



Amélioration du taux de transfert de chaleur par l'utilisation des nanofluides dans un canal contient deux sources de chaleur

L. Boutina^{*1}, H. Boualit¹, M. Lebbi¹, T. Chergui¹, M. T. Bouzaher¹ et S. Laouar¹

¹ Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, URAER, Centre de Développement des Energies Renouvelables,
CDER, 47133, Ghardaïa, Algeria

*Correspondant E-mail : Boutina_ilyes@uraer.dz

Résumé— Une étude numérique sur l'amélioration du transfert de chaleur par l'utilisation des nanofluides dans un canal vertical, contient deux sources de chaleur identique a été faite. Les équations régissant l'écoulement sont discrétisé par la méthode des volumes finis et l'algorithme SIMPLE a été utilisé pour traiter le couplage (pression-vitesse). Les résultats montrent que l'utilisation des nanofluides augmente le taux du transfert de chaleur d'environ de 21% comparativement de l'écoulement de base. Des corrélations pour le nombre du Nusselt moyens en fonction du nombre de Reynolds et la fraction volumique solide des nanoparticules ont été proposées. Les résultats ont été comparés avec des travaux antérieurs trouvés dans la littérature.

Keywords— Amélioration taux de transfert de chaleur, Simulation numérique, Nanofluides, Canal vertical contient deux sources de chaleur.

I. INTRODUCTION

Le refroidissement des équipements ultra performance est l'un des besoins les plus importants dans nombreuses technologies industrielles comme le refroidissement des micro-processeurs, les réacteurs nucléaires, les capteurs solaire, etc. L'un des principaux obstacles dans l'efficacité de tel processus est que les fluides de refroidissement conventionnels (air, l'eau, éthylène glycol,...etc.) sont très mauvais conducteurs de chaleur. C'est pour ça, une grande attention est motivée dans ce domaine qui couvre un champ très vaste, une des techniques prometteuses est l'utilisation les nanofluides pour améliorer le transfert de chaleur. Plusieurs travaux récents ont été réalisés afin d'améliorer le problème du refroidissement. Parmi les travaux existe, nous citons quelque travaux expérimentaux et numériques avec et sans utilisation des nanofluides. Une étude numérique sur l'amélioration du transfert de chaleur des deux ailettes par convection mixte, dans un canal horizontal rempli par l'eau pur ou un nanofluide (Cu-eau) a été présentée par I. Pishkar et al. (2012). Les investigations révèlent que l'augmentation de la

fraction volumique solide provoque une augmentation du transfert de chaleur, pour des valeurs plus élevées du nombre de Reynolds. A. Santra et al. (2009) ont étudié numériquement l'effet de nanofluide (Cu-eau) sur le refroidissement des deux plaques horizontales maintenu à une température constante. L'étude a été réalisée pour une large gamme de Reynolds ($5 \leq Re \leq 1500$) et la fraction volumique solide ($0 \leq \phi \leq 0.5$). Ils ont observé que le taux de transfert de chaleur augmente avec l'augmentation du nombre de Reynolds ainsi que la fraction volumique solide du nanofluide. L'écoulement laminaire forcé de l'eau/nanofluides à l'intérieur de micro-tube a été étudiée numériquement et expérimentalement par B. Salman et al. (2014). Les effets de concentration des nanoparticules (0.05 % à 1 %), et du nombre de Reynolds (90 à 800) sur le facteur de friction et le taux de transfert de chaleur ont été présentés. Les résultats montrent que le transfert de chaleur a été améliorée d'environ 22%, en comparés à des fluides classiques. S. Heris et al. (2007) ont fait une étude expérimentale sur le transfert de chaleur par convection forcée du nanofluide (AL₂O₃/eau) dans un tube circulaire maintenez à une température constante. Les expériences ont été faites pour différentes concentration de nanoparticules, et pour différents valeurs du nombre de Peclet et Reynolds. Les résultats montrant l'amélioration du transfert de chaleur avec l'augmentation de la concentration des nanoparticules. M. Fakour et al. (2014) ont étudié numériquement l'écoulement laminaire des nanofluides et le transfert de chaleur dans un canal vertical. L'analyse montre que les nanoparticules peuvent améliorer les caractéristiques de transfert de chaleur de manière significative à ce problème d'écoulement. L'objectif principal de cette étude est d'analyser numériquement l'amélioration du taux de transfert de chaleur par l'utilisation des nanofluides (eau/Cu) dans un canal contient deux sources de chaleur. Les effets du nombre de Reynolds ($5 \leq Re \leq 200$), de la fraction volumique solide des nanoparticules ($0 \leq \phi \leq 0.05$) ont été examinés sur la distribution de température et le taux du transfert de chaleur.



II. MODELISATION MATHÉMATIQUE

A. Géométrie du notre problème

La géométrie du problème considéré schématisée par la figure. 1. Elle consiste en deux sources de chaleur identiques montées sur la paroi gauche d'un canal vertical de longueur (L) et de largeur (H). La première source de chaleur est située à une distance (l1) de l'entrée du canal. Par contre, la distance entre la deuxième source de chaleur et la sortie du canal est égale à (l2). Les parois du canal sont supposés adiabatiques.

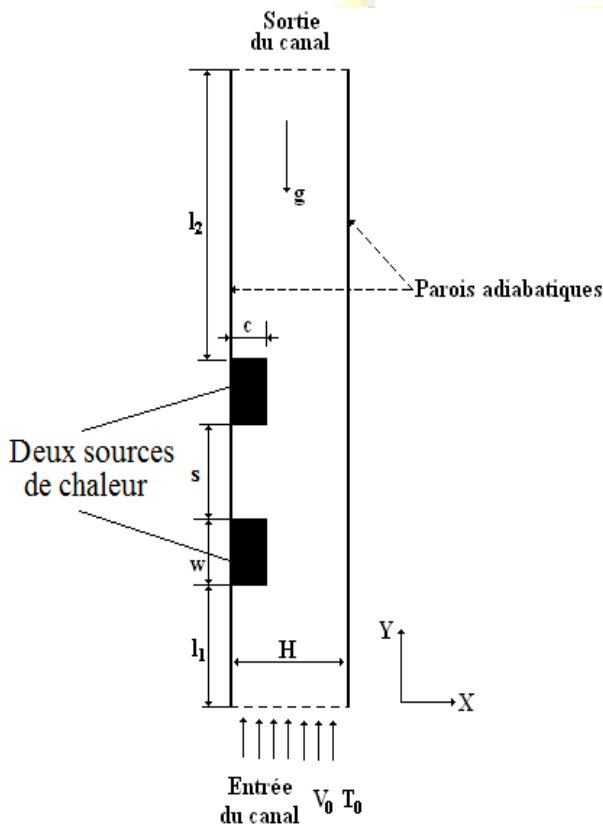


Fig. 1 Deux sources de chaleur montées dans un canal vertical.

B. Formulation mathématique et condition aux limites

Les équations adimensionnelles régissant l'écoulement, s'écrivent comme suit :

L'équation de continuité

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0 \quad (1)$$

Les équations de quantité de mouvement suivant X et Y

$$U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial X} + \frac{1}{\text{Re}} \frac{\rho_f}{\rho_{nf}} \frac{1}{(1-\phi)^{2.5}} \left[\frac{\partial}{\partial X} \left(\frac{\partial U}{\partial X} \right) + \frac{\partial}{\partial Y} \left(\frac{\partial U}{\partial Y} \right) \right] \quad (2)$$

$$U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial Y} + \frac{1}{\text{Re}} \frac{\rho_f}{\rho_{nf}} \frac{1}{(1-\phi)^{2.5}} \left[\frac{\partial}{\partial X} \left(\frac{\partial V}{\partial X} \right) + \frac{\partial}{\partial Y} \left(\frac{\partial V}{\partial Y} \right) \right] + \frac{(\rho\beta)_{nf}}{\rho_{nf}\beta_f} \frac{Gr}{\text{Re}^2} \theta \quad (3)$$

L'équation de l'énergie

$$U \frac{\partial \theta}{\partial X} + V \frac{\partial \theta}{\partial Y} = \frac{1}{\text{Pr}} \frac{\alpha_{nf}}{\text{Re}} \left[\frac{\partial}{\partial X} \left(k^* \frac{\partial \theta}{\partial X} \right) + \frac{\partial}{\partial Y} \left(k^* \frac{\partial \theta}{\partial Y} \right) \right] \quad (4)$$

U et V sont les vitesses adimensionnelles dans les directions X et Y, respectivement. Les propriétés physiques de l'eau et de cuivre sont données dans le tableau 1. [5].

TABLE I

LES PROPRIETES PHYSIQUES DE L'EAU ET DE CUIVRE A 298K

	ρ (Kg/m ³)	Cp (J/Kg. K)	k (W/m.K)	β (1/K)
L'eau pure	997.1	4179	0.613	21x10 ⁻⁵
Cuivre	8933	385	401	1.67x10 ⁻⁵

La densité effective de nanofluide (ρ_{nf}) est donnée par [5]:

$$\rho_{nf} = (1 - \phi)\rho_f + \phi \rho_s \quad (5)$$

La viscosité dynamique effective de nanofluide (μ_{nf}) est présentée par [6] :

$$\mu_{nf} = \frac{\mu_f}{(1-\phi)^{2.5}} \quad (6)$$

La capacité thermique de nanofluide est donnée par [5]:

$$(\rho C_p)_{nf} = (1 - \phi)(\rho C_p)_f + \phi (\rho C_p)_s \quad (7)$$

La conductivité thermique de nanofluide est donnée par [7] :

$$k_{nf} = k_f \left[\frac{(k_s + 2k_f) - 2\phi(k_f - k_s)}{(k_s + 2k_f) + \phi(k_f - k_s)} \right] \quad (8)$$

Les conditions initiales et aux limites sous forme adimensionnelle, sont les suivantes:

Y=0: pour $0 \leq X \leq H$, $U=0$, $V=1$, $\theta=0$ (entrée)

Y=L: pour $0 \leq X \leq H$, $\partial U/\partial Y=0$, $\partial V/\partial Y=0$, $\partial \theta/\partial Y=0$ (sortie)

X=0: pour $0 \leq Y \leq L$, $U=0$, $V=0$, $\partial \theta/\partial X=0$ (paroi adiabatique)

X=H: pour $0 \leq Y \leq L$, $U=0$, $V=0$, $\partial \theta/\partial X=0$ (paroi adiabatique)



III. METHODE NUMERIQUE

La méthode des volumes finis est la méthode qui sera employée pour la discrétisation des équations précédentes (1 à 4). L'algorithme SIMPLE [8] a été utilisé pour traiter le couplage pression-vitesse.

A. Validation du code de calcul

La figure. 2 montre le profil de vitesse adimensionnelle $U=f(Y)$ (à $X=3.25$), pour $\phi=0.03$. Les résultats montrent un bon accord avec ceux de Pishkar et Ghasemi [5].

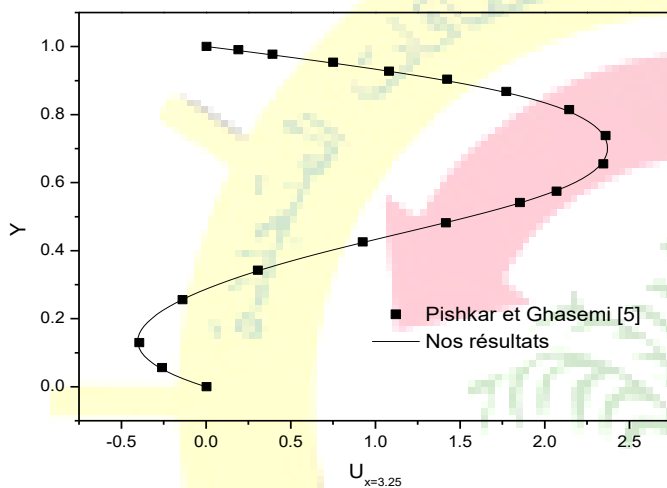


Fig. 2 La variation de vitesse adimensionnelle $U=f(Y)$ à $X=3.25$;
Pour $Ri=10$, $Re = 100$ et $\phi = 0.03$.

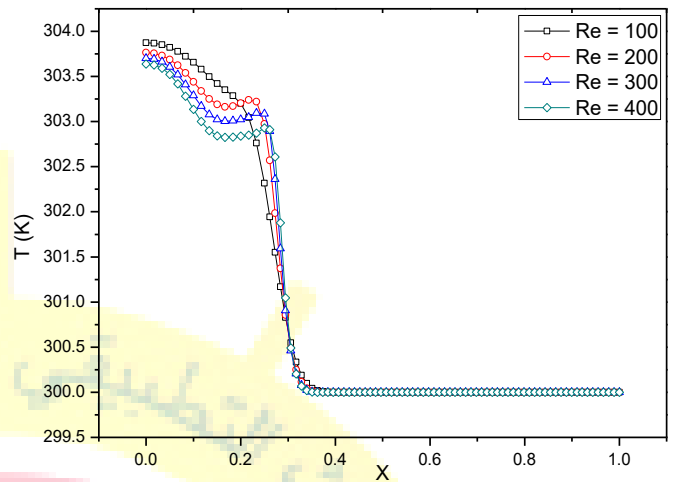


Fig. 3 La variation de température en fonction du nombre de Reynolds à
 $Y=2.375$; ($Gr = 10^4$, $\phi = 0.03$)

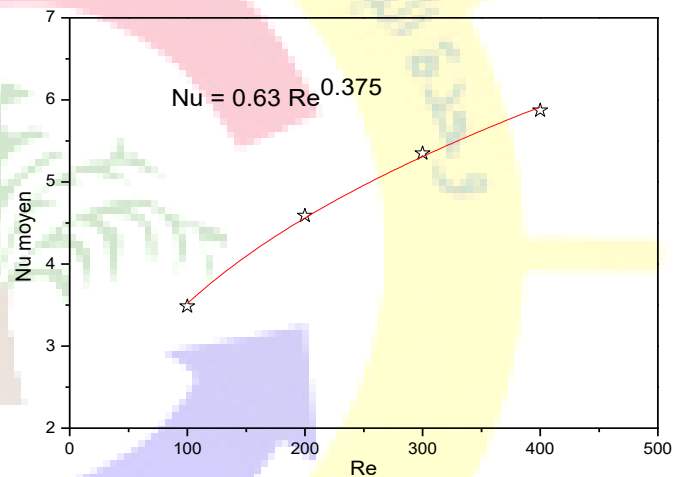


Fig. 4 L'évolution du nombre de Nusselt moyen en fonction du nombre de
Reynolds à $Y = 2.375$; ($Gr = 10^4$, $\phi = 0.03$)

IV. RESULTATS ET DISCUSSION

A. Effets du nombre de Reynolds ($100 \leq Re \leq 400$) :

D'après la figure 3, nous constatons que la température diminue avec l'augmentation du nombre de Reynolds. La figure 4 montre que les forces d'inertie favorisent le processus de transfert de chaleur. Le transfert de chaleur obtenue peut être corrélé par l'équation suivante du nombre de Nusselt moyen de deux sources de chaleur :

$$Nu = 0.63 Re^{0.375} \quad (9)$$

B. Effets de la fraction volumique solide des nanoparticules ($0 \leq \phi \leq 0.05$) :

D'après la figure 5, nous constatons que l'augmentation de la fraction volumique solide des nanoparticules entraîne une faible diminution de la température à l'intérieur du canal.

La figure 6 montre que l'augmentation de la fraction volumique solide des nanoparticules dans la gamme ($0.03 \leq \phi \leq 0.05$) amélioré le transfert de chaleur d'environ 21 % par rapport au cas sans nanofluides. Le transfert de chaleur obtenue peut être corrélé par l'équation suivante du nombre de Nusselt moyen (Nu) de deux sources de chaleur :

$$Nu = -0.635 \exp\left(\frac{\phi}{0.007}\right) + 3.49 \quad (10)$$

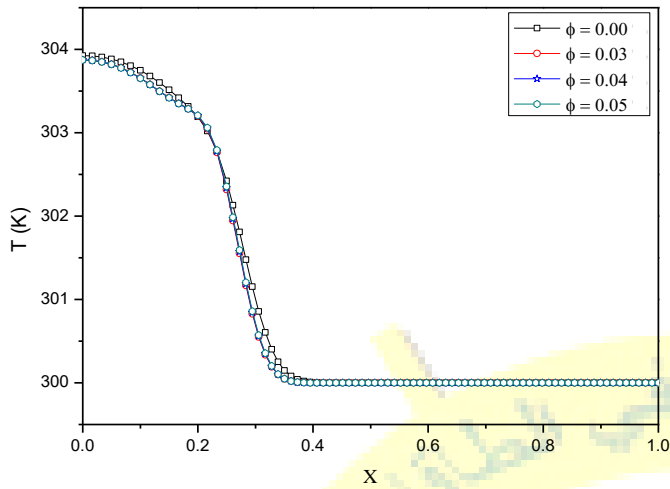


Fig. 5 La variation de température en fonction de la fraction volumique solide des nanoparticules; ($Gr = 10^4$, $Re=100$)

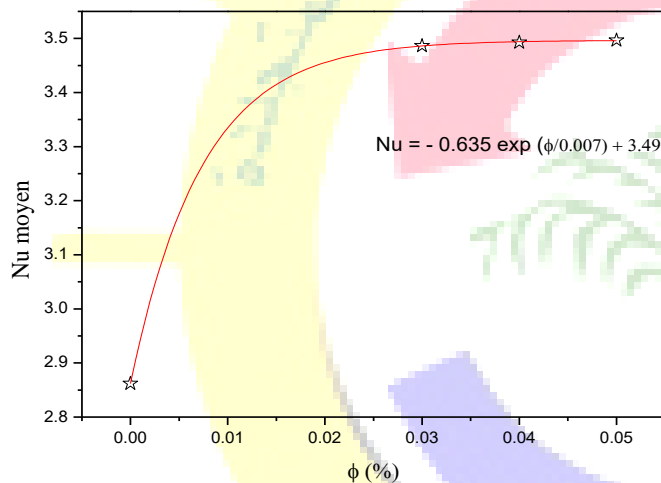


Fig. 5 L'évolution du nombre de Nusselt moyen en fonction de la fraction volumique solide des nanoparticules; ($Gr = 10^4$, $Re=100$)

des sources de chaleur d'environ de 21% comparativement de l'écoulement de base. Des corrélations pour le nombre du Nusselt moyens en fonction du nombre de Reynolds et la fraction volumique solide des nanoparticules ont été proposées.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

[1] Heris, S. Z., Esfahany, M. N., & Etemad, S. G. (2007). Experimental investigation of convective heat transfer of Al₂O₃/water nanofluid in circular tube. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 28(2), 203-210.

[2] Santra, A. K., Sen, S., & Chakraborty, N. (2009). Study of heat transfer due to laminar flow of copper-water nanofluid through two isothermally heated parallel plates. *International Journal of Thermal Sciences*, 48(2), 391-400.

[3] Salman, B. H., Mohammed, H. A., & Kherbeet, A. S. (2014). Numerical and experimental investigation of heat transfer enhancement in a microtube using nanofluids. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 59, 88-100.

[4] Fakour, M., Vahabzadeh, A., & Ganji, D. D. (2014). Scrutiny of mixed convection flow of a nanofluid in a vertical channel. *Case Studies in Thermal Engineering*, 4, 15-23.

[5] Pishkar, I., & Ghasemi, B. (2012). Cooling enhancement of two fins in a horizontal channel by nanofluid mixed convection. *International Journal of Thermal Sciences*, 59, 141-151.

[6] Brinkman, H. C. (1952). The viscosity of concentrated suspensions and solutions. *The Journal of Chemical Physics*, 20(4), 571-571.

[7] Xuan, Y., & Roetzel, W. (2000). Conceptions for heat transfer correlation of nanofluids. *International Journal of heat and Mass transfer*, 43(19), 3701-3707.

[8] Patankar, S. (1980). *Numerical heat transfer and fluid flow*. CRC press.

V. CONCLUSION

Une modélisation numérique bidimensionnelle sur l'amélioration du transfert de chaleur par l'utilisation des nanofluides dans un canal vertical, contient deux sources de chaleur identique a été effectuée en utilisant la méthode des volumes finis. Nos résultats numériques montrent un bon accord avec celle présentée par Pishkar et Ghasemi [5]. Les résultats ont montré que l'augmentation du nombre de Reynolds ainsi que la fraction volumique solide des nanoparticules entraîne une amélioration de refroidissement