



Etude dynamique et thermique d'un capteur solaire à air à double passe avec milieu poreux

M. Sandali ^{#1}, A.N. Korti ^{#2}

[#] Laboratoire ETAP, Département de Génie Mécanique, Université de Tlemcen.

¹ sandalimessaoud@gmail.com

² korti72@yahoo.fr

Résumé— Une simulation numérique de transfert thermique d'un capteur solaire à air à double passe sans et avec milieu poreux a été faite. Le milieu poreux, avec différentes porosités, a été placé dans le canal inférieur du capteur solaire. Une comparaison entre deux capteurs solaires à air à double passe l'un avec milieu poreux et l'autre sans milieu poreux a été développée. Une étude dynamique consacrée à l'effet de l'augmentation du débit massique sur les vitesses axiales des particules fluide dans les deux canaux du capteur solaire a été faite. Une étude thermique a été réalisée sur les effets de la variation du rayonnement solaire, du débit massique sur l'efficacité thermique du capteur solaire sans et avec milieu poreux.

Mots clés— capteur solaire, double passe, milieu poreux, efficacité thermique.

I. 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. Cette énergie est utilisée dans différentes applications solaires, comme par exemple, le séchage des grains ou du bois, le chauffage des locaux industriels ou à usage d'habitation, ainsi que dans la réfrigération solaire.

Plusieurs types de capteurs à air ont été construits et testés à travers le monde. L'objectif principal étant de collecter le maximum d'énergie solaire à un coût minimum.

Dans le cadre de ce travail, nous allons nous intéresser à l'exploitation de l'énergie solaire par voie thermique en utilisant un capteur solaire à double passe pour la production de l'air chaude.

Dans ce sens, plusieurs travaux ont été consacrés à l'étude des capteurs solaires plans et ayant surtout pour but l'amélioration de son rendement thermique qui est la performance la plus significative. Dans ce qui suit, nous citons quelques travaux qui se classent dans le même axe du présent travail.

En vue de l'optimisation du rendement thermique du capteur solaire, K. Sopian et al [1], ont présenté une étude expérimentale sur le rendement thermique d'un capteur solaire à double passe avec milieu poreux placé dans le deuxième canal. Ils ont étudié les effets du débit d'air, et de rayonnement solaire sur le rendement thermique. Ils ont trouvé que, la présence du milieu poreux augmente la surface de transfert thermique d'où l'augmentation de la température de sortie, et que le capteur solaire à double passes a des performances thermiques plus élevées que celui à seule passe.

L'étude menée par Elradi A. Musa et al, [2] a porté sur l'analyse du transfert de chaleur du capteur solaire à double passe avec milieu poreux. Pour augmenter le transfert de chaleur des différents milieux poreux ordonnés avec différents porosités. Ils ont trouvé que dans le capteur solaire à double passe, le débit massique a un grand effet sur l'élévation de la température. La radiation solaire a aussi une grande influence sur l'élévation de la température à la basse porosité. Le coefficient de transfert de chaleur augmente par l'utilisation du milieu poreux dans le canal inférieur du capteur solaire à double passe.

Les travaux de Paisarn Naphon, [3] ont porté sur l'effet d'un milieu poreux sur la performance d'un capteur solaire à air à double passe. A partir de son étude, il a trouvé que le capteur solaire avec le milieu poreux est donné une efficacité thermique plus élevée avec 25.9% que celle du capteur sans milieu poreux.

Ahmad Fudholi et al [4], ont fait une étude expérimentale sur l'efficacité thermique d'un capteur solaire à air à double passe avec des ailettes placées dans le canal inférieur. L'efficacité thermique a été examinée par la variation du débit massique et de l'intensité solaire. Les résultats de cette étude montrent que le capteur solaire à air à double passe avec des ailettes a une efficacité plus que 75% pour un débit massique de 0.072 et une radiation solaire de 788w/m². l'efficacité du capteur solaire est dépend du débit massique et de la radiation solaire.

A.A. El-Sebaï et al [5], ils ont investigué expérimentalement et théoriquement la performance thermique d'un capteur solaire à air à double passe avec des ailettes attachées à la plaque absorbante (DPFIPSAH). La comparaison entre la température de sortie de l'air a été mesurée et la température de la plaque absorbante a été



présentée. Les résultats montrent que l'efficacité thermique du capteur solaire à double passe avec une plaque absorbante ondulé-v (DPVCPSAH) est plus élevée que celle du capteur solaire à double passe avec des ailettes attachées à la plaque absorbante. A partir des résultats expérimentaux et théorétiques, ils ont trouvé que :

- La température du fluide à la sorti du DPVCPSAH est plus élevée que celle du DPFIPSAH.
- Le DPVCPSAH est plus efficace que le DPFIPSAH.
- L'efficacité thermique du DPVCPSAH et DPFIPSAH augment avec l'augmentation du débit massique jusqu'à une valeur typique de 0.04kg/s.
- L'efficacité thermohydraulique maximal du DPVCPSAH est plus élevée que DPFIPSAH.

Le travail que nous présentons porte essentiellement sur une étude numérique pour évaluer le champ dynamique et thermique d'un écoulement d'air passant dans un capteur solaire à double passe avec milieu poreux.

II. MODÈLES ET APPROXIMATION

A. Modèle physique

La géométrie du problème considéré est présentée dans la (figure1). Il s'agit d'un capteur solaire à air à double passe avec milieu poreux. L'air circule d'abord dans la conduite supérieure avec un débit d'entrée et passe ensuite dans la conduite inférieure dans le sens inverse de l'écoulement. Le milieu poreux est placé dans la deuxième conduite. Une faible quantité du rayonnement solaire incidente sur le capteur est absorbé par la couverture en verre. Le reste est réfléchi vers l'extérieur et transmis à travers l'air vers l'absorbeur qui absorbe la grande quantité grâce à son grand coefficient d'absorption.

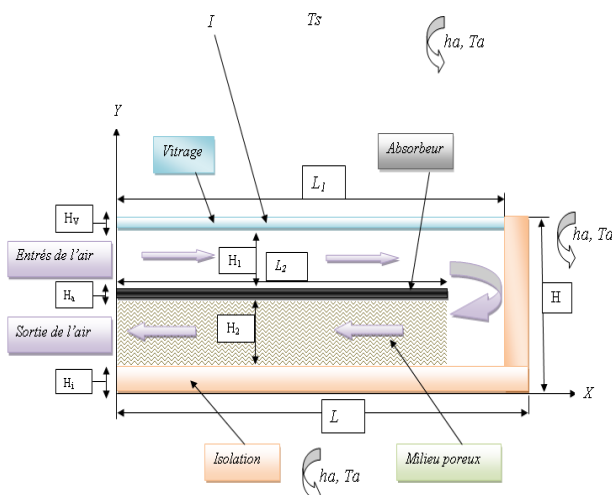


Fig. 1. Schéma du capteur solaire à double passe avec milieu poreux.

Les dimensions géométriques du problème étudié sont :

Largeur du capteur =1.2m, longueur du capteur =2.24m, hauteur de la première conduite =0.07m, hauteur de la deuxième conduite =0.07m, longueur de l'absorbeur =2.13m, épaisseur de l'isolation =0.04m, épaisseur du vitrage =0.004m, épaisseur du milieu poreux =0.07m.

B. Modèle d'écoulement

Les équations de la conservation suivantes décrivent le transfert thermo-convectif forcée à l'intérieur du capteur solaire sans et avec milieu poreux :

Dans l'air :

1) de la masse:

$$\partial u/\partial x + \partial v/\partial y = 0 \quad (1)$$

2) de la quantité de mouvement selon x et selon y :

$$(\partial(\rho u))/\partial t + \text{div}(\rho U u) = \text{div}(\mu \cdot \text{gradu}) - \partial P/\partial x \quad (2)$$

$$(\partial(\rho v))/\partial t + \text{div}(\rho U v) = \text{div}(\mu \cdot \text{grad}v) - \partial P/\partial y \quad (3)$$

3) de l'énergie:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \rho c \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) \quad (4)$$

$U = (u, v)$ représente le vecteur vitesse, ρ la densité, P la pression, μ la viscosité dynamique du fluide.

Dans le milieu solide:

1) de l'énergie:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) \quad (5)$$

Dans le milieu poreux:

L'écoulement dans le milieu poreux est gouverné par le modèle de Brinkman–Forchheimer dont les équations gouvernantes peuvent s'écrire comme suit :

1) de la masse:

$$\partial u_f/\partial x + \partial v_f/\partial y = 0 \quad (6)$$

2) de la quantité de mouvement selon x et selon y :



$$\frac{\rho}{\phi} \frac{\partial u_f}{\partial t} + \rho \left(u_f \frac{\partial u_f}{\partial x} + v_f \frac{\partial u_f}{\partial y} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial u_f}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial u_f}{\partial y} \right) - \frac{\mu u_f}{K} + \frac{\rho C \phi}{\sqrt{K}} \left| u_f \right| u_f \quad (7)$$

$$\frac{\rho}{\phi} \frac{\partial v_f}{\partial t} + \rho \left(u_f \frac{\partial v_f}{\partial x} + v_f \frac{\partial v_f}{\partial y} \right) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial v_f}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial v_f}{\partial y} \right) - \frac{\mu v_f}{K} + \frac{\rho C \phi}{\sqrt{K}} \left| v_f \right| v_f \quad (8)$$

Où :

K : est la perméabilité du milieu poreux :

$$K = \frac{d_p^2 \phi^3}{175(1-\phi)^2} \quad (9)$$

d_p : est le diamètre de la particule.

C : est le coefficient d'inertie :

$$C = \frac{1.75}{\sqrt{175}} \phi^{-3/2} \quad (10)$$

3) de l'énergie:

$$(\rho c)_m \frac{\partial T}{\partial t} + (\rho c)_m \left(u_f \frac{\partial T}{\partial x} + v_f \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_m \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_m \frac{\partial T}{\partial y} \right) \quad (11)$$

La conductivité thermique du milieu λ_m et le produit de la masse volumique par la capacité calorifique du milieu $(\rho c)_m$ sont calculées comme suit :

$$(\rho c)_m = \phi(\rho c)_f + (1-\phi)(\rho c)_s \quad (12)$$

$$\lambda_m = \phi\lambda_f + (1-\phi)\lambda_s \quad (13)$$

Initialement, l'air est supposé au repos à la température ambiante.

$$t=0 : u=v=0$$

$$T_i=T_a$$

III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

La fig.2 montre les lignes de courant pour un débit d'entrée égale à 0.008 kg/s. On remarque la présence de deux zones de recirculation, une première dans le coin supérieur du capteur

(au dessous de l'extrémité du vitrage) et une deuxième au dessous de l'extrémité droite de l'absorbeur. Ces zones sont générées par la présence d'une singularité dans l'écoulement du fluide.

La fig.3 montre l'évolution de la vitesse axiale dans les sections choisies du capteur solaire utilisant un débit de 0.008 Kg/s. On remarque que, la vitesse axiale dans le premier passage est presque uniforme dans toutes les sections, mais elle a diminuée dans la zone où le fluide change son sens d'écoulement (à $x=2.17m$) vers le canal inférieur. Dans cette région, on remarque des valeurs négatives de vitesse axiale montrant la présence d'une zone de recirculation du fluide à cause de retour des particules fluide. Dans le deuxième passage, on remarque qu'il a des valeurs positives de vitesse axiale (à $x=2m$). Ces valeurs reflètent la présence d'une autre zone de recirculation juste au dessous de l'extrémité de l'absorbeur qui est causée par l'orientation de l'écoulement d'air vers le deuxième passage avec des grandes vitesses.

La fig.4 présente le champ de température dans le capteur solaire à double passe sans milieu poreux pour un débit de 0.008 Kg/s et un rayonnement solaire de 500W/m². On observe que la température de l'air augmente dans la conduite supérieure dans le même sens des x par l'effet de la température du vitrage et de l'absorbeur et augmente dans le sens inverse des x dans la conduite inférieure par l'effet de l'absorbeur. Les zones les plus chaudes sont localisées au voisinage du vitrage et du côté de l'absorbeur.

La fig.5 présente le champ de température dans le capteur solaire à double passe avec milieu poreux pour un débit de 0.008 Kg/s et un rayonnement solaire de 500W/m². On remarque que la température de l'absorbeur dans le cas du capteur solaire avec milieu poreux est plus faible que celle dans le cas sans milieu poreux, et que la température de l'air dans le canal inférieur du capteur avec milieu poreux est plus élevée que celle dans le cas sans milieu poreux. Cette augmentation de la température de l'air au niveau du canal inférieur est due à l'addition du milieu poreux qui augmente la surface d'échange thermique.

La fig.6 montre l'influence du débit massique sur la température du fluide dans les deux canaux du capteur solaire. On remarque qu'avec l'augmentation du débit, les températures diminuent et l'écart de température du fluide entre l'entrée et la sortie du capteur diminue. On constate que la diminution du débit massique augmente le temps de séjour du fluide dans les deux conduites ce qui cause l'augmentation du temps d'échange thermique avec l'absorbeur.

La fig.7 montre l'influence du milieu poreux sur la température du fluide dans les deux passages du capteur solaire. En effet, l'addition du milieu poreux dans la conduite inférieure permet l'augmentation de la surface d'échange conduisant à l'augmentation de la température de l'air à la sortie. On remarque que, pour les débits suivants : 0.04kg/s,



0.08Kg/s et 0.005Kg/s, la température de l'air à la sortie du capteur solaire avec milieu poreux est égale à celle dans le cas sans milieu poreux. Par contre, pour les débits 0.008Kg/s et 0.01Kg/s, la température de l'air dans le cas du capteur solaire avec milieu poreux est plus élevée que celle dans le cas sans milieu poreux. Alors, on constat que l'intervalle du débit optimal dans le cas d'utilisation du milieu poreux est entre 0.008Kg/s et 0.01Kg/s. On remarque aussi que l'augmentation du débit entraîne la diminution de l'écart de la température du fluide entre l'entrée et la sortie du capteur solaire dans les deux cas du capteur, avec et sans milieu poreux.

La fig.8 montre bien l'influence du rayonnement solaire sur la température du fluide dans les deux passages. On remarque que la température du fluide augment avec l'augmentation de l'irradiation solaire. Quand l'absorbeur absorbe plus de chaleur avec l'élévation du rayonnement solaire sa température devient plus importante et elle va augmenter la température du fluide dans les deux canaux, supérieur et inférieur. Par conséquent, l'écart de température du fluide entre l'entrée et la sortie du capteur solaire augmente.

La fig.9 montre que la température de l'air à la sortie dans le cas du capteur solaire avec milieu poreux est plus élevée que celle dans le cas sans milieu poreux. Alors, on constate qu'avec l'augmentation du rayonnement solaire la température du fluide à la sortie du capteur solaire et l'écart de la température du fluide entre l'entrée et la sortie du capteur solaire dans les deux cas, avec et sans milieu poreux, augmentent.

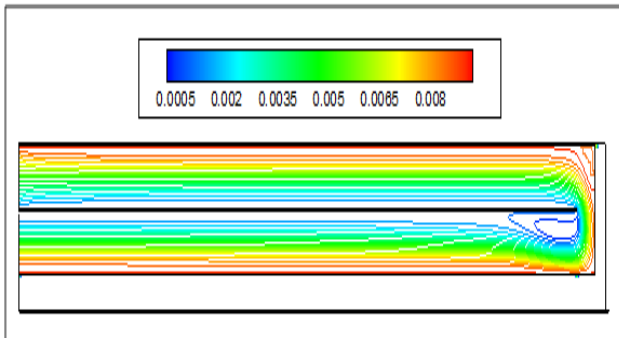


Fig. 2. Contour des lignes de courant.

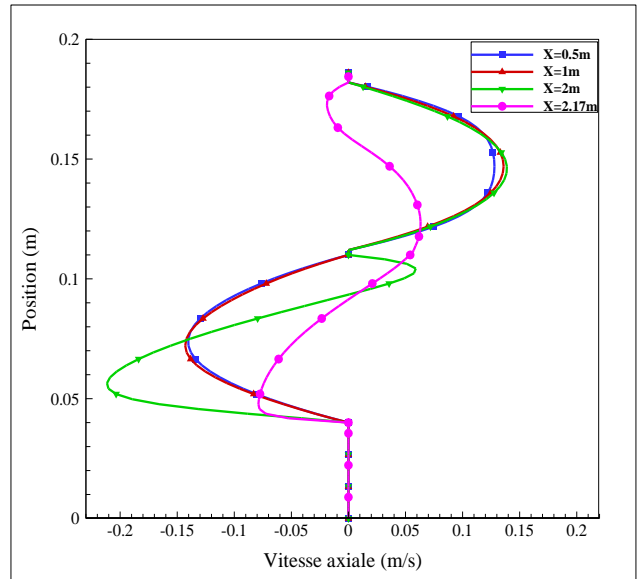


Fig. 3. Profil de la vitesse axiale pour les différentes sections.

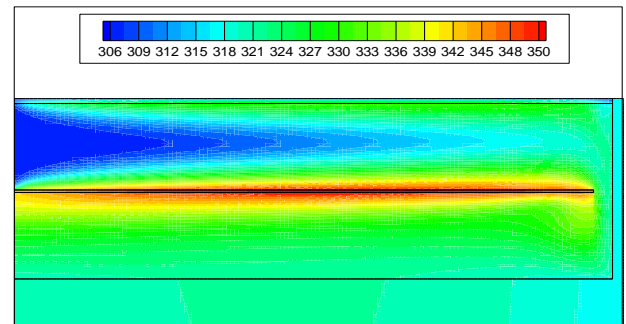


Fig. 4. Distribution de champ de température dans le capteur solaire à double passes sans milieu poreux.

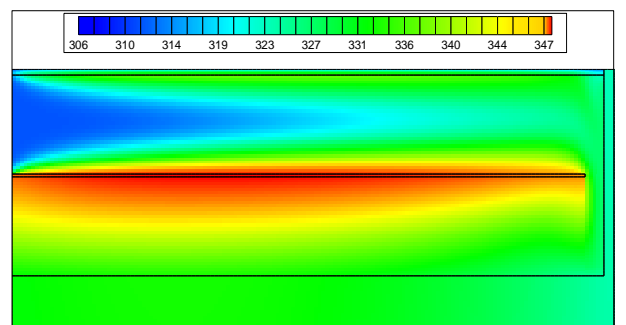


Fig. 5. Distribution de champ de température dans le capteur solaire avec milieu poreux.

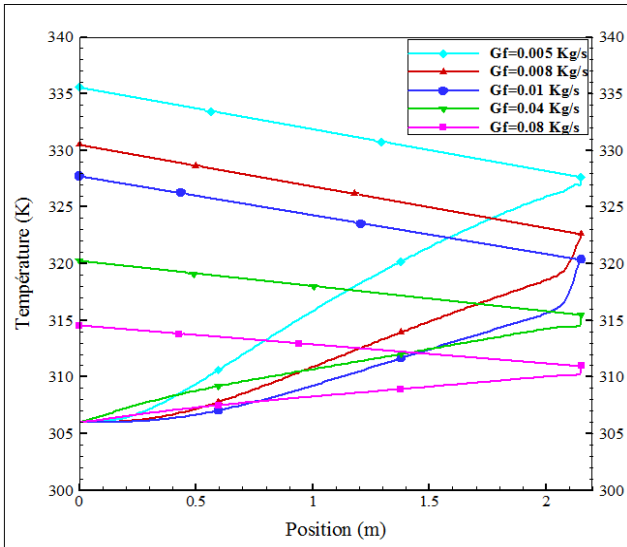


Fig. 6. Evolution de la température du fluide dans les deux canaux du capteur solaire sans milieu poreux, pour $I=500W/m^2$ et différents débits massiques.

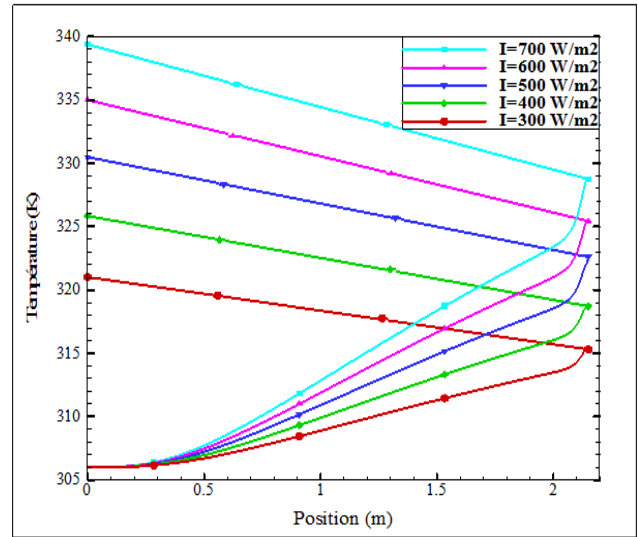


Fig. 8. Evolution de la température du fluide dans les deux canaux du capteur solaire sans milieu poreux, pour $Gf=0.008Kg/s$ et différents valeurs du rayonnement solaire.

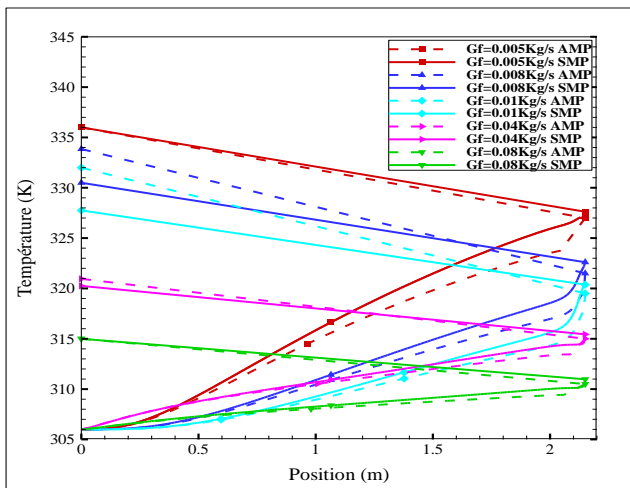


Fig. 7. Evolution de la température du fluide dans les deux canaux du capteur solaire sans et avec milieu poreux, pour $I=500W/m^2$ et différents débits massiques.

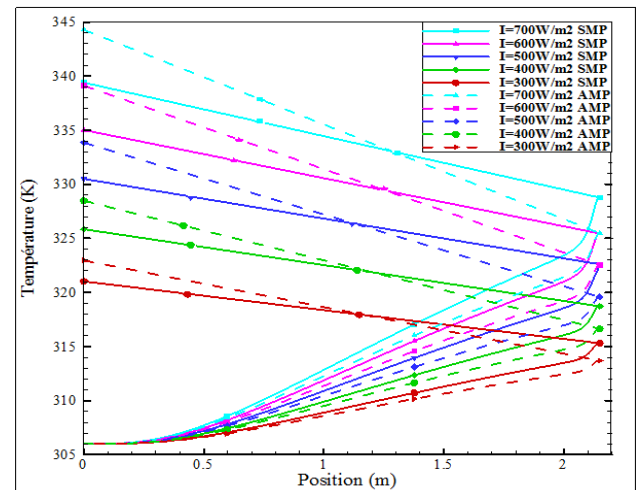


Fig. 9. Evolution de la température du fluide dans les deux canaux du capteur solaire sans et avec milieu poreux, pour $Gf=0.008Kg/s$ et différents valeurs du rayonnement solaire.

IV. CONCLUSION

L'objectif de ce travail est d'étudier l'efficacité thermique du capteur solaire à air à double passe avec et sans milieu poreux. La simulation numérique du système aboutie à la détermination de l'évolution de la température du fluide dans les deux canaux du capteur solaire et le profil de la vitesse axiale dans des différentes sections du canal, ainsi que l'influence de certains paramètres sur son efficacité thermique. Cette étude a été réalisée à l'aide du code de calcul fluent basée sur la méthode des volumes finis.

Le capteur solaire a été étudié dans deux cas, sans et avec milieu poreux pour faire une comparaison entre les



Le 2^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 2nd International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa – Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2014



températures du fluide à la sortie (dans le deuxième canal) et montrer ainsi l'influence du milieu poreux sur l'efficacité thermique du capteur solaire.

Les résultats obtenus montrent l'influence du débit massique et du rayonnement solaire sur l'efficacité thermique du capteur solaire. L'augmentation du rayonnement solaire va augmenter la température de l'absorbeur et par conséquent une élévation au niveau de la température du fluide dans les deux canaux. L'augmentation du débit massique va diminuer le temps de séjour du fluide à l'intérieur du capteur qui donne un mauvais échauffement du fluide. Par contre, avec des faibles valeurs du débit le fluide aura suffisamment de temps pour un bon échauffement.

Une augmentation de la vitesse dans la région de retour (entrée du canal inférieur) du capteur est observée entraînant des zones de recirculation qui résulte du changement brusque du sens de l'écoulement.

L'addition du milieu poreux dans le canal inférieur du capteur solaire permet d'augmenter la surface d'échange entre le fluide et le matériau poreux qui provoque l'augmentation de la température du fluide à la sortie du capteur. Quand la

porosité augmente, l'efficacité thermique augmente aussi, alors, avec l'addition du milieu poreux on peut gagner plus d'énergie thermique.

REFERENCES

- [1] K. Sopian, Supranto, W.R.W. Daud, M.Y. Othman, V.B. Yatim, Thermal performance of the double-pass solar collector with and without porous media, *Renewable Energy* 18 (1999) 557±564.
- [2] E. A. Musa, K. Sopian and S. Abdullah, Heat Transfer Analysis and Pressure Drop Correlations for the Double-Pass Solar Collector with Porous Media, *Journal of Energy & Environment* 3 (2004) 15 – 24.
- [3] P. Naphon, Effect of porous media on the performance of the double-pass flat plate solar air heater, *International Communications in Heat and Mass Transfer* 32, pp.140–150, 2005.
- [4] A. Fudholi, M.H. Ruslan, M.Y. Othman, M. Yahya, Supranto, A. Zaharim, and K. Sopian, Collector Efficiency of the Double-Pass Solar Air Collectors with Fins, *Selected Topics in System Science and Simulation in Engineering*.
- [5] A.A. El-Sebaï, S.A. Enein, M.R.I. Ramadan, S.M. Shalaby, B.M. Moharram, Thermal performance investigation of double pass-finned plate solar air heater, *Applied Energy* 88 (2011) 1727–1739.