



HAL
open science

Etude expérimentale du comportement d'un milieu poreux parcouru par un écoulement d'air et soumis à un chauffage pariétal

Belgacem Dhifaoui, Walid Foudhil, Sadok Ben Jabrallah, Ali Belghith

► **To cite this version:**

Belgacem Dhifaoui, Walid Foudhil, Sadok Ben Jabrallah, Ali Belghith. Etude expérimentale du comportement d'un milieu poreux parcouru par un écoulement d'air et soumis à un chauffage pariétal. JITH 2007, Aug 2007, Albi, France. 5p. hal-00161178

HAL Id: hal-00161178

<https://hal.science/hal-00161178>

Submitted on 29 Aug 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ETUDE EXPERIMENTALE DU COMPORTEMENT D'UN MILIEU POREUX PARCOURU PAR UN ECOULEMENT D'AIR ET SOUMIS A UN CHAUFFAGE PARIETAL.

B. DHIFAQUI^a, W. FOU DHIL^a, S. BEN JABRALLAH^a, A. BELGHITH^b

Laboratoire d'Energétique et des Transferts Thermique et Massique
Campus Universitaire. 1060. Tunis.

^a Faculté des Sciences de Bizerte. 7021. Bizerte. Tunisie.

^b Faculté des Sciences de Tunis.

sadok.jabrallah@fsb.rnu.tn, belgacem.dhifaoui@fst.rnu.tn

Résumé : Nous présentons une étude expérimentale des transferts thermiques ayant lieu entre la paroi chauffée d'un canal vertical et le fluide (l'air) qui le traverse. L'étude a porté sur deux cas : un canal rempli d'air puis le canal a été rempli d'un milieu granulaire (billes de verre). La comparaison des résultats a mis en évidence le rôle du milieu poreux dans l'intensification de transferts ce qui permet d'envisager l'utilisation du système en tant qu'échangeur de chaleur.

Mots clés : lit fixe, perte de charge, chauffage pariétal, échangeur de chaleur.

1. INTRODUCTION

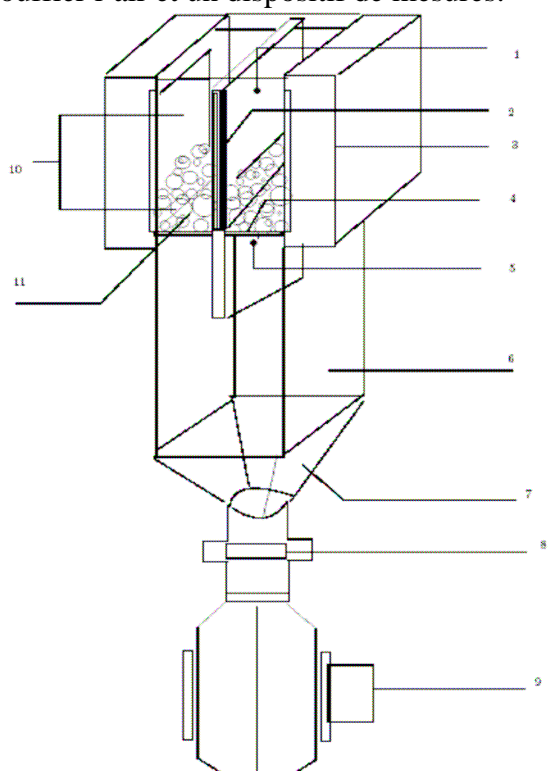
Le problème de la maîtrise des échanges dans les écoulements de fluides à travers un milieu poreux se pose dans de nombreuses activités industrielles et intervient dans des domaines variés. On le rencontre dans l'extraction du pétrole et du gaz à travers le sol, le stockage de déchets radioactifs dans des enceintes, dans le génie chimique, et dans l'industrie, en particulier les échangeurs de chaleur. Les principaux types d'échangeurs de chaleur rencontrés sont soit les échangeurs tubulaires, soit les échangeurs à plaques. Il convient également de citer les échangeurs où l'un des deux fluides change de phase (tours de refroidissement, évaporateurs, condenseurs) [1]. D'autres échangeurs, à lit fluidisé [2] ou à lit fixe ont été proposés [3, 4]. L'avantage de ce dernier type d'échangeur réside dans le fait qu'il met en jeu une grande surface de contact avec le fluide en écoulement. La trajectoire suivie par le fluide à travers le lit devrait promouvoir des taux élevés de transfert de la chaleur. Récemment, D. Y Lee et al. [5] ont conduit une étude numérique traitant l'effet de l'épaisseur de la couche limite dynamique sur le transfert de chaleur dans un canal rempli de milieu poreux. D'autres auteurs ont étudié le cas des milieux partiellement remplis d'un milieu poreux tels que, A.A. Mohamad [6] qui présente une étude du transfert de chaleur dans un tube ou un canal complètement ou partiellement rempli par un milieu poreux et traversé par un écoulement forcé. L'effet de l'épaisseur de la couche poreuse sur le taux du transfert de chaleur et la perte de charge ont été examinés. Il a montré que le fait de remplir partiellement le canal a deux avantages: il augmente le taux de transfert de la chaleur, et la perte de charge est beaucoup moins importante que pour un conduit rempli complètement d'un milieu poreux. Cette valeur devient de plus en plus faible quand le nombre de Darcy diminue. W. J. Chang et al. [7] présentent une étude numérique de la convection mixte se développant dans un canal vertical, dont les parois sont soumises à des températures constantes, en présence d'une couche poreuse disposée parallèlement au sens de l'écoulement.

Les résultats numériques de cette étude prouvent que: lorsque l'épaisseur de la couche poreuse augmente la perte de charge augmente. Lorsque le nombre de Darcy augmente le nombre de Nusselt local augmente alors que la perte de charge diminue.

Il ressort de l'étude bibliographique que dans la plupart des études qui portent sur les milieux poreux partiellement remplis, la couche poreuse introduite est disposée parallèlement au sens de l'écoulement. Dans le présent travail, l'écoulement dans un canal, disposé verticalement, en présence d'un milieu poreux et soumis à un flux de chauffage pariétal constant a été considéré. L'objectif principal de ce travail est d'analyser l'effet de la présence d'une couche poreuse, disposée perpendiculairement au sens de l'écoulement, sur le comportement du système. Des séries de mesures ont été effectuées pour différentes conditions de flux de chauffage et de débit d'écoulement.

2. DISPOSITIF EXPERIMENTAL ET PROTOCOLE DE MESURES

Nous avons réalisé un dispositif expérimental (fig.1) composé essentiellement de quatre éléments : Un canal (siège de l'écoulement d'air), un système de chauffage, un dispositif pour souffler l'air et un dispositif de mesures.



Légendes : 1 : capteur (T_e et V_e), 2 : Plaque chauffée, 3: Isolant (bois+liège), 4 : Grille supportant la matrice solide, 5 : capteur (T_s et V_s), 6 : Conduite en plexiglas, 7 : Divergent, 8 : variateur de vitesse, 9 : Ventilateur, 10 : Capteur de pression différentielle et 11 : billes de verre

Fig. 1: Schéma simplifié du dispositif expérimental

Le canal est formé à l'aide de deux plaques planes rectangulaires (largeur $W = 0.2 \text{ m}$ et longueur $H = 0.4 \text{ m}$), et disposées verticalement suivant la longueur. Les deux plaques sont séparées par une distance L , maintenues à cette distance par deux parois latérales en bois. L'une des plaques verticale est chauffée par un flux de chaleur uniforme. La plaque opposée considérée quasi-adiabatique est isolée à sa face arrière avec une couche de liège. Un cadre en bois rassemble ces éléments pour former un canal de forme égale à dix. La matrice solide choisie pour former un milieu poreux est formée de billes de verre. Une soufflerie placée à l'entrée du canal permet d'imposer le débit d'air en bas du canal. Le débit, la pression et la température du fluide sont contrôlés et enregistrés à l'entrée et à la sortie du canal à l'aide des capteurs et des interfaces d'acquisition. Les températures au sein du milieu poreux ainsi que celles des deux parois actives (parois verticales) ont été relevées à différents niveaux du milieu en utilisant des thermocouples de type-K.

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

L'étude a porté, en première étape, sur le cas où le canal est rempli d'air. Ensuite, nous remplissons partiellement le canal par une couche de billes. L'épaisseur de la couche poreuse peut être variée. La vitesse et le gradient de température ont été relevés afin de déterminer l'efficacité du système définie par le rapport du flux arraché par le fluide en écoulement à travers le canal par celui fourni au système.

3.1. Coefficient de transfert

Le coefficient de transfert de chaleur est calculé selon l'expression définie dans [10]:

$$h_y = \frac{\dot{q}}{T_c(y) - T_m(y)} \quad \text{avec} \quad T_m(y) = T_e + \frac{\dot{q}w}{mC_p} y \quad (1)$$

où \dot{q} la densité de flux fourni au système, $T_c(y)$, $T_m(y)$ et T_e sont respectivement la température locale de la paroi chauffée, la température moyenne du fluide et celle du fluide à l'entrée du canal,

Les valeurs calculées du coefficient de transfert de chaleur local $h(y)$, pour un canal sans matrice poreuse, en fonction de la coordonnée adimensionnelle Y sont représentées sur la Fig.2. Une variation assez importante du coefficient de transfert paroi-fluide est remarquée dans la zone située près de l'entrée du canal alors qu'il demeure presque constant dans le reste du milieu. Cette constatation est confirmée par les travaux de Jiang et al. [8]. A une hauteur donnée, le coefficient de transfert croît avec la vitesse du fluide. En effet, l'augmentation de la vitesse du fluide fait diminuer l'épaisseur de la couche limite thermique qui se forme près de la paroi selon l'expression (2). Une telle diminution de l'épaisseur de la couche limite fait augmenter le transfert de chaleur paroi-fluide. L'épaisseur de la couche limite est reliée à la vitesse de l'écoulement par la relation : $\delta_t^2 = H / Re^{0.5}$. Le nombre de Reynolds est défini avec la longueur de la plaque selon le sens de l'écoulement (H dans notre cas).

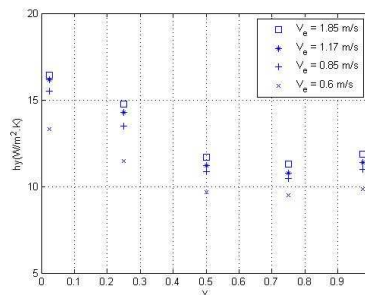


Fig. 2 : Variation du coefficient de transfert local (paroi-fluide) pour différentes valeurs de la vitesse d'entrée

3.2. Efficacité du système thermique

La performance d'un système thermique est généralement représentée par son efficacité ou encore son rendement. On définit le rendement du système par le rapport du flux arraché par le fluide en écoulement ($q_{rec} = mC_p(T_s - T_e)$) par le flux fourni au système (q) selon la relation :

$$\eta = \frac{q_{rec}}{q} \quad (3)$$

où $m = \rho_f V_e S'$ est le débit massique du fluide, T_e et T_s sont les températures du fluide relevées respectivement à l'entrée et à la sortie du canal.

Sur la Fig.3-a, nous avons représenté l'évolution du rendement du système en fonction de la vitesse d'entrée pour deux valeurs de la densité de flux de chauffage. La tendance générale de ces courbes est que le rendement du système diminue avec la vitesse d'entrée. Pour une vitesse d'entrée donnée l'efficacité du système augmente en augmentant la densité de flux de chauffage.

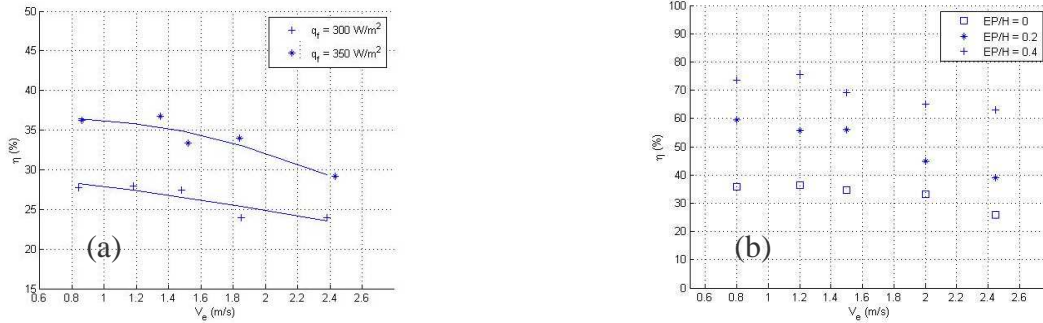


Fig.3 : Variation de l'efficacité η en fonction de la vitesse d'entrée (a) : pour deux valeurs du flux de chauffage, (b) : pour différentes valeurs du rapport (EP/H)

La Fig.3-b, qui représente la variation du rendement du système en fonction de la vitesse du fluide pour trois configurations : EP/H = 0, 0.2 et 0.4, montre que la présence du milieu poreux améliore l'efficacité du système étudié. En augmentant la couche poreuse de 8cm à 16cm, pour un débit fixe, l'efficacité du système augmente. En effet, la présence de la matrice solide perturbe l'écoulement et le rend tortueux ce qui permet au fluide de se charger d'avantage de la chaleur en quittant les zones interstitielles.

La fig.4, représente la variation de l'efficacité du système en fonction de la grandeur adimensionnelle EP/H pour une densité de flux de chauffage et un débit d'écoulement fixes. Cette courbe montre que l'efficacité augmente en fonction de la couche poreuse. A partir d'une certaine hauteur (EP/H=0.7), cette efficacité diminue. Ceci pourrait être expliqué par l'effet de la forte perte de charge apportée par la présence du milieu poreux.

3.3. Perte de charge

L'équation la plus utilisée pour l'évaluation des chutes de pression à travers les lits fixes est l'équation d'Ergun. Elle donne de bons résultats pour les lits de particules sphériques. Cette équation s'écrit :

$$-\frac{dP}{dy} = \frac{150(1-\varepsilon)^2 \mu_f}{d_p^2 \varepsilon^3} V_D + \frac{1.75(1-\varepsilon) \rho_f}{d_p \varepsilon^3} V_D^2 \quad (4)$$

où dP est une différence de pression mesurée selon le sens de l'écoulement entre deux plans distants de dy . V_D est la vitesse d'infiltration reliée à la vitesse du fluide dans les pores par la porosité du milieu ($V_D = \varepsilon V_p$).

Pour la plage de vitesse employée lors de cette étude et dans le cas d'un canal totalement rempli, nous avons trouvé expérimentalement que la perte de charge est proportionnelle à la longueur du milieu poreux (Fig. 5). Pour une hauteur donnée la perte de charge augmente lorsque la vitesse d'entrée augmente.

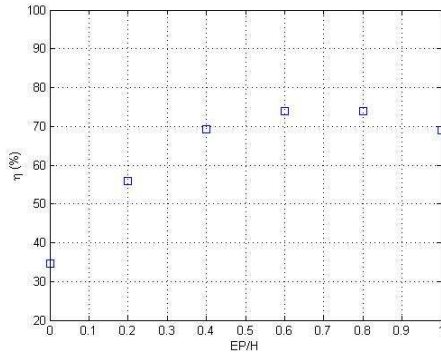


Fig. 4 : Variation de l'efficacité, η en fonction du rapport (EP/H)

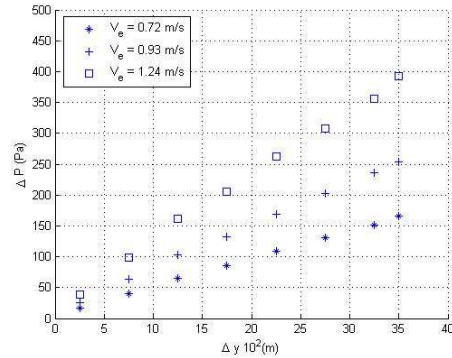


Fig. 5 : Variation du gradient de pression selon la direction de l'écoulement en fonction de V_e .

CONCLUSION

Nous avons procédé à une étude expérimentale des transferts thermiques dans un canal vertical en présence et en absence d'une couche poreuse formée de billes de verre en vue d'optimiser un échangeur de chaleur. Les résultats obtenus montrent que le fait d'utiliser une couche poreuse permet d'élever l'efficacité du système en tant qu'échangeur de chaleur. Dans ce cas, le rendement peut être amélioré en travaillant avec des débits faibles ou/et en augmentant la densité de flux de chauffage.

Nomenclature

Symbole

L largeur du canal, m

S' surface de base du canal ($L \times W$), m^2

Y coordonnée adimensionnelle, y/H

H hauteur du canal

Exposant, Indices

EP épaisseur de la couche poreuse

Références

- [1]. J. Sacadura, Initiations aux Transferts Thermiques, Ed. Lavoisier, 4^{ème} édition, 1993.
- [2]. S.W. Aha, S.T. Bae, B. C. Lee, W.C. Kim and M.W. Bae, Fluid flow and heat transfer in fluidized bed vertical shell and type heat exchanger, *Int. J. Heat and Mass Transfer*, Volume 32, pp. 224-232, 2005.
- [3]. P.-X. Jiang and X.-C. Lu, Numerical simulation of fluid flow and convection heat transfer in sintered porous plate channels, *Int. J. of Heat and Mass Transfer*, Volume 46, pp.1685-1695, 2006.
- [4]. T. Tomimura, K. Hamano, Y. Honda, R. Echigo, Experimental study on multi-layered type of gas-to-gas heat exchanger using porous media, *Int. J. Heat and Mass Transfer*, Vol. 47, pp.4615-4623, 2004.
- [5]. K. Vafai and C.-L. Tien, Boundary and inertia effects on flow and heat transfer in porous media, *Int. J. Heat and Mass Transfer*, Volume 24, pp. 195--203, 1981.
- [6]. D.-Y Lee, J. S. Jin and B.H. Kang, Momentum boundary layer and its influence on the convective heat transfer in porous media, *Int. J. Heat and Mass Transfer*, Volume 45, pp.229-233, 2002.
- [7]. A. Mohamed, Heat transfer enhancements in heat exchangers fitted with porous media Part I: constant wall temperature, *Int. J. of Thermal Sciences*, Volume 42, pp. 385-395, 2003.
- [8]. W.-J. Chang and W.-L. Chang, Mixed convection in vertical parallel-plate channel partially filled with porous media of high permeability, *Int. J. Heat and Mass Transfer*, Volume 39, pp.1331-1342, 1996.