



Etude numérique d'un capteur solaire plan à double passe muni des chicanes

K. Bouaraour, T. Seddik

Département des sciences et de la Technologie.

Université de Ghardaïa, Algérie

fst@univ-ghardaia.dz

bouaraourk@yahoo.fr

Résumé

Dans le cadre de ce travail, nous avons entrepris une étude numérique d'un capteur solaire plan à air à double passe muni des chicanes de part et d'autre de l'absorbeur. L'écoulement à l'intérieur de l'espace confiné entre le vitrage et l'isolant est gouverné par les équations de continuité, de conservation de la quantité de mouvement et de l'équation d'énergie. Le modèle k- ϵ de turbulence est employé pour la modélisation de la turbulence. La configuration géométrique est réalisée par le logiciel GAMBIT et les équations gouvernantes sont résolues par le code Fluent. Les résultats numériques obtenus mettent en évidence l'effet des chicanes sur l'augmentation de la surface d'échange thermique ainsi que l'influence constatée sur la vitesse de circulation du fluide et par conséquent sur l'énergie récoltée. Les résultats obtenus montrent également l'effet de la turbulence sur l'amélioration des performances des capteurs solaires plans à double passe.

Mots clés : Capteur à double passe, Capteur avec chicanes, Turbulence, Fluent, Irradiation solaire.

I. INTRODUCTION

Les capteurs solaires plans à air dont la veine fluide au sein du capteur n'est équipée d'aucun type de promoteur de turbulence sont les capteurs plans à air sans chicanes. Ce type de capteurs date depuis les premiers travaux initiés dans ce domaine. Le rendement faible de ce type de capteurs a poussé les chercheurs à trouver d'autres moyens afin d'améliorer les performances des capteurs, d'où la naissance du deuxième type de capteur solaire plan à air munis de chicanes comme promoteurs de turbulence favorisant ainsi un

meilleur transfert de chaleur entre l'absorbeur et fluide caloporteur (l'air).

Dans le but de favoriser le transfert thermique entre l'absorbeur et le fluide de travail dans un capteur à air, A. Amed Zaid et Al [1] ont introduit des chicanes dans la vanne dynamique du capteur, lesquelles vont augmenter la section de passage de l'air, d'où l'augmentation du nombre de Reynolds et la création de la turbulence. Les auteurs ont utilisé des chicanes Delta Centrées Longitudinalement (DCL), Ogivales Centrées Longitudinalement (OCL) et Transversales-Longitudinales (TL), placées sur l'isolant, sous l'absorbeur ou par la combinaison des deux.

Leurs résultats expérimentaux ont montré que les chicanes (TL) présentent un rendement meilleur par rapport aux chicanes (DCL), (OCL). Dans le but de minimiser les pertes thermiques vers l'avant de l'absorbeur. F. Benyelles et Al [2] ont proposé de placer un isolant "aérogel de silice au-dessus de l'absorbeur. Les auteurs ont choisi l'aérogel de silice pour ses propriétés. C'est un matériau solide à basse densité variant de 80 à 270 kg/m³, transparent, poreux (porosité de 35% à 90%). Son indice de réfraction est compris entre 1.2 à 1.05. Pour une épaisseur de l'ordre de 20 mm, la transmittance solaire normale est de 90%. Sa conductivité thermique est de l'ordre de 0.02 W/m. K.

Ils ont trouvé que la température de la vitre d'un capteur à simple vitrage à absorbeur non sélectif peut atteindre 50°C, alors qu'elle n'atteint que 20 °C pour un absorbeur muni d'un isolant aérogel de silice. En outre, le coefficient de pertes



thermiques vers l'avant de l'absorbeur, dans ce cas est minimale. Ils ont déduit que l'aérogel de silice est un super isolant transparent de la face avant du capteur, et contribue ainsi à l'amélioration du rendement du capteur solaire. Vue que le coefficient d'échange thermique de l'absorbeur pour les capteurs solaires à air est plus faible que celui des capteurs à l'eau, F. Mokhtari et Al [3] ont mené une étude expérimentale dans le but d'améliorer le contact plaque chauffante-air. Les auteurs ont testé trois configurations différentes du capteur solaire à air.

D'après les résultats expérimentaux trouvés, le transfert thermique est important quand il y a contact direct entre la plaque et l'air couplé à une double circulation de l'air.

Dans le but d'améliorer les performances des capteurs solaires à air, K. Aoues et al [4] ont introduit dans la veine d'air mobile des chicanes qui jouent un rôle à double aspect, favorisant le transfert thermique au fluide caloporteur. La veine d'air dynamique du capteur [4] est de 25 mm de hauteur, comprise entre la plaque absorbante et une plaque en acier galvanisé placée sur l'isolant, cette veine est équipée de rangées d'obstacles métalliques minces soudées perpendiculairement à l'écoulement de l'air sur la plaque inférieure. Cette technique permet de rendre l'écoulement turbulent à proximité de la plaque chaude d'une part et de prolonger le parcours du fluide caloporteur d'une autre part.

Les obstacles présentent une différence dans la forme résidant dans la partie inclinée d'angle respectivement égale à 60° et 120°. Ces chicanes sont espacées d'une distance respectivement à d=10cm et d=5cm suivant deux configurations qui se différencient par le nombre de rangées respectivement égale à 152 et 256 chicanes.

Après une série de tests expérimentaux, les auteurs ont conclu que la géométrie de passage dans la section droite perpendiculaire à l'écoulement joue un rôle important et que les chicanes de la première configuration ($\alpha=60^\circ$) donnent

des meilleurs résultats par rapport à ceux de la deuxième configuration ($\alpha=120^\circ$). Cela s'explique par le fait que les chicanes permettent l'orientation du fluide caloporteur en écoulement vers la plaque absorbante, d'où l'augmentation des échanges convectifs.

Une étude numérique d'un capteur solaire à deux passes est menée par A. Zerrouki et al [5]. Le but était de résoudre le système des équations après avoir établi le bilan thermique sur chaque élément du capteur. L'étude a permis de déterminer les expressions mathématiquement des coefficients des pertes thermiques et d'échanges par conduction.

Dans le présent travail nous avons réalisé une étude numérique d'un capteur solaire plan à air à double passe muni des chicanes. On s'intéresse aux transferts thermiques entre le vitrage et l'isolant et la distribution des différentes grandeurs physiques en régime permanent.

II. CONFIGURATION ET MAILLAGE

La figure ci-dessous montre un capteur plan à double passe.

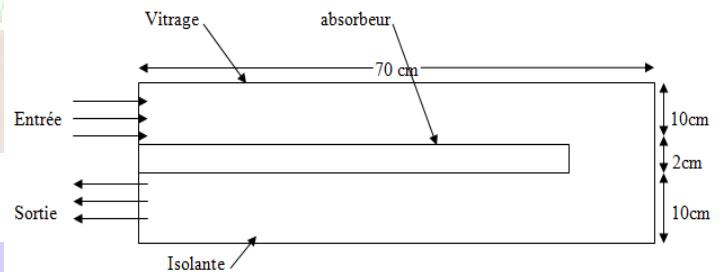


FIG 2.1 : LA GEOMETRIE ETUDIEE

Pour assurer l'indépendance du maillage vis-à-vis les résultats numériques obtenus, nous avons testé deux maillages différents caractérisés respectivement par 64464 et par 143521 Nœuds, pour une vitesse d'entrée de 3m/s.

TABLE 1

ERREUR RELATIVE POUR QUELQUES VALEURS

	V_{max}	u_{max}	T_{max}
Maillage 1	2.84	1.607	407
Maillage 2	3.25	1.601	404



Erreur relative	12%	0.37%	0.75%
-----------------	-----	-------	-------

Le tableau ci-dessus montre l'erreur relative pour quelques valeurs de l'écoulement d'air à l'intérieur de la veine hydrodynamique.

Pour l'amélioration du transfert thermique dans le capteur solaire plan à double passe (figure 2-2) nous avons placé des chicanes au niveau de l'absorbeur comme la montre la figure ci-dessous :

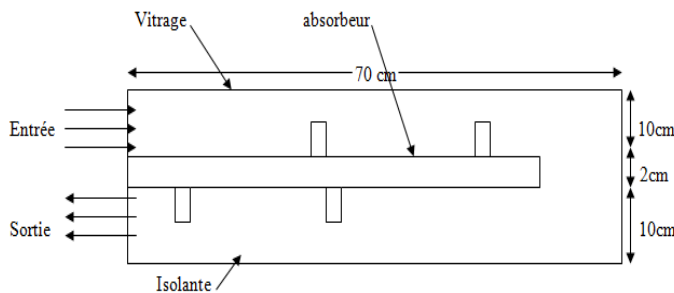


FIG 2.2 : LA GEOMETRIE ETUDIEE AVEC CHICANE

En plaçant les chicanes sur les deux côtés de l'absorbeur, la surface d'échange augmente de manière constatée. Les chicanes ont aussi le pouvoir de changer le sens de l'écoulement d'air et par conséquent la création de la turbulence qui favorise le transfert de chaleur. Les dimensions du canal présentées dans ce travail sont:

- La longueur du capteur est 70 cm
- L'espace entre l'absorbeur et l'isolant est 10 cm
- L'épaisseur de l'absorbeur est 2 cm
- L'espace entre l'absorbeur et vitrage est 10 cm
- L'épaisseur des chicanes est 1cm
- La longueur des chicanes est 5cm

III. ETUDE NUMERIQUE

Les équations mathématiques exprimant la conservation de la masse, de la quantité de mouvement suivant X et Y et l'équation de l'énergie, sous ces formes dimensionnelles, sont représentées respectivement ci-dessous [6] :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uu) + \frac{\partial}{\partial y}(vu) = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial x} \left(p + \frac{2}{3} \rho_0 k \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left[2(v+v_t) \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[(v+v_t) \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right]$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uv) + \frac{\partial}{\partial y}(vv) = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial y} \left(p + \frac{2}{3} \rho_0 k \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left[(v+v_t) \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[2(v+v_t) \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right) \right] + g\beta(\theta - \theta_0)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(u\theta) + \frac{\partial}{\partial y}(v\theta) = \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{v}{Pr} + \frac{v_t}{\sigma_t} \right) \frac{\partial \theta}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{v}{Pr} + \frac{v_t}{\sigma_t} \right) \frac{\partial \theta}{\partial y} \right]$$

Il existe différents modèles de turbulence qui se distinguent par leurs degrés de complexité, c'est-à-dire le nombre des équations supplémentaire pour les quantités turbulentes qu'il faut ajouter pour fermer le problème. Les modèles de turbulence les plus utilisés à l'heure actuelle sont les modèles à deux équations surtout ceux qui appartient à la famille k-ε [7].

L'équation de l'énergie cinétique turbulente k

$$\rho u \frac{\partial k}{\partial x} + \rho v \frac{\partial k}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial y} \right] + p_k - \rho \epsilon$$

L'équation de dissipation de l'énergie cinétique turbulente ε :

$$\rho u \frac{\partial \epsilon}{\partial x} + \rho v \frac{\partial \epsilon}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial y} \right] + (C_{\tau 1} f_1 p_k - \rho C_{\tau 2} f_2 \epsilon) \frac{\epsilon}{k}$$

P_k : Représente le terme de production d'énergie cinétique :

$$p_k = \mu_t \left[2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 \right]$$

La viscosité turbulente est obtenue en combinant k et ε comme suit :

$$\mu_t = f_\mu \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon}$$

Les constantes empiriques du modèle de turbulence k - ε standard sont :

$$C_\mu = 0.09, C_{\tau 1} = 1.44, C_{\tau 2} = 1.44, \sigma_k = 1.0, \sigma_\epsilon = 1.3, \sigma_\zeta = 0.9$$

Et $f_1 = f_2 = f_\mu = 1.0$

Les conditions aux limites

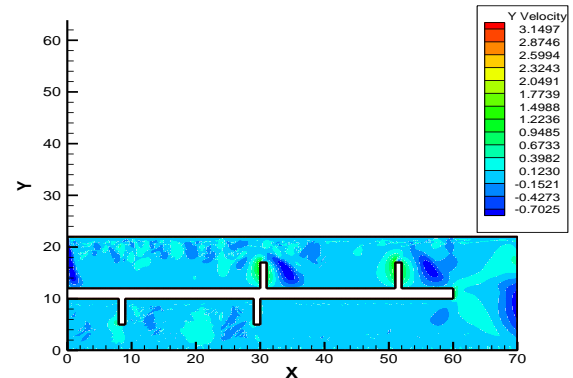
- o La température de l'air à l'entrée $T_e = 300^\circ K$.



- La température de l'absorbeur $T_{abs} = 380$ K.
- $u = u_{in}$, $v = 0$,
- $K = 1.5(I_0 u_{in})^2$
- $\varepsilon = 10 \frac{K^{1.5}}{h}$
- Le flux thermique imposé au niveau du vitrage est :
 600 W/m^2 .
- L'intensité de la turbulence à l'entrée est $I_0 = 4\%$

IV. Résultats et discussion

Nous avons choisi deux vitesses d'entrée d'air différentes qui sont : 3 m/s, 5 m/s et 7 m/s. Ces vitesses d'entrée sont choisis de telle sorte que le nombre de Reynolds correspond à un écoulement turbulent. La distribution de la vitesse verticale, la vitesse horizontale ainsi que la température est présentée sur les figures : 3, 4 et 5 respectivement.



V=7m/s

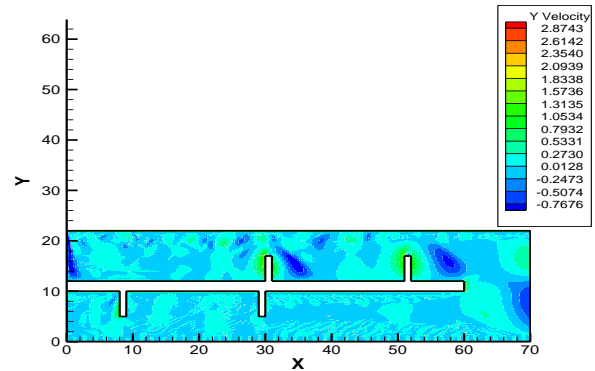
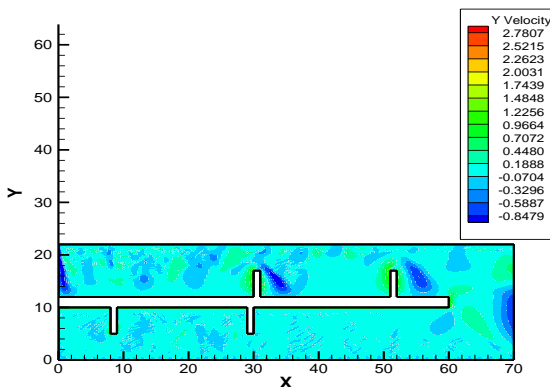


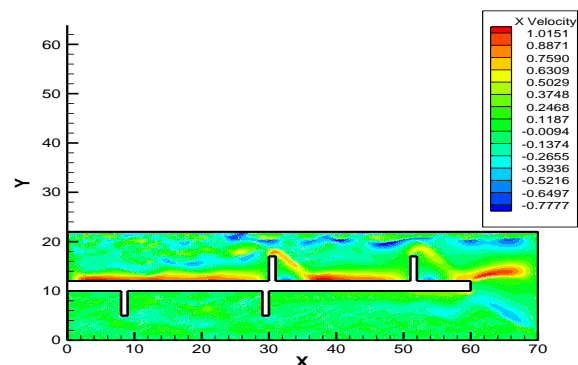
Fig. 3 : Distribution de la vitesse verticale

On remarque sur les valeurs les plus élevées de la vitesse verticale sont placées aux sommets des chicane au-dessus de l'absorbeur. Cela est dû à l'effet obstacle des chicanes et par conséquent le changement du sens de l'écoulement.

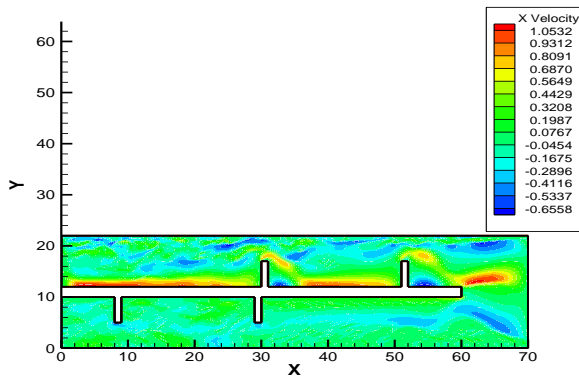
V=3 m/s



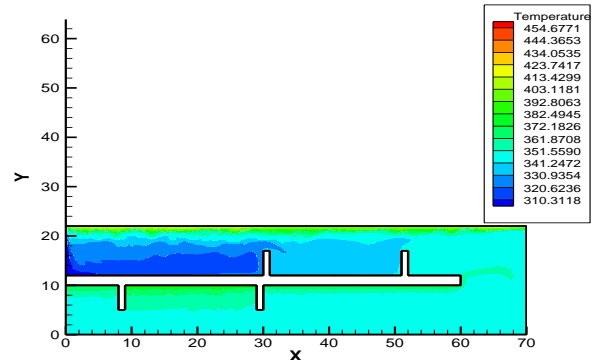
V=5 m/s



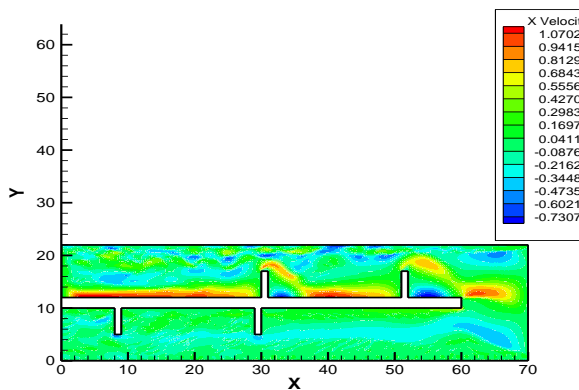
V=5 m/s



V= 7 m/s



V= 7 m/s



V= 3 m/s

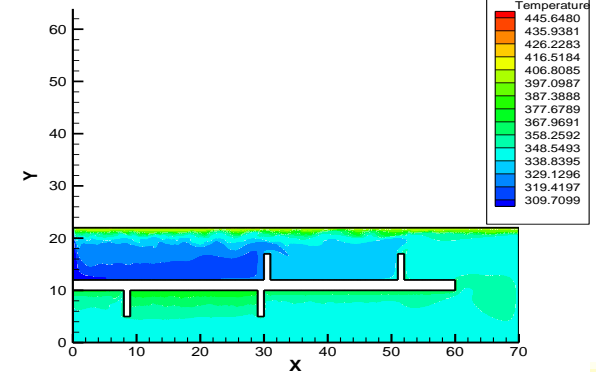
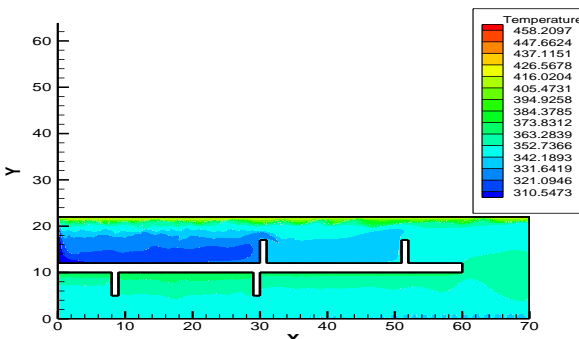


Fig. 5 : Distribution de la température

Fig. 4: Distribution de la vitesse horizontale

On remarque que les valeurs les plus élevées de la vitesse horizontale sont placées juste au-dessus de l'absorbeur et à la fin de celui-ci. Cela est dû à la zone de recirculation créée à la fin de l'absorbeur. Ces valeurs sont proportionnelles à la vitesse d'entrée d'air.

Les lignes de courant pour les deux vitesses d'entrée testées pour cette étude sont influencées par la vitesse d'entrée. On constate à l'intérieur de la veine hydrodynamique une structure multicellulaire pour les trois vitesses choisies. Cette structure favorise le transfert thermique.



V= 5 m/s

V. Conclusion

Dans le présent travail, nous avons fait l'étude numérique d'un capteur solaire plan à air à double passe muni des chicane de part et d'autre de l'absorbeur. L'écoulement à l'intérieur de l'espace confiné entre le vitrage et l'isolant est gouverné par les équations de continuité, de conservation de la quantité de mouvement et de l'équation d'énergie. Le modèle k-ε de turbulence est employé pour la modélisation de la



Le 4^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables The 4th International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa - Algeria 24 - 25 Octobre 2016



turbulence. Ce modèle est connu par sa simplicité et sa précision.

Pour assurer l'indépendance des résultats vis-à-vis le maillage utilisé, nous avons testé deux maillages différents caractérisés respectivement par 64464 et par 141721 nœuds. Le maillage est réalisé par le logiciel GAMBIT et les équations gouvernantes sont résolues par le code Fluent.

L'amélioration des performances des capteurs solaires plans outre que l'irradiation solaire globale, consiste à augmenter la surface d'échanges thermiques entre l'absorbeur et l'ambiance. Pour plusieurs vitesses d'entrée d'air, Les résultats numériques obtenus mettent en évidence l'effet des chicane sur l'augmentation de la surface d'échange thermique ainsi que l'influence constaté sur la vitesse de circulation du fluide et par conséquent sur l'énergie récoltée. C'est derniers temps, l'optimisation des performances porte plus particulièrement sur la circulation du fluide caloporteur. Les résultats obtenus à partir de cette étude permettent de déduire que l'introduction des chicanes au niveau de l'absorbeur est un facteur très important pour l'amélioration des performances d'un capteur. C'est pourquoi, le placement des chicanes des deux côtés de l'absorbeur semble être le choix le plus judicieux.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **A. Ahmed-Zaïd, A. Moulla, M. S. Hantala et J.Y. Desmons**, Amélioration des Performances des Capteurs Solaires Plans à Air: Application au Séchage de l'Oignon Jaune et du Hareng, Rev. Energ. Ren. Vol.4 (2001) 69-78
- [2] **F, Benyelles; B, Benabadjia; B, Benyoucef; Z, Ziani**. Comparaison entre un capteur à aérogel de silice et d'autres capteurs plans, 13emes Journées Internationales de Thermique. (2007).
- [3] **K, Aoues; N, Moumni; A, Moumni; M, Zellouf; A, Labeled; E, Echouri**. Etude de l'influence des rugosités artificielles sur les performances thermiques des capteurs solaires plans à air, Revue des Energies Renouvelables, Vol 11, N°2, p219-227. (2008).
- [4] **K, Aoues; N, Moumni; M, Zellouf; A, Moumni; A, Labeled; E, Achouri ; A, Benchabane**. Amélioration des performances thermiques d'un capteur solaire plan à air : étude expérimentale dans la région de Biskra, Revue des Energies Renouvelables, vol 12, N°2, p 237-248. (2009).
- [5] **A. Zerrouki , B. Tedjiza et N. Said**, Modélisation des Pertes Thermiques dans un Capteur Solaire à Air à deux Passes, Rev. Energ. Ren. Vol. 5 (2002) 49-58.
- [6] **Patankar, S.V.**, Liu, C.H. and Sparrow, E.M. (1977), "Fully developed flow and heat transfer in ducts having streamwise-periodic variations of cross-sectional area", Journal of Heat Transfer, Vol. 99, pp. 180-6.
- [7] **S. V. Patankar**, Numerical heat transfer and fluid flow, Mac Graw Hill, New York, 1980.