

Etude de l'écoulement de l'air dans un capteur solaire plan muni d'obstacles rectangulaires perforés

HENAOUI Mustapha^{#1}, ALIANE Khaled ^{#2} SARI-HASSOUN Zakaria^{#3}

[#] *Department de Génie Mécanique, Université de Tlemcen
Faculté de Technologie, B.P. 230 Chetouane Tlemcen Algérie*

¹mus196510live.fr

²kh_aliane@yahoo.fr

³sarihassounz@yahoo.com

Résumé—Cette étude propose l'amélioration des performances dynamiques d'un capteur solaire plan à air muni d'obstacles rectangulaires perforés.

Une étude bibliographique sur les travaux antérieurs relatifs aux capteurs solaires plans à air nous a permis d'orienter notre recherche vers des aspects nom encore abordés par la littérature. Le but de ce travail est de faire une simulation numérique de l'écoulement de l'air dans un capteur solaire plan muni d'obstacles rectangulaires perforés. La résolution numérique du problème étudié utilise la méthode des volumes finis pour discrétiser les équations gouvernantes. La modélisation de la turbulence est basée sur le modèle de turbulence k-ε.

Keywords—capteur solaire plan à air, chicane rectangulaire perforée, turbulence, méthode des volumes finis.

I. INTRODUCTION

L'énergie a toujours constitué un enjeu vital pour les sociétés humaines. Les comportements humains sont fortement induits par son abondance ou sa pénurie.

La prise de conscience de l'importance des enjeux liés à l'énergie (réchauffement climatique, épuisement des ressources, augmentation des coûts de la santé,...).

Les énergies renouvelables ont connu des phases de développement.

Parmi les énergies renouvelables, nous citons l'énergie solaire, une énergie exploitée depuis les millénaires

En raison de l'insuffisance de l'échange thermique réalisé dans le capteur solaire plan à air entre le fluide caloporteur et l'absorbeur [3]. L'utilisateur est amené à apporter des améliorations pour de meilleures performances ou une meilleure efficacité thermique.

Le travail présenté porte sur l'étude de l'écoulement de l'air dans un capteur solaire plan muni de chicanes rectangulaires perforées.

Le principe de cette technique est de faire circuler le fluide caloporteur sur toute l'espace entre l'absorbeur et la plaque isolante le plus longtemps possible.

Notre stratégie consistera à fixer des chicanes rectangulaires perforées sur l'absorbeur et sur la plaque isolante.

Des chercheurs ont proposé d'augmenter le transfert thermique entre l'absorbeur et le fluide caloporteur par l'ajout des obstacles.

Dans le cas des obstacles fixés sur l'isolant, le choix des formes géométriques d'obstacles utilisés doit satisfaire certains critères [3]. En effet la forme et la disposition des obstacles affectent l'écoulement d'air pendant sa trajectoire. Les obstacles assurent une bonne irrigation de l'absorbeur, créent la turbulence et réduisent les zones inactives dans le collecteur (A. Ahmed-Zaid et al [1]).

Dans le but d'améliorer les performances des capteurs solaires plans à air, la veine d'air dynamique du capteur a été garnie de rugosités artificielles de différentes formes et de différents arrangements afin d'optimiser les performances thermiques (K. Aoues et al [2]).

Le travail de Mokhtari F. et Al [7,8], traite les mesures de différentes températures de l'absorbeur et les températures de sortie de fluide de trois capteurs en deux modes de circulations naturelle et forcée, qui a permis de faire un choix sur la meilleure configuration parmi les trois configurations étudiées. Abene A. et al [9], étudie l'augmentation et l'optimisation d'un capteur par l'étude expérimentale en considérant plusieurs types d'obstacles disposés dans des rangées de l'espace dynamique de l'air dans le capteur, Bahria S. et al [10], pour une journée caractéristique du mois de mai, sous ensoleillement naturel étudie l'influence de l'augmentation de nombre de rangées de chicanes le rendement thermique de sept, huit, neuf et dix rangées, les résultats obtenus montrent que la température de sortie et le rendement du capteur sont nettement améliorés. Tsay et al [11], ont étudié numériquement le perfectionnement du transfert thermique d'un écoulement dans un canal muni d'une chicane verticale. L'influence de la taille de la chicane et des

revêtements en arrière sur la structure d'écoulement, est étudiée en détail pour

une gamme de nombre de Reynolds de 100 à 500. Ils ont constaté que l'introduction d'une chicane dans l'écoulement pourrait augmenter le nombre de Nusselt moyen de 190%.

Ils ont également observé que les caractéristiques thermiques et dynamiques de l'écoulement sont fonction de la position de la chicane Buchberg [12], la conversion solaire-thermique exige le contrôle de pertes de chaleur de l'absorbeur chaud à l'environnement plus frais. Basé sur la théorie de quelques mesures expérimentales, l'espacement entre l'absorbeur solaire chaud et les couvertures de verre influence l'efficacité thermique de la conversion.

Zerrouki et al, [13] ont rapporté dans leur travail une modélisation mathématique d'un capteur solaire à air de conception conventionnelle à deux passes (circulation d'air de part et d'autre de l'absorbeur). Ils ont étudié le cas où le capteur est dans un état tel que les conditions de BLISS sont respectées. Un bilan thermique a été établi respectivement sur la couverture transparente, l'absorbeur puis l'isolation thermique arrière. La résolution du système d'équations était obtenue.

II. PROBLEMATIQUE

Des recherches intensives s'effectuent jusqu'à présent pour minimiser les pertes thermiques et optiques d'une part et augmenter le transfert de chaleur entre l'absorbeur et le fluide caloporteur d'autre part. Cette augmentation est généralement assurée par des chicanes qui s'opposent au passage du fluide caloporteur. Cela conduira à augmenter les pertes de charges dans la veine fluide du capteur. Dans cette étude on incorpore des chicanes perforées dans la veine fluide du capteur solaire, de ce fait, le fluide caloporteur circule à l'intérieur de ces perforations ce qui permet la diminution des pertes de charges. On cherche à étudier l'aérodynamique interne de ces perforations pour que le fluide caloporteur soit toujours dirigé vers l'absorbeur en imposant une orientation adéquate à ses perforations et, par suite, le faire gagner un maximum de calories.

Les dimensions du canal présentées dans ce travail: figure. 1.

- La longueur du capteur : $L = 0.884$ m
- La hauteur des chicanes : $h = 0.08$ m
- L'espace entre l'entrée et la chicane supérieure : $L1 = 0.218$ m
- L'espace entre la deuxième chicane et la sortie : $L2 = 0.346$ m
- L'espace entre la première chicane inférieure et l'entrée $L3 = 0.37$ m
- L'espace entre la deuxième chicane inférieure

et la sortie : $L4 = 0.184$ m

- L'espace entre l'absorbeur et l'isolant :

$L5 = 0.146$ m

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

- Distance annulaire $r = 0.01$ m.

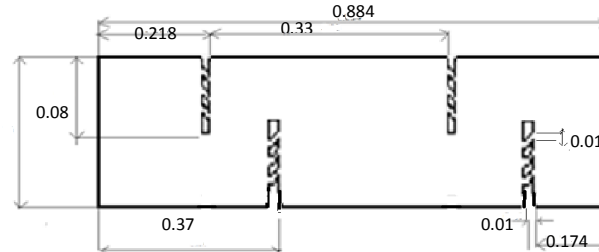


Fig. 1 Les dimensions de la géométrie étudiée

A. Système d'équations

L'écoulement au sein du capteur est gouverné par les équations de conservations suivantes [6] :

1) Conservation de la masse :

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

2) Conservation de la quantité de mouvement :

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

$$\rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[(\mu + \mu_t) \left(2 \frac{\partial u}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[(\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] \quad (2)$$

- Conservation de la quantité de mouvement suivant la direction radiale

$$\rho u \frac{\partial v}{\partial x} + \rho v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left[(\mu + \mu_t) \left(2 \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[(\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] \quad (3)$$

3) Conservation de l'énergie :

- Conservation de l'énergie dans le fluide :

$$\rho u \frac{\partial T}{\partial x} + \rho v \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\frac{\mu}{Pr} + \frac{\mu_t}{\sigma_T} \right) \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(\frac{\mu}{Pr} + \frac{\mu_t}{\sigma_T} \right) \frac{\partial T}{\partial y} \right] \quad (4)$$

- Conservation de l'énergie dans la paroi :

$$\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right) = 0 \quad (5)$$

B. conditions aux limites

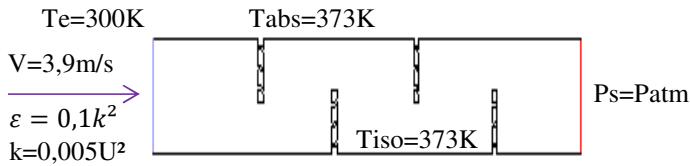


Fig. 2 Conditions aux limites

- La vitesse à l'entrée a examiné : $v=3.9\text{m/s}$
- La température de l'air à l'entrée $T_e = 300^\circ\text{K}$
- L'énergie cinétique turbulente à l'entrée $k = 0,005.v^2 = 0,3042 \text{ m}^2/\text{s}^2$
- L'énergie de dissipation à l'entrée $\varepsilon = 0,1. k^2 = 0,009253764 \text{ m}^2/\text{s}^3$
- La température de l'absorbeur et de la chicane supérieure : $T_{abs} = 373\text{K}$
- La température de la plaque métallique collé à l'isolant : $T_{iso} = 373\text{K}$
- La pression à la sortie : $p_s = p_{atm}$

III.RESULTATS ET INTERPRETATIONS

A. Validation des résultats

La validation des résultats est basée sur le travail de Demartini [4] qui utilise le même modèle géométrique mais avec de chicanes simples. Ces résultats sont donnés par la figure 3. La figure montre une bonne concordance entre nos résultats et les résultats de Demartini.

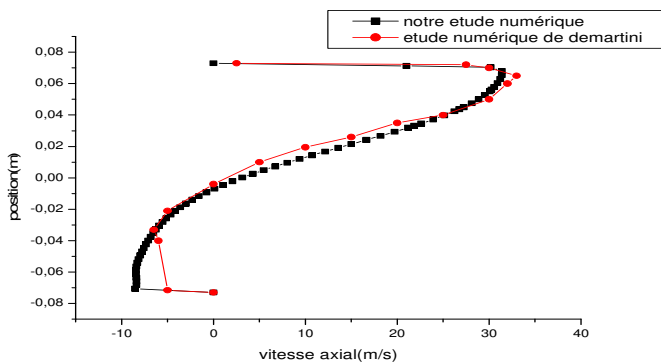


Fig. 3 Comparaison des résultats

B. Discussion

- Lignes de courant

La figure.4 illustre le contour des lignes de courant du fluide caloporteur.

On remarque des zones de recirculations de l'air à l'extrémité et au niveau des zones annulaires des chicanes.

La présence de chicanes perforées a libéré les volumes morts (bloqués) en amont de ses chicanes (zone : B1, B2, B3, B4) et une recirculation du fluide caloporteur.

- La recirculation du fluide caloporteur est orientée vers la paroi supérieure du capteur pour les chicanes fixées sur la paroi inférieure et elle est orientée vers la partie inférieure du capteur pour les chicanes fixées sur la paroi supérieure.

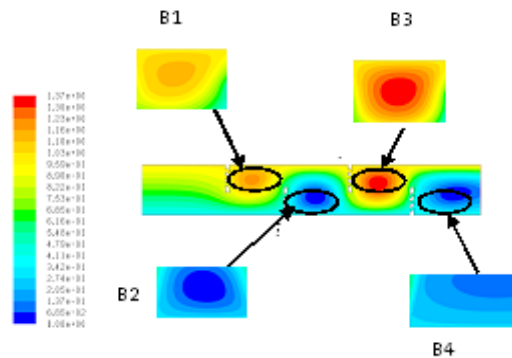


Fig. 4 Contour des Lignes de courant

- Vitesse

Augmentation des vitesses en aval des chicanes.

Ralentissement de la vitesse de recirculation du fluide caloporteur à partir des extrémités des chicanes.

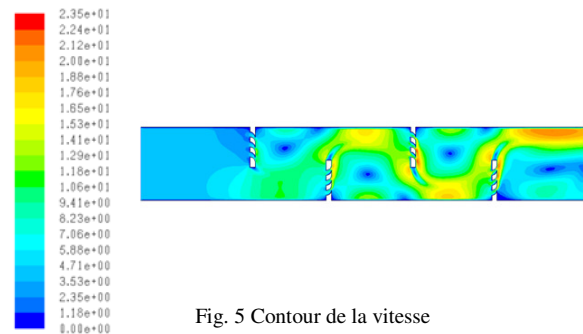


Fig. 5 Contour de la vitesse

Les (figures. 6 ; 7) montre l'évolution des profils de la vitesse pour la section à la position $x=0.2\text{m}$ et la section à la position $x=0.6\text{m}$.

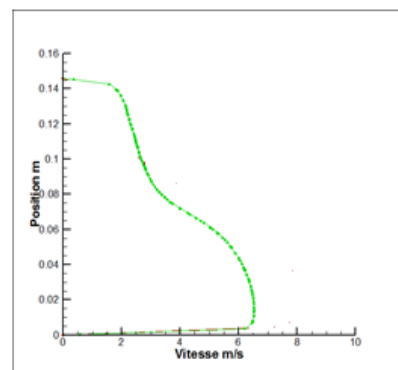


Fig.6 Profil de la vitesse pour à $x = 0.2m$

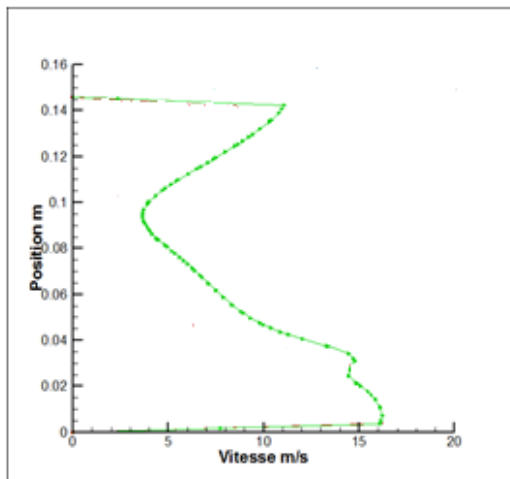


Fig.7 Profil de la vitesse pour à $x = 0.6m$

- Energie cinétique

A partir de l'extrémité de la deuxième chicane jusqu'à la demi-partie supérieure du capteur, la valeur de l'énergie cinétique atteint la valeur maximum de $26.5m^2/s^2$, figure 8.
 -Pour la troisième chicane, cette valeur devient $36m^2/s^2$.
 -pour la quatrième chicane, elle est de $37.9m^2/s^2$

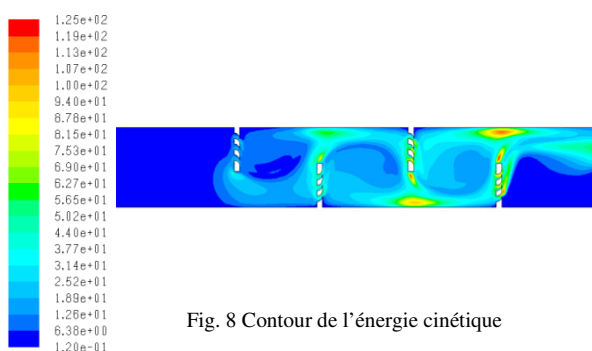


Fig. 8 Contour de l'énergie cinétique

- Dissipation turbulente

Le contour de la dissipation turbulente est illustré sur la figure.9.

Le développement de l'intensité de la dissipation turbulente est bien remarqué au niveau de la deuxième, troisième et quatrième chicane, elle est développée au niveau des extrémités et dans les zones annulaires.

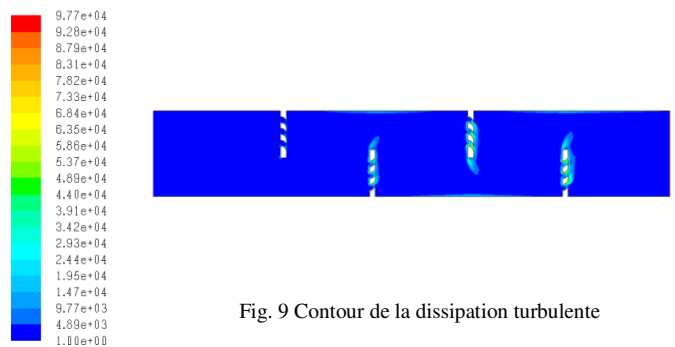


Fig. 9 Contour de la dissipation turbulente

- Distribution de la température

Le contour de la température est illustré sur la figure. 10. En aval de la première chicane du capteur la température du fluide caloporteur est $303K$ et $336K$. En aval de la troisième chicane, cette température varie entre $307K$ et $336K$ (zone : T3). La température de sortie de fluide est comprise entre $302K$ et $318K$ (zone : T).

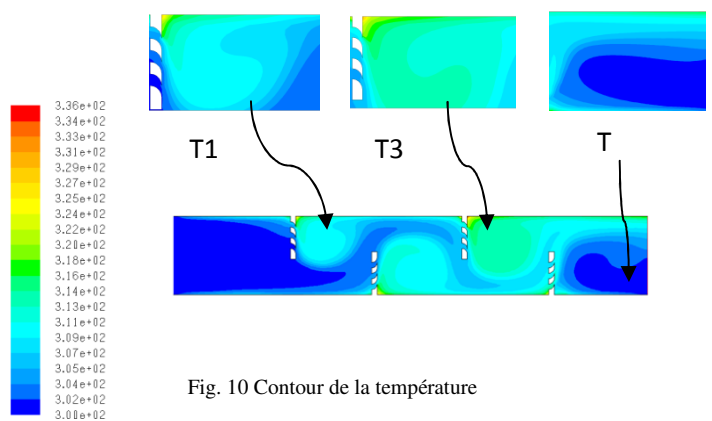


Fig. 10 Contour de la température

IV. CONCLUSIONS

Ce travail présente une contribution efficace pour l'amélioration des performances d'un capteur solaire plan à air. L'amélioration des performances des capteurs solaires consistait à limiter les déperditions thermiques entre

l'absorbeur et l'ambiance par l'introduction de chicane perforées. L'optimisation des performances porte plus particulièrement sur la manière de la circulation du fluide caloporteur.

-L'orientation du fluide caloporteur vers la paroi supérieure du capteur (Absorbeur)

-Ralentissement de la vitesse de fluide

-Répartition du champ de l'énergie cinétique entre les extrémités et les perforations des chicanes.

-Chauffage d'un maximum de fluide caloporteur.

Bouzaréah, Alger, ALGERIE. Rev. Energ. Ren. Vol. 5, pp49-58, (2002).

REFERENCES

- [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 , Revue des Energies Renouvelable. Vol.4 p 69-78 ,(2001).
- [2] K. Aoues, N. Moumni, M. Zellouf, A. Labed, E. Achouri, Etude de l'influence des rugosité- artificielles sur les performances thermiques des capteurs solaires plans à air , Revue des Energies Renouvelables, Vol 11, p 219- 227,(2008).
- [3] Joel H. Ferziger, Milovan Peric , computational Methods for Fluid Dynamics, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, (1996).
- [4] L. C. Demartini, H. A. Vielmo and S. V. Möller, Numeric and Experimental Analysis of the Turbulent Flow through a Channel With Baffle Plates, J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng , 20 Vol. XXVI, No. 153, (2004).
- [5] D. Fedala, Initiation à la CFD, Ed. Arts Et Métiers, ParisTech, Octobre, (2007).
- [6] S.V. Patankar, C.H. Liu, and E.M. Sparrow, 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, (1977).
- [7] F. Mokhtariet Semmar D., L'Influence de la Configuration de l'Absorbeur sur les Performances Thermiques d'un Capteur Solaire à Air, Centre de Développement des Energies Renouvelables, B.P. 62, Route de l'Observatoire, Bouzaréah, Alger, Algérie Rev. Energ. Ren. : Journées de Thermique, pp159-162,(2001).
- [8] F. Mokhtari et D. Semmar, Etude Expérimentale d'un Capteur Solaire à Air , Centre de Développement des Energies Renouvelables, B.P. 62, Route de l'Observatoire, Bouzaréah, Alger Rev. Energ. Ren. : Valorisation, pp 243-246,(1999).
- [9] A. Abene, V. Dubois, M. Le Ray, Study of a solar air flat plate collector, use of obstacles and application for the drying of grape , Volume 65, Issue 1, pp15-22, (2004).
- [10] S. Bahria, M. Amirat, Influence de l'adjonction des chicanes longitudinales sur les performances d'un capteur solaire plan à air, Revue des énergies Renouvelables Vol.16 N°1, pp51-63, (2013).
- [11] Y.L. Tsay., T.S. Chang, J.C. Cheng., Heat transfer enhancement of backward-facing step flow in a channel by using baffle installed on the channel wall, Acta Mech. 174, pp. 63-76,(2005).
- [12] H. Buchberg, I. Catton. and D.K. Edwards, Natural Convection in Enclosed spaces- a review of Application to Solar Energy Collection, J. Heat Transfer, ASME- 98, (2), pp 182-189,(1976).
- [13] A. Zerrouki, B. Tedjiza et N. Said, Modélisation des Pertes Thermiques dans un capteur Solaire à Air à deux Passes" . CDER B.P. 62