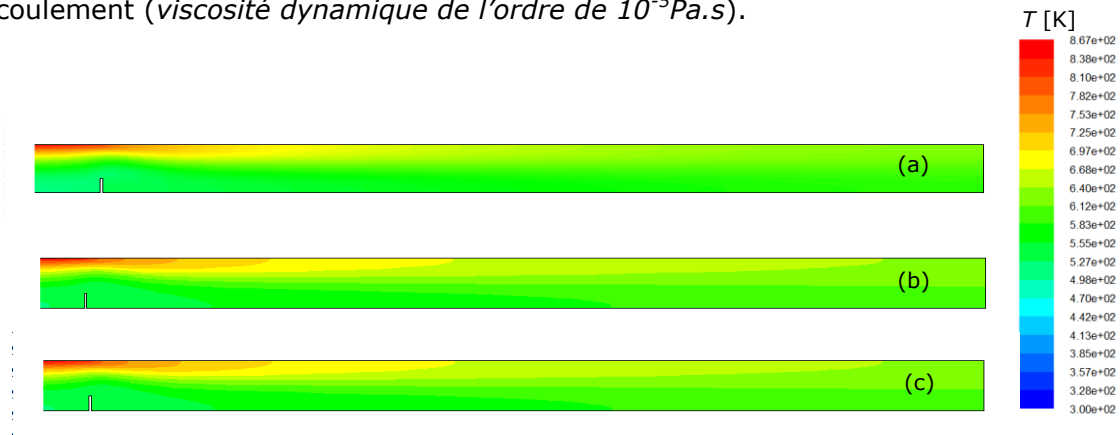


Fig. (III.6) : Distribution de la température T à la sortie de la conduite. (a) $\Phi = 300$ $[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}]$, (b) $\Phi = 500$ $[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}]$ et (c) $\Phi = 700$ $[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}]$. (5 chicanes, $e_p = 0.3$, $V_e = 0.1$ $[\text{m}/\text{s}]$, $P_r = 34.95$).

L'allure de la température, pour différentes conditions aux limites thermiques imposées au niveau de l'absorbeur ($\Phi = 300, 500$ et 700 $[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}]$), est présentée en Fig. (III.6). D'après cette dernière, nous remarquons que la température du fluide caloporteur augmente, notamment près de la paroi, en se rapprochant de la sortie de la conduite. Cela dû probablement à l'augmentation du flux de chaleur dans l'absorbeur.

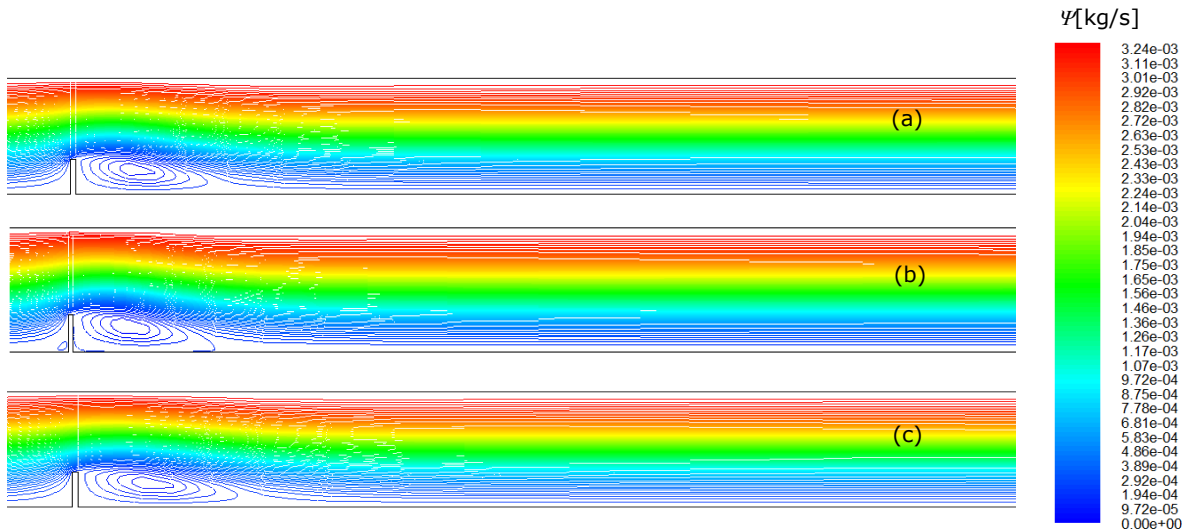


Fig. (III.7) : Morphologie des lignes de courant au voisinage des chicanes. (a) $\phi = 300$ [W.m⁻²], (b) $\phi = 500$ [W.m⁻²] ET (c) $\phi = 700$ [W.m⁻²]. (5 chicanes, $e_p = 0.3$, $V_e = 0.1$ [m/s], $P_r = 34.95$).

La forme des lignes de courant (*isovaleurs de la fonction de courant*) près des chicanes est schématisée en Fig. (III.7). L'analyse de cette figure nous permis de constater la présence des zones de recirculation, à l'aval des chicanes, dont la taille est proportionnelle au flux imposé sur l'absorbeur. A la sortie de la conduite, les lignes de courant sont des droites parallèles à la direction de l'écoulement x (*écoulement cinématiquement établi*).

2.4 Résultats pour différents taux de blocage

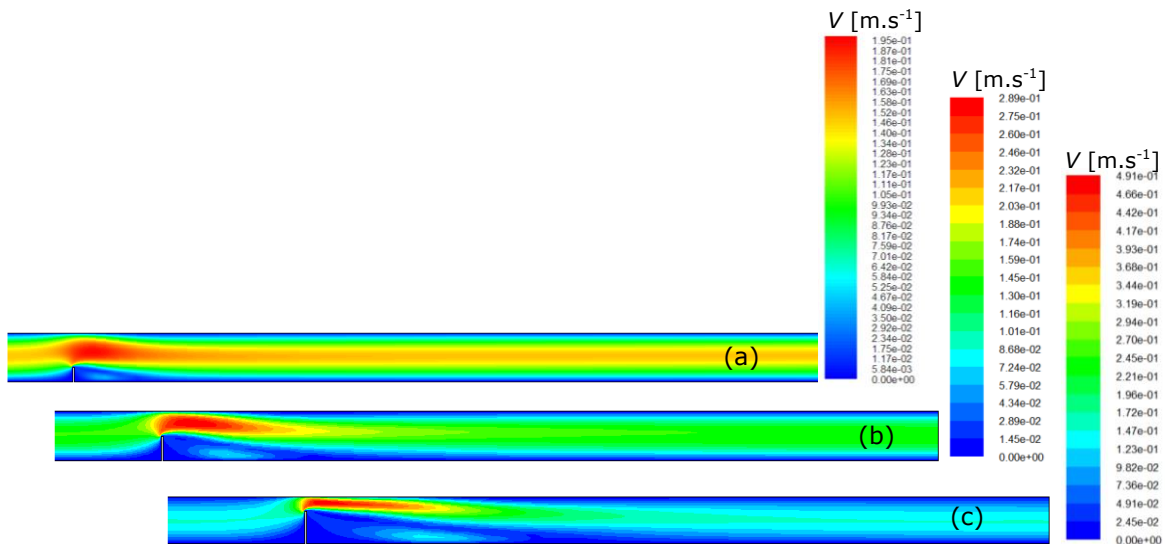


Fig. (III.8) : Distribution de la vitesse à la sortie du capteur pour différents rapports de blocage e_p . (a) $e_p = 0.3$, (b) $e_p = 0.5$ et (c) $e_p = 0.7$. (5 chicanes, $\phi = 500$ [W/m²], $V_e = 0.1$ [m/s], $P_r = 34.95$).

Pour différentes hauteurs des chicanes, nous présentons en Fig. (III.8) l'allure des isovalues de l'intensité du champ de vitesse à la sortie du capteur. L'analyse de cette figure nous permis de constater que la vitesse au-dessus de la chicane est proportionnelle à la taille des chicanes. Cette relation est due à la conservation de la masse dans le capteur. Nous remarquons aussi la présence des zones de recirculation (*retour de l'écoulement*), à l'aval de la chicane, dont la taille est aussi proportionnelle à la hauteur des chicanes.

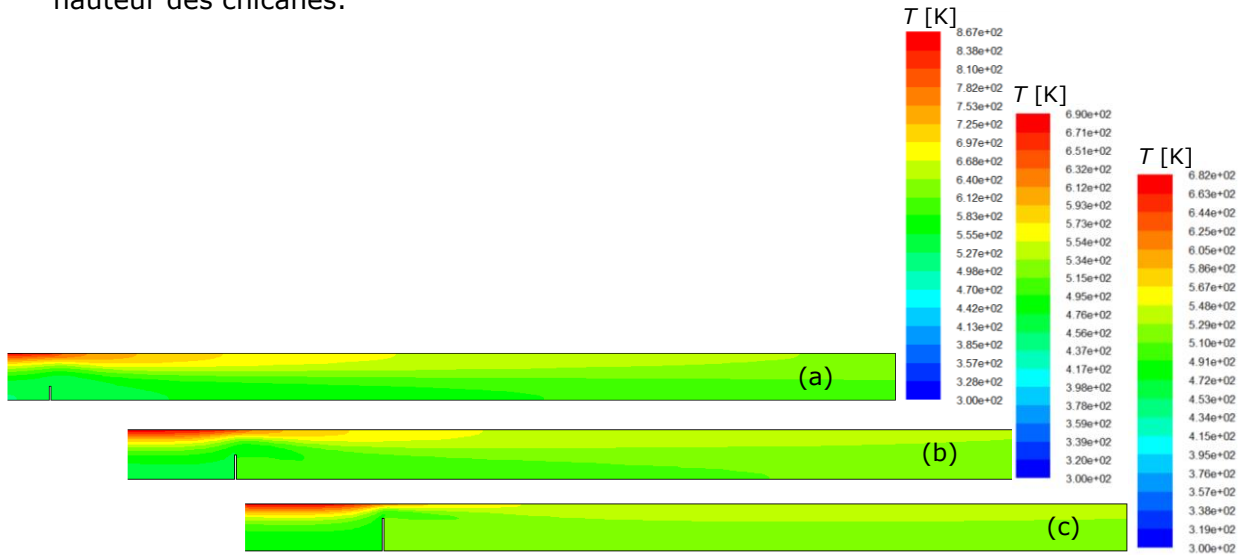


Fig. (III.9) : Distribution de la température à la sortie du capteur pour différents rapports de blocage e_p . (a) $e_p = 0.3$, (b) $e_p = 0.5$ et (c) $e_p = 0.7$. (5 chicanes, $\Phi = 500$ [W/m²], $V_e = 0.1$ [m/s], $P_r = 34.95$).

Les isovalues de la température à la sortie de la conduite, pour différentes tailles de la chicane, sont schématisés en Fig. (III.9). En regardant cette dernière, on constate que la valeur de la température (*valeur moyenne*) à la sortie du capteur est proportionnelle à la taille de la chicane. Cette remarque peut s'interpréter par la dominance du transport de chaleur diffusif sur celui de convection, à cause de la diminution de la vitesse d'écoulement dans le conduit utile avec la diminution de la taille de la chicane.

En Fig. (III.10) nous montrons la forme des lignes de courant (*isovalues de la fonction de courant ψ*) près de la dernière chicane implantée dans le conduit utile. Sur cette figure nous remarquons la présence des zones de recirculation à l'aval de la chicane, dont la taille est proportionnelle à la taille de la chicane. Cette remarque renforce l'idée que l'augmentation de la taille de la chicane engendre la diminution du transport thermique diffusif.

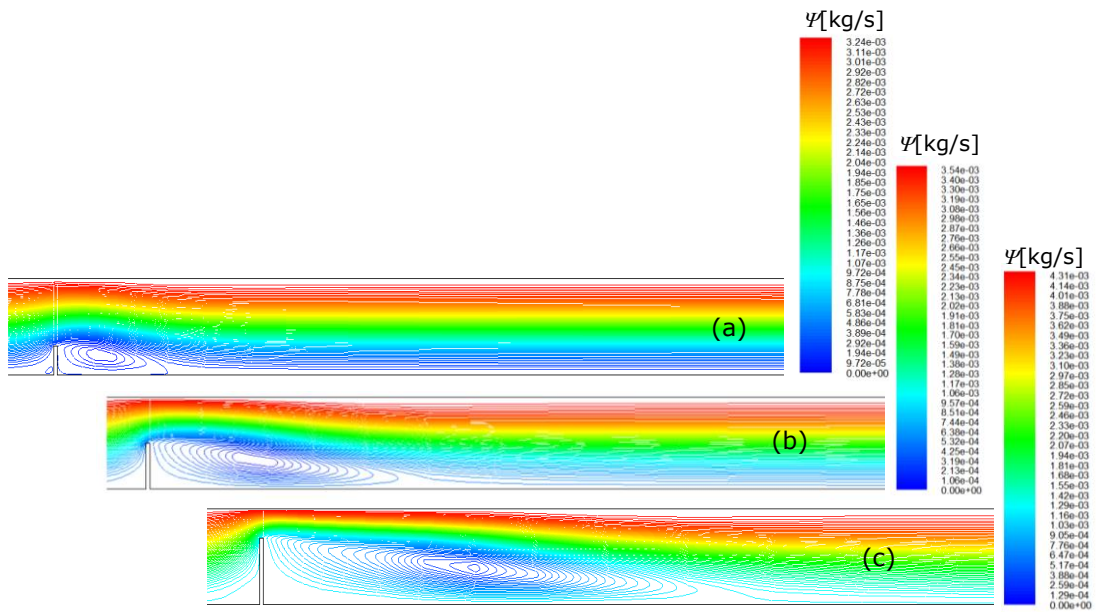


Fig. (III.10) : Formes des lignes de courant à la sortie du capteur pour différents rapports de blocage e_p . (a) $e_p = 0.3$, (b) $e_p = 0.5$ et (c) $e_p = 0.7$. (5 chicanes, $\phi = 500$ [W/m²], $V_e = 0.1$ [m/s], $P_r = 34.95$).

2.5 Résultats pour différents nombres de chicane

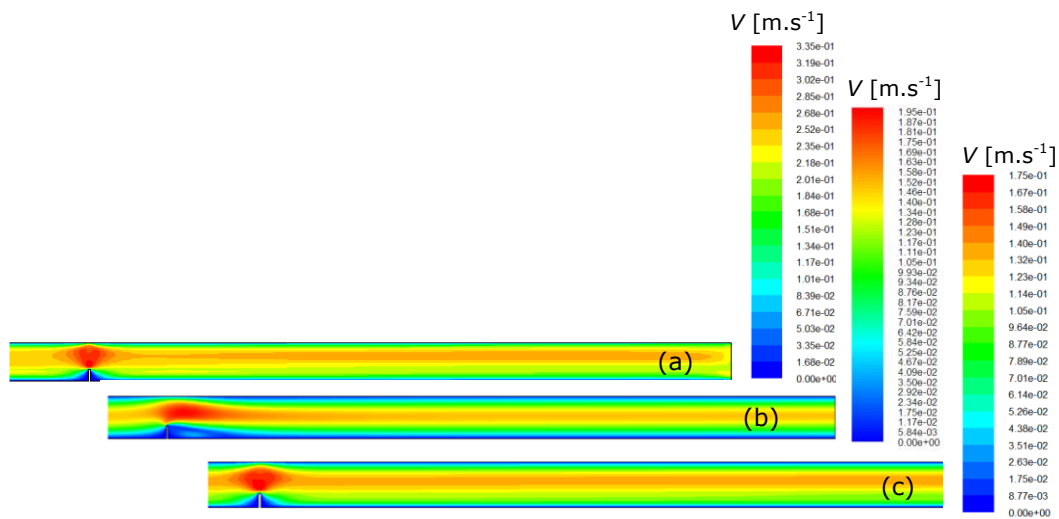


Fig. (III.11) : Isovaleurs de la vitesse V pour différents nombres de chicane. (a) $n = 3$ ($P_r = 69.85$), (b) $n = 5$ ($P_r = 34.95$) et (c) $n = 7$ ($P_r = 23.216$). ($\phi = 500$ [W/m²], $e_p = 0.3$, $V_e = 0.1$ [m/s]).

Pour plusieurs valeurs de nombre de chicanes au sein du conduit utile, nous présentons en Fig. (III.11) les isovaleurs du champ de vitesse. Nous constatons d'après cette dernière que la vitesse est proportionnelle aux nombre de chicanes. Cette remarque peut s'interpréter par l'augmentation de la chute de pression en fonction du nombre d'obstacles (*augmentation de la perte de charge singulière avec l'augmentation du nombre de chicanes*).

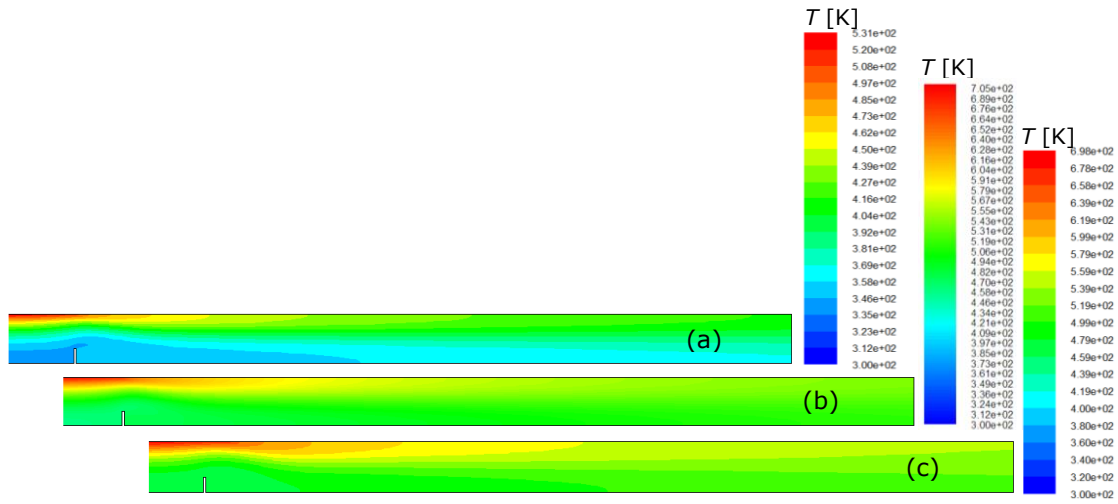


Fig. (III.12) : Isovaleurs de la température T pour différents nombres de chicane. (a) $n = 3$ ($P_r = 69.85$), (b) $n = 5$ ($P_r = 34.95$) et (c) $n = 7$ ($P_r = 23.216$). (b) ($\Phi = 500$ [W/m²], $e_p = 0.3$, $V_e = 0.1$ [m/s]).

L'allure des isovaleurs de la température en fonction du nombre de chicanes est présentée en Fig. (III.12). Nous remarquons d'après cette dernière que la température à la sortie du capteur diminue en augmentant le nombre de chicane dans le conduit utile du capteur. Ce remarque peut être s'interprétée par l'augmentation du transport de chaleur diffusif avec l'augmentation du nombre de chicane dans le conduit utile (à cause de la diminution de la vitesse d'écoulement avec l'augmentation du nombre de chicanes).

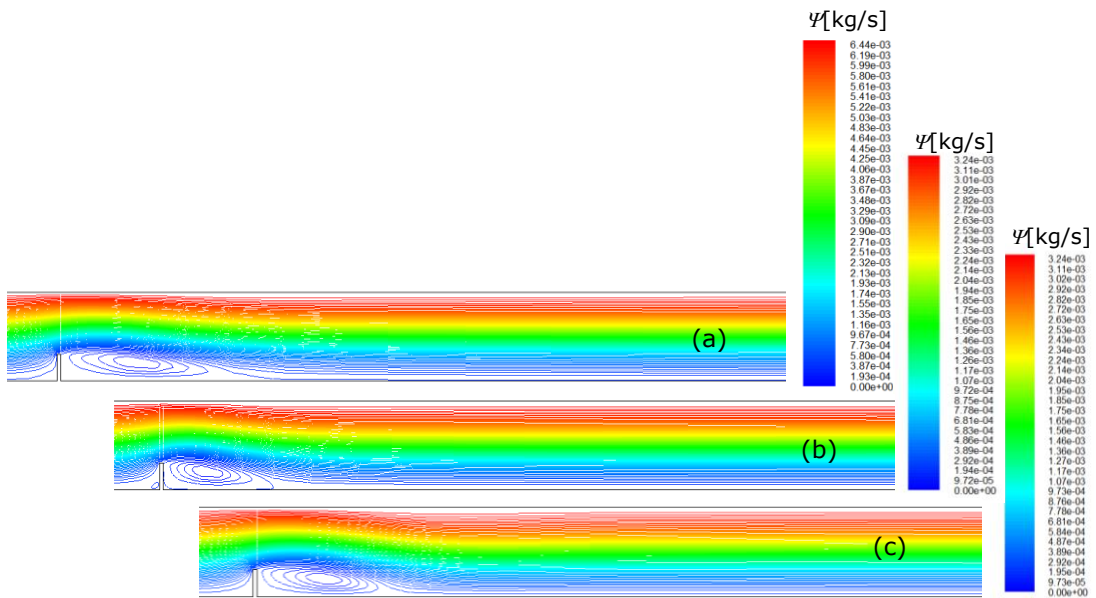


Fig. (III.13) : Isovaleurs de la fonction de courant T pour différents nombres de chicane. (a) $n = 3$ ($P_r = 69.85$), (b) $n = 5$ ($P_r = 34.95$) et (c) $n = 7$ ($P_r = 23.216$). ($\Phi = 500$ [W/m²], $e_p = 0.3$, $V_e = 0.1$ [m/s]).

Les isovaleurs de la fonction de courant, pour différents nombre de chicane implantées dans le conduit utile, sont présentés en Fig. (III.11). On constate, en analysant cette dernière, que le nombre de chicanes n'influe pas sur la forme des lignes de courant.

3 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté plusieurs résultats numériques, issus des simulations numériques par le code commercial Fluent, sur l'écoulement de l'air au sein d'un capteur thermique plan simple passe. Nous avons considéré que l'écoulement est reste laminaire stationnaire ($Re < 2500$) au sein du capteur, afin de comprendre mieux le comportement dynamique et thermique de l'air durant l'échange de chaleur avec l'absorbeur. L'ensemble des résultats obtenus nous ont permis de constater le suivant :

- ⇒ En augmentant le flux de chaleur parvient de l'absorbeur, la taille de recirculation à l'aval des chicanes augmente aussi ;
- ⇒ L'augmentation du taux de blocage engendre une augmentation de la vitesse à la sortie du capteur, ainsi que une augmentation sur la taille des recirculations. Par contre elle engendre une diminution sur la température moyenne à la sortie de capteur ;
- ⇒ La diminution du nombre de chicanes augmente la vitesse à la sortie du capteur, mais elle augmente la température moyenne au même endroit.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le présent travail représente une simple contribution scientifique dans le domaine des énergies renouvelables, plus spécialement l'énergie solaire. L'objectif de ce travail est d'avoir un savoir-faire dans ce domaine, par le biais de la résolution d'un problème d'échange de chaleur et de masse au sein d'un capteur solaire thermique plan simple passe. Le problème physique réel a été simplifié afin d'avoir un problème dont le phénomène physique associé sera facile à comprendre par voie numérique.

Dans le cadre de ce projet de fin d'étude, nous avons effectué des simulations numériques d'écoulement d'air non-isotherme, à travers une conduite rectangulaire bidimensionnelle (*effet de bord négligeable*) possède des obstacles artificielles (*chicanes*). L'écoulement est laminaire stationnaire, où l'échange thermique entre l'absorbeur et le fluide caloporteur s'effectue dans une zone dite conduit utile.

La résolution du système d'équations gouvernant le phénomène souligné auparavant a été effectuée par le logiciel commercial Fluent (*version : 6.3.26*), où la géométrie et le maillage ont été réalisés par le mailleur Gambit (*version : 2.2.30*).

Le maillage du domaine d'étude a été raffiné près de la paroi solide, afin de capter les éventuelles variations brusques des paramètres dynamiques et thermiques à cette endroit, et d'éviter l'influence de la géométrie sur la précision des résultats numériques.

L'ensemble des résultats parus dans le troisième chapitre ont nous permis de constater le suivant :

- ⇒ En augmentant le flux de chaleur parvient de l'absorbeur, la taille de recirculation à l'aval des chicanes augmente aussi ;
- ⇒ L'augmentation du taux de blocage engendre une augmentation de la vitesse à la sortie du capteur, ainsi que une augmentation sur la taille des recirculations. Par contre elle engendre une diminution sur la température moyenne à la sortie de capteur ;
- ⇒ La diminution du nombre de chicanes augmente la vitesse et la température moyenne à la sortie du capteur.

Concernant la poursuite de ce travail, on peut citer les perspectives suivantes :

- ⇒ Elargir l'écoulement à la situation tridimensionnelle ;
- ⇒ La prise en compte du caractère turbulent de l'écoulement naturel ;
- ⇒ L'utilisation d'autres types du fluide caloporteur (l'eau, les huiles industrielles, etc.) ;
- ⇒ La prise en compte de la variation temporelle de la condition thermique imposée sur l'absorbeur.

Bibliographies 1:

- [1]: Mr. Amraoui Mohammed Amine , Etude numérique d'un capteur solaire plan à air Influence de la forme de la rugosité , ANNEE UNIVERSITAIRE : 2011-2012 .
- [2]: Melle MEZIANI Fariza, Détermination du gisement solaire par traitement d'images
- [3]: BOUCHOUICHA Kada, MODELISATION MULTISPECTRALE DES IMAGES SATELLITAIRE - Application : Quantification du bilan d'énergie Sol-Atmosphère, Année Universitaire : 2016/2017
- [4]: J, Bernard. Energie solaire calculs et optimisation, Ellipse Edition Marketing. (2004).
- [5]: Z, Sen. Solar energy fundamentals and modeling techniques, Springer. (2008).
- [6]: - Alain Ricaud, «Gisement solaire et transferts énergétiques », Université de CERGY-PONTOISE 2011.
- [7]: Mme Chafik ZIDANI, Conception et modélisation des systèmes photo thermiques. Applications aux systèmes photo thermiques alimentés par fibres optiques
- [8] : Brochure technique sur le solaire thermique, viesmann
- [9]: Ferdjani Ahmed Taha, Développement d'un logiciel de simulation des performances thermiques des capteurs solaires plans , Soutenu publiquement le 07/02/
- [10]: TABET Ismail , Étude, Réalisation et simulation d'un capteur solaire Soutenu le : 19 /01 /2016
- [11]: ABABSA Dalila , Optimisation Du Rendement D'un Capteur Solaire Par Minimisation Des Pertes Convectives ,Année Universitaire: 2009/2010.
- [12]: FERAHTA FATIMA, Etude du transfert thermique dans la lame d'air d'un capteur solaire, Soutenu le 16 Décembre 2012
- [13]: Bentoumi Hadjer. Etude numérique et expérimentale d'un capteur solaire thermique en Boussaâda. Soutenu le 24 /05 /2017.
- [14]: K. Salima. "Etude théorique et numérique des systèmes couples : distillateur plan capteur et distillateur hot box-capteur". Thèse de magister (2009) 03-15.
- [15]: SANDALI Messaoud, Etude dynamique et thermique d'un capteur solaire à air à double passe avec milieu poreux, Année Universitaire: 2013-2014.

ملخص

يمثل العمل الحالي ، الذي يعد جزءًا من إعداد مشروع نهاية الدراسة لـ ماجستير فيزياء طاقوية ، المقدم من طرف كلية العلوم في جامعة المسيلة ، تقديم مساهمة علمية بسيطة لفهم سلوك سيولة السائل (الهواء) داخل لواقط شمسية حرارية. في إطار هذا العمل ، أجرينا محاكاة رقمية (برنامج فلوات) لسيولة الهواء غير متساوي درجة الحرارة ، الذي يعبر انبوب مستطيل ثنائي البعد (تأثير حواف مهملة) له عوائق صناعية (حواجز)

يكون التدفق ثابتًا على مستوى الصفحي ، حيث يتم تبادل الحرارة بين جهاز الامتصاص وممانع نقل الحرارة في منطقة تسمى ب القناة المستعملة

الكلمات الأساسية :

مجمع الطاقة الشمسية المستوي ، حواجز ، المحاكاة العددية ، طريقة الحجم المحدود ، فلوينت

Résumé

Le présent travail, qui rentre dans le cadre de la préparation du projet de fin d'étude en master physique énergétique assurée par la faculté des sciences de la matière de l'université de M'sila, représente une simple contribution scientifique afin de comprendre le comportement en écoulement du fluide (*l'air*) au sein d'un capteur solaire thermique. Dans le cadre de ce travail, nous avons effectué des simulations numériques (*logiciel commercial Fluent*) d'écoulements d'air non-isothermes, à travers une conduite rectangulaire bidimensionnelle (*effet de bord négligeable*) possède des obstacles artificielles (*chicanes*). L'écoulement est laminaire stationnaire, où l'échange thermique entre l'absorbeur et le fluide caloporteur s'effectue dans une zone dite conduit utile.

Mots clés : Capteur solaire plan à air, Chicanes, Simulation numérique, méthode des volumes finis, Fluent.

Abstract

The present work, which is part of the preparation of the end of study project in the Master of Energy Physics, provided by the Faculty of Sciences of the Matter of the University of M'sila, represents a simple scientific contribution to understand the flow behavior of the fluid (air) within a solar thermal collector. As part of this work, we carried out numerical simulations (Fluent commercial software) of non-isothermal air flows, through a Two-dimensional rectangular conduct (negligible edge effect) has artificial obstacles (baffles). The flow is laminar stationary, where the heat exchange between the absorber and the heat transfer fluid is carried out in a so-called useful duct zone..

Keywords: Planar solar collector, Baffles, Numerical simulation, finite volume method, Fluent.