



## Étude numérique de l'écoulement d'air dans un convertisseur thermosolaire avec des chicanes transversales et inclinées

Ahmed Youcef<sup>1</sup>, Kourti Med Choukri<sup>2</sup>, Benhamou Med<sup>3</sup>, Mongar hocine<sup>4</sup>, Rachid Saim<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien, URERMS, Centre de Développement  
des Energies Renouvelables, CDER 01000 Adrar, Algérie

<sup>1</sup>*a\_youcef83@yahoo.fr*

<sup>5</sup> Laboratoire Energétique et Thermique Appliquée (ETAP)

Faculté de Technologie, Université Abou BekrBelkaid, Tlemcen

<sup>2</sup>*saimrachid@yahoo.fr*

**Résumé :** Une investigation numérique du comportement hydrodynamique et thermique de l'écoulement d'air dans un canal rectangulaire munie des chicanes sous forme transversales et inclinées de 45° est effectuée dans le présent papier. Les équations régissant la problématique à savoir les équations de la continuité, de la quantité de mouvement et de l'énergie sont résolues selon les démarches de la méthode des volumes finis en utilisant l'algorithme SIMPLEC. Les résultats obtenus sont validés par une comparaison avec les résultats expérimentaux de la littérature, elles sont montrées avec une très bonne concordance. Les profils de vitesse axiale, le champ de vitesse et de température démontre que le comportement dynamique de l'air est considérablement affecté par les paramètres considérés de ces formes.

### 1. Introduction

Les capteurs solaires plans à air transforment l'énergie radiante du soleil en énergie thermique extraite par l'air en écoulement dans le capteur. Les capteurs solaires sont utilisés pour le chauffage, le séchage des produits industriels et le séchage des produits agricoles comme les légumes, fruits, épices, plantes médicinales. Plusieurs travaux de recherches sont menés sur ces appareils afin de caractériser l'écoulement et le transfert de chaleur et étudier les facteurs qui influent sur l'efficacité de ces systèmes [1, 2]. Ces facteurs peuvent être conceptuels ou structurels : la longueur, la hauteur de la veine d'air mobile, le type de la plaque absorbante et de la couverture, la vitesse du vent. Certains travaux portent sur l'amélioration des échanges convectifs par l'introduction des chicanes dans la veine d'écoulement du fluide. En effet, l'utilisation des rugosités artificielles sous différentes formes et géométries apparaît le moyen le plus efficace et économique pour l'amélioration des performances de ces systèmes. Beaucoup de travaux de recherches numériques et expérimentales ont été faites pour caractériser l'écoulement on peut citer une investigation numérique pour un fluide en convection forcée laminaire entre deux parois planes parallèles avec chicanes a été réalisée par Kelkar et Patankar [3], les résultats prouvent que l'écoulement est caractérisé par de fortes déformations et de grandes régions de recirculation, en général, le nombre de Nusselt et le coefficient de frottement augmentent avec le nombre de Reynolds. Leurs résultats montrent aussi que les performances thermiques augmentent avec l'augmentation de la taille de chicanes et avec la diminution de l'espacement entre chicanes. Cheng et Huang [4], ont étudié la convection forcée entre deux plaques planes parallèles munies d'ailettes transversales qui ne sont pas symétriquement placées, leurs résultats ont indiqué que la position relative à des rangées de chicanes est un facteur influent sur le champ d'écoulement, particulièrement pour des chicanes avec de grandes tailles. Ahmet Tandiroglu [5] a étudié l'effet des paramètres géométriques sur la convection forcée transitoire à convection forcée turbulente dans un tube circulaire muni des chicanes. Il a utilisé neuf chicanes en total pour tester l'effet de leurs orientations et leurs espacements sur l'amélioration du transfert thermique. Hoon Ko et al [6]. Ils ont conclu que l'utilisation des chicanes poreuses abouties à une augmentation du coefficient de transfert de chaleur allant jusqu'à 300% par rapport au transfert de chaleur dans le canal sans aucune chicane. R. Saim et al [7], Cette étude a montré que l'usage des chicanes de forme trapézoïdale assure une augmentation considérable de vitesse par rapport aux chicanes de forme rectangulaire mais le seul inconvénient est provoqué à une augmentation du coefficient de friction. Une étude expérimentale a été effectuée par M. Molki et al [8], ces hauteurs ont constaté que les chicanes augmentent la chute de pression beaucoup plus rapidement et augmentent aussi le coefficient de transfert de chaleur. La présente étude consiste à analyser numériquement le comportement dynamique et thermique d'un écoulement

d'air en convection forcée permanente à l'intérieur d'un capteur solaire plan contenant des chicanes transversales dans le premier cas et inclinée de 45° dans le deuxième cas.

## 2. Formulation mathématique du problème

### 2.1 Géométrie du problème

La géométrie du problème est présentée sur la figure 1. Il s'agit d'un conduit rectangulaire muni des chicanes transversales traversé par un écoulement d'air dans le premier cas et la même conduite mais avec des chicanes inclinées de 45° dans le deuxième cas.

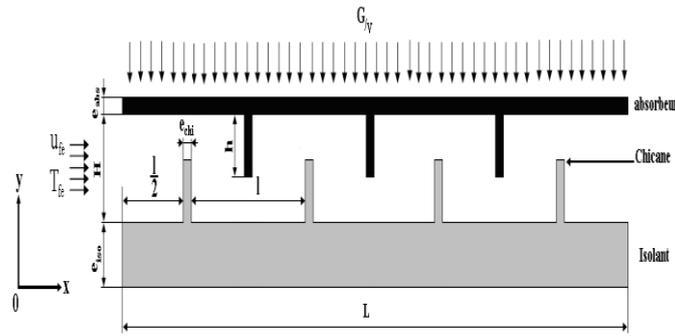


Figure 1 : Géométrie du problème

### 3. Equations gouvernantes

Les équations de la conservation peuvent se généraliser sous une seule forme d'équations aux dérivées partielles. Si on note toute variable générale mesurée par le symbole  $\phi$ , L'équation différentielle générale s'écrit

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi) + \text{div}(\rho\mathcal{V}\phi) = \text{div}(\Gamma_\phi \text{grad}\vec{\phi}) + S_\phi \quad (1)$$

On peut considérer que les équations suivantes décrivent le phénomène d'écoulement à l'intérieur de capteur solaire plan :

Equation de continuité :

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (2)$$

Équation de quantité de mouvement

Suivants x :

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

Suivants y :

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (4)$$

Équation d'énergie

$$\rho \left( u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \lambda_f \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (5)$$

### 4. Solution numérique

La méthode des volumes finis, basée sur l'algorithme SIMPLE, est utilisée pour résoudre le système d'équation muni des conditions aux limites ci-dessus. Par conséquent, l'équation algébrique générale peut être écrite comme :

$$a_{i,j} \phi_{i,j} = a_{i+1,j} \phi_{i+1,j} + a_{i-1,j} \phi_{i-1,j} + a_{i,j+1} \phi_{i,j+1} + a_{i,j-1} \phi_{i,j-1} + b \quad (6)$$

## 5. Résultats et discussions

Les dimensions du capteur sont les même dans les deux cas mais la variation se trouve dans l'inclinaison des chicanes par  $45^\circ$  dans le deuxième cas.

- Longueur de capteur solaire  $L=90\text{cm}$ .
- L'épaisseur de l'absorbeur  $e_{\text{abs}}=0,15\text{cm}$ .
- L'épaisseur de l'isolant  $e_{\text{iso}}=5,5\text{cm}$ .
- La distance entre l'absorbeur et l'isolateur  $H=5,5\text{cm}$ .
- L'épaisseur et la hauteur des chicanes sont  $e_{\text{chi}}=1\text{mm}$ ,  $h=2\text{cm}$ .
- L'espacement entre chicanes est  $l=24\text{cm}$ .
- L'entrée de capteur est munie d'un ventilateur qui débite un débit de l'air de l'ordre de  $30\text{ kg/h}$  à la température  $T_{\text{fe}}=300\text{K}$ .
- Le flux de solaire après vitrage  $G_{\text{v}}=714\text{w/m}^2$  (juillet /11-12 heure / Tlemcen). [9]

Tableau 1 : propriétés physiques de l'absorbeur et l'isolateur

Matériaux	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$C_p$ [J/kg°C]	$\lambda$ [w/m°C]
Cuivre (absorbeur)	8978	381	387.6
Polystyrène (isolateur)	12	1300	0.047

### 5.1 Champ dynamique

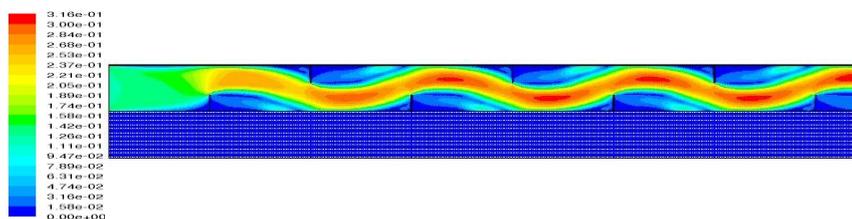


Figure 2 : Présentation du contour de la vitesse (m/s) dans le capteur a chicanes transversales.

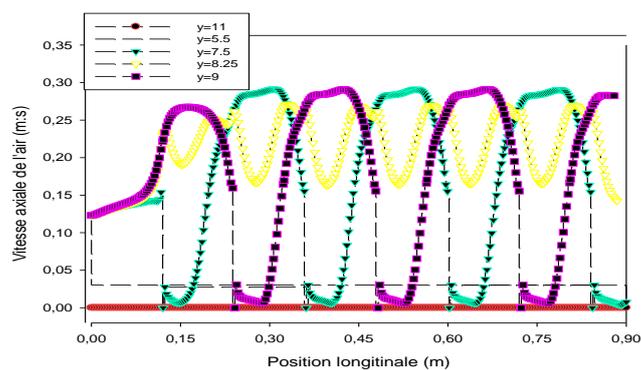


Figure 3 : Courbe de vitesse dans des sections longitudinales.

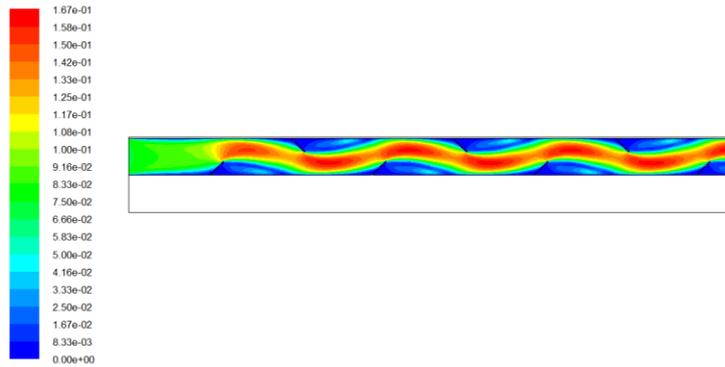


Figure 4 : Présentation du contour de la vitesse (m/s) dans le capteur a chicanes inclinée.

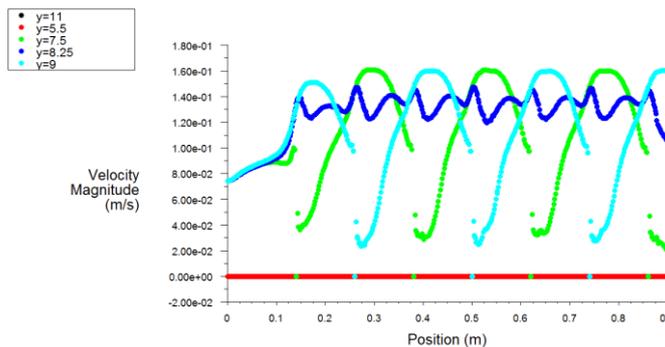


Figure 5 : Courbe de vitesse dans des sections longitudinales dans le capteur a chicanes inclinée

L'impact des chicanes et des ailettes sur la structure de l'écoulement d'air proche des parois est montré dans les figures 2 et 5 respectivement pour les champs de vitesse axiale. Dans tous les cas, le côté important de deux régions des chicanes a été noté. L'analyse des résultats numériques montre une structure d'écoulement complexe assez désorganisée où le fluide est dévié vers les parois supérieure et inférieure avec des grandes vitesses, en particulier dans les zones situées entre l'extrémité de chaque chicane et la paroi du canal. Cette structure d'écoulement est caractérisée par des fortes déformations et de grandes régions de recirculation, elle va influencer considérablement sur la répartition du champ de température et va permettre un meilleur brassage du fluide qui va stimuler le transfert de chaleur comme on le verra par la suite. On remarque que la plus haute valeur de vitesse apparaissent dans le capteur a chicanes transversales  $U=0.316\text{m/s}$ .

## 5.2 Champ thermique

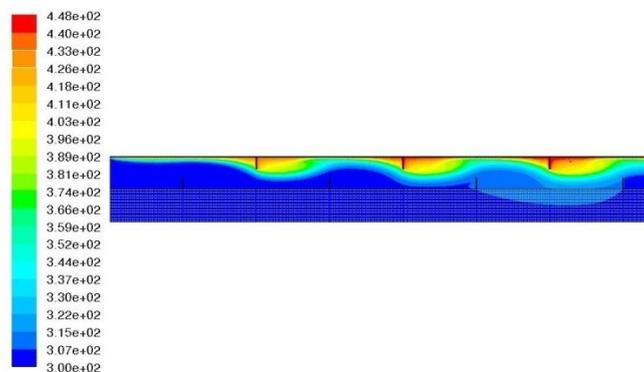


Figure 6 : Présentation du contour de température ( $^{\circ}\text{K}$ ) dans le capteur a chicanes transversales.

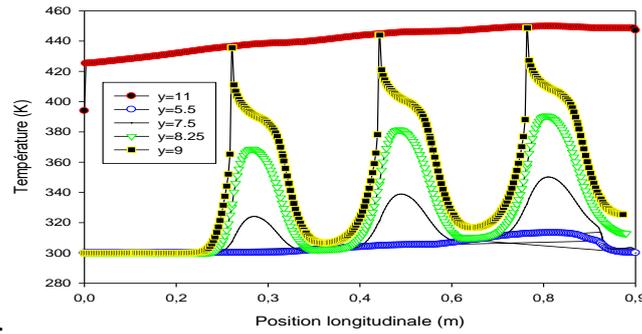


Figure 7 : Evolution de température dans des sections longitudinales dans le capteur solaire à chicanes transversales.

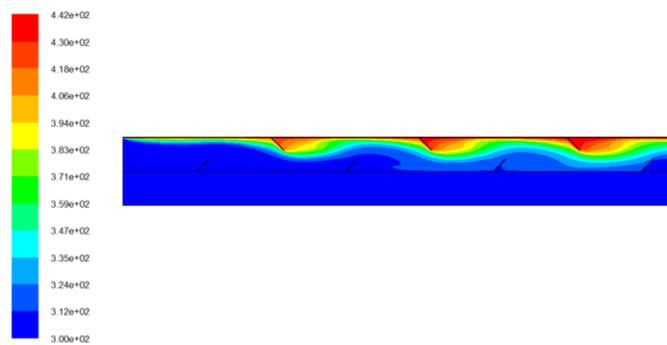


Figure 8 : Présentation du contour de température ( $^{\circ}$ K) dans le capteur à chicanes inclinée.

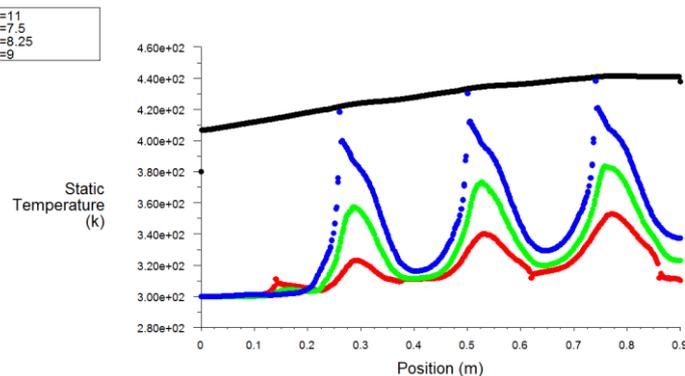


Figure 9 : Evolution de température dans des sections longitudinales dans le capteur solaire à chicanes inclinée

On constate que la température du fluide prend sa valeur maximale au voisinage de la paroi et aux extrémités des chicanes supérieures, on remarque aussi que la température de l'air dans les zones de recirculation est sensiblement élevée. Puis elle décroît jusqu'à atteindre sa plus basse valeur dans les régions situées entre le bout de chaque chicane et la paroi du canal inférieur. On constate également que le gradient de la température est d'autant plus grand que la vitesse d'écoulement diminue. La plus grande valeur de température se trouve dans le capteur à chicanes transversales  $T=448^{\circ}$ K.

## 6. Conclusion

Une étude numérique basée sur la méthode des volumes finis à l'aide de l'algorithme SIMPLE, est entreprise dans le présent article. Elle consiste en l'écoulement d'un fluide incompressible circulant à l'intérieur d'une conduite rectangulaire munie de chicanes transversales et inclinée. Les profils et les champs de vitesse axiale,

ainsi que les profils et les distributions de température totale dans le conduit ont été obtenus pour toute la géométrie du canal, en amont, en aval et entre les ailettes. Les profils et les distributions des vitesses montrent une zone de recirculation relativement intense au-dessus des facettes de chaque chicane, qui se déplace vers l'aval. En se rapprochant de l'ailette, les profils de vitesse sont de plus en plus affectés par ce dernier et le fluide s'accélère de plus en plus en se dirigeant vers la sortie du canal. La perturbation la plus élevée est obtenue en amont des chicanes. Ces zones tourbillonnaires sont responsables à l'augmentation du fluide caloporteur. La vitesse augmente avec des valeurs remarquables dans le cas des chicanes transversales et donne des valeurs de températures élevées car l'obstacle donne une surface de contact plus importante, par ailleurs dans le cas des chicanes inclinées la vitesse augmente mais avec des valeurs moins importantes que les précédentes et la température a des valeurs peu près les mêmes.

## **Nomenclature**

$T_{fe}$  : Température de fluide a l'entrée[K]

$u,v$  : Composant de vitesse [ $ms^{-1}$ ]

$S_{\phi}$  : Terme source

$V$  : Vecteur vitesse

$x, y$  : Coordonné[m]

$P$  : Pression [ $Nm^{-2}$ ]

$C$  : Chaleur spécifique[ $Jkg^{-1}k^{-1}$ ]

$G_{/v}$  : Flux de solaire après vitrage [ $Wm^{-2}$ ]

$H$  : Hauteur [m]

$L$  :Longueur du capteur solaire [m]

$e_{abs}$  :L'épaisseur de l'absorbeur [m]

$e_{iso}$  : L'épaisseur de l'isolant [m]

$e_{chi}$  : L'épaisseur de chicane [m]

$l$  : L'espacement entre chicanes [m]

$h$  : Coefficient d'échange par convection [ $Wm^{-2}K^{-1}$ ]

$t$  : Temps [s]

Symboles grecs

$\lambda$  : Conductivité thermique [ $Wm^{-1}k^{-1}$ ]

$\rho$  : Masse volumique de l'air [ $Kg m^{-3}$ ]

$\lambda_s$  : Conductivité thermique du solide[ $Wm^{-1}k^{-1}$ ]

$\lambda_f$  : Conductivité thermique du fluide [ $Wm^{-1}k^{-1}$ ]

$\phi$  : Variable dépendante

$\Gamma_{\phi}$  : Coefficient diffusion

## Références

[1] Choudhury, H.P. Gary, Performance of air heating collectors with packed air flour passage. *Solar Energy*, 50 (3): 205–221, 1993.

[2] Varun et al. A review on roughness geometry used in solar air heaters. *Solar Energy*, 81: 1340-1350, 2007.

[3] K.M.KELLAR, S.V.PATANKAR, « Numerical prediction of flow and heat transfer in parallel plate channel with staggered fins », *Journal of heat transfer*. 109, p (25-30), 1987.

[4] CHENG CHIN-HSIANG et HUANG WEN-HSIUNG, « Numerical prediction for laminar forced convection in parallel-plate channels with transverse fin arrays », *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 34, N° 11, p (2739-2749), 1991.

[5] AHMET TANDIROGLU, « Effect of flow geometry parameters on transient heat transfer for turbulent flow in a circular tube with baffle inserts », *International Journal of Heat and Mass Transfer* 49, p (1559-1567), 2006.

[6] KANG-HOON KO, N.K.ANAND, « Use of porous baffles to enhance heat transfer in a rectangular channel », *International Journal of Heat and Mass Transfer* 46, p (4191- 4199), 2003.

[7] H.BENZENINE, R.SAIM, S.ABBOUDI, O.IMINE, « Numerical simulation of the dynamic turbulent flow field through a channel provided with baffles: comparative study between two models of baffles: transverse plane and trapezoidal », *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 13 N°4, p (639 – 651), 2010.

[8] M.MOLKI, A.R.MOSTOUFIZADEH, « Turbulent heat transfers in rectangular ducts with repeated-baffle blockages », *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 32, N° 8, p (1491-1499), 1989.

[9] Michel CAPDEROU, "*Atlas solaire de l'Algérie : Aspect Energétique*", T2, Office des Publications Universitaires, (1985).