

Etude numérique du transfert de chaleur en convection forcée dans les nano fluides

KARIMA. BOUKERMA¹ *, MAHFOUD .KADJA²

¹. Département de technologie, Faculté de technologie. Université 20 Août 1955 Skikda, Algérie

² Laboratoire d'Energétique Appliquée et de Pollution, Université Constantine 1, Algérie

* phy_karima@yahoo.fr

Résumé

On propose, dans ce travail, d'étudier l'efficacité d'un nanofluide Al_2O_3 /eau (nano particules Al_2O_3 dispersées dans un fluide de base -eau-), pour différents concentrations allant de 0 % (eau pur) à 3 %, et pour différents nombre de Reynolds (100, 200 et 500), sur les échanges thermiques, par convection forcée dans une conduite de section carrée, où la plaque inférieure est chauffée par un flux constant.

Les résultats obtenus par le logiciel FLUENT montrent que la présence de nanoparticules dans le fluide de base a pour effet une augmentation considérable du transfert thermique.

Mots clés : nano fluide/ simulation numérique / transfert thermique / FLUENT

1-Introduction

Les efforts, visant à améliorer les échangeurs thermiques dans de nombreux secteurs industriels, nécessitent l'intensification des transferts de chaleur par convection. Les améliorations au niveau des surfaces d'échange, sont une voie déjà largement explorée et atteignent leurs limites. De nouvelles voies d'optimisation doivent donc être étudiées. L'une d'elles consiste à utiliser de nouveaux fluides capables d'accroître les transferts thermiques : c'est le cas des nanofluides.

Les nanofluides sont des fluides dans lesquels sont insérées des particules nanométriques (leurs diamètre est inférieur à 100 nm). La synthèse des nanoparticules répond au besoin d'améliorer la diffusivité thermique des liquides de refroidissement en y ajoutant une phase solide de meilleure conductivité thermique et qui ne sédimente...)

Les dispersions de nanoparticules trouvent déjà de nombreux domaines d'applications pour leurs propriétés magnétiques, électriques et thermiques... (ex: agents de contraste en imagerie médicale, dépôt conducteur électromouillage pour lentilles liquides, refroidissement de composants électriques et électroniques, radars, automobile...)

Le transfert de chaleur dans un nanofluide dépend à la fois des propriétés thermophysiques de la phase solide et de la phase liquide. Certains travaux expérimentaux traitent le transfert thermique par convection forcée d'un nanofluide Al_2O_3 /eau pour différentes concentrations, dans un tube circulaire maintenu à température constante [1] et dans des microcanaux [2]. Les résultats expérimentaux indiquent que le coefficient de transfert de chaleur du nanofluide augmente avec le nombre de Peclet, le nombre de Reynolds ainsi que la concentration des nanoparticules, est que l'augmentation de ce coefficient est beaucoup plus élevée que les résultats obtenus par le modèle à une phase.

D'autres auteurs simulent le transfert convectif dans des conduites circulaires avec le modèle à une seule phase [3] et/ ou modèle à deux phases [4], et ceci pour différents nombre de Reynolds, et différentes concentrations et différents diamètres des nanoparticules. Leurs résultats confirment les résultats précédents et montrent que le coefficient de transfert de chaleur augmente avec la diminution du diamètre des nanoparticules.

Certains auteurs étudient la performance des nanofluides pour le refroidissement des microcanaux pour différents nanofluides [5] ou différentes concentrations [6-7], leurs résultats confirment que les nanofluides sont plus performants que le liquide de base.

Notre simulation est faite par les logiciels Gambit et Fluent. Le premier est un générateur de maillages tandis que le deuxième est un solveur numérique en volumes finis.

2-Formulation du problème

La géométrie du modèle utilisé pour cette étude est présentée dans la figure (1). Un écoulement laminaire bidimensionnel d'un nanofluides incompressible (Al_2O_3 /eau) traverse une micro-conduite de longueur $L= 0.0943m$ et de hauteur $l =580 \mu m$ dont la paroi inférieure est chauffée par un flux constant $q = 20500. w/m^2$

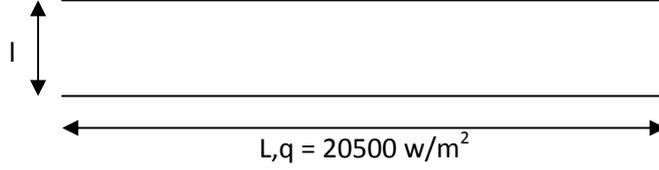


Figure 1 : la géométrie

L'étude d'un phénomène physique passe par la formulation des lois sous forme d'équations mathématiques reliant les différentes variables intervenant dans le déroulement du phénomène. En général, ces équations sont : l'équation de continuité qui traduit le principe de conservation de masse, les équations de Navier-Stokes qui traduisent le principe de conservation de la quantité de mouvement et l'équation de l'énergie qui représente le principe de conservation de l'énergie.

Pour modéliser l'écoulement d'un nanofluides on a:

Conservation de la masse

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

Quantité de mouvement suivant ox et oy respectivement

$$\rho_{nf} \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu_{nf} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

$$\rho_{nf} \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu_{nf} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

Energie

$$\rho_{nf} \cdot Cp_{nf} \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \lambda_{nf} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (4)$$

L'addition des nanoparticules dans un fluide de base change leurs propriétés physiques. Dans ce cas on utilise le modèle à une seule phase qui considère le nanofluides comme milieu continu et fluide newtonien avec des propriétés physiques différentes de celles du liquide de base. En supposant que les nanoparticules solides Al_2O_3 sont bien dispersées dans l'eau, on peut donc calculer les propriétés physiques et thermiques de notre nanofluides. Sachant que pour chaque propriété physique il y a plusieurs corrélations, mais on a choisi les suivantes:

- Pour la viscosité dynamique et la conductivité thermique on a utilisé les relations suivantes [4]:

$$\mu_{nf} = (199.21 \phi^2 + 4.62 \phi + 1) \mu_l$$

$$\lambda_{nf} = (125.62 \phi^2 + 4.82 \phi + 1) \lambda_l$$

- pour la masse volumique:

$$\rho_{nf} = (1 - \phi) \rho_l + \phi \rho_s$$

- pour la chaleur spécifique:

$$Cp_{nf} = (1 - \phi) Cp_l + \phi Cp_s$$

La simulation est faite par les logiciels Gambit et Fluent. Le premier est un générateur de maillages et le deuxième est un solveur numérique en volumes finis.

3-Résultats

La figure (2) représente la vitesse au milieu et à la sortie de la conduite pour différentes concentrations et au nombre de Reynolds égale 100. On remarque que la présence des nanoparticules dans l'eau favorise le développement du régime établi par rapport au cas de l'eau pure.

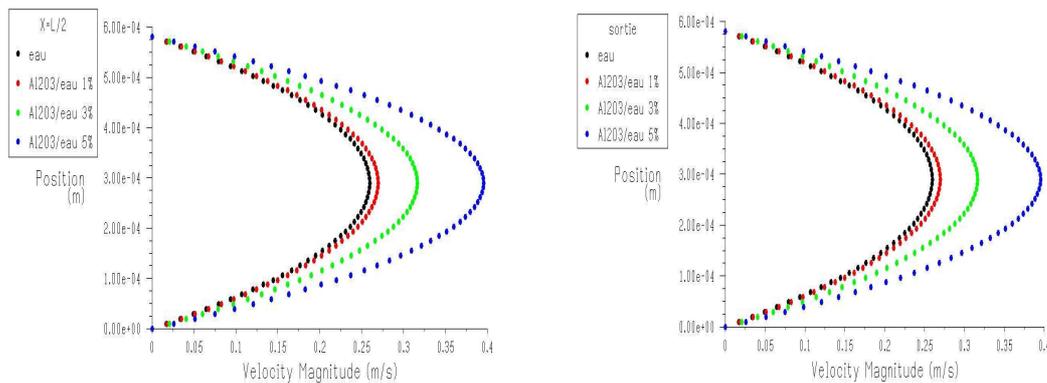


Figure 2: profils de la vitesse au milieu et à la sortie pour différentes concentrations (Re=100)

La figure 3 représente la variation de la conductivité en fonction de la concentration. Les résultats montrent une évolution croissante de la conductivité thermique des nanofluides avec la concentration volumique (pour l'eau $\lambda = 0.6$ et pour une concentration de 0.05 $\lambda = 0.93$) Cette augmentation est d'autant plus forte que le matériau constituant les nanoparticules est conducteur.

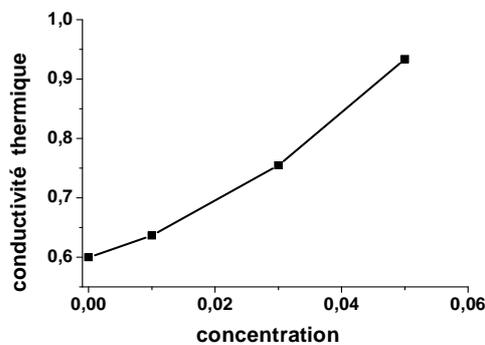


Figure 3: variation de la conductivité thermique en fonction de la concentration

L'évolution des profils de température sur la plaque chauffée (figure 4) montre que le nanofluide est meilleur pour le refroidissement que l'eau pure et que son efficacité augmente avec la concentration et avec l'augmentation du nombre de Reynolds.

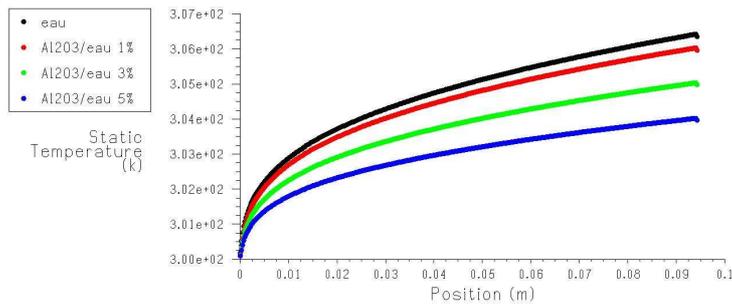


Figure 4: profils de la température pour différentes concentrations ($Re = 500$).

Le coefficient d'échange convectif, noté h , représente l'échange thermique entre la paroi et le fluide, la figure 5. montre que le coefficient d'échange thermique moyen augmente avec l'augmentation de la concentration et avec l'augmentation du nombre de Reynolds

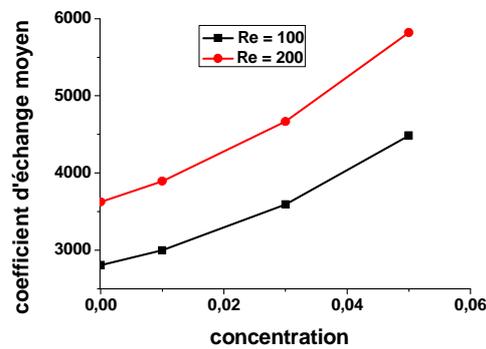


Figure 5: coefficient d'échange moyen en fonction de la concentration et Re

La figure (6) représente l'évolution du nombre de Nusselt moyen, ce dernier est défini comme le rapport entre les échanges convectifs et conductifs. On remarque clairement que la présence des nanoparticules favorise les échanges thermiques.

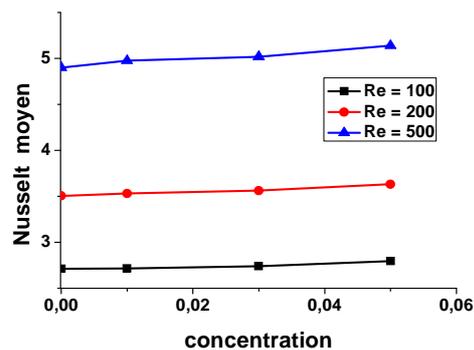


Figure 6: évolution du nombre de Nusselt moyen pour différentes concentrations et différent nombre de Reynolds

4-conclusion

Dans cette étude on a simulé le transfert convectif forcé d'un écoulement laminaire bidimensionnel dans une conduite de section carrée, où la plaque inférieure est chauffée par un flux constant. Le nanofluide utilisé est Al_2O_3 /eau avec une concentration qui varie de 0 à 5%. Les résultats obtenus montrent que

la présence des nanoparticules Al_2O_3 en suspension dans l'eau, favorise l'établissement de l'écoulement et les échanges thermiques.

Nomenclature

C capacité thermique massique, $J.kg^{-1}.K^{-1}$
 l la hauteur de la conduite, m
 L longueur de la conduite, m
 \bar{h} coefficient d'échange moyen, $w.m^{-2}.k^{-1}$
 \overline{Nu} nombre de Nusselt moyen
 P pression, Pa
 Re nombre de Reynolds
 T température, K
 u, v vitesse axiale et verticale, $m.s^{-1}$

Symboles grec
 λ conductivité thermique, $W.m^{-1}.K^{-1}$
 μ viscosité dynamique, $Pa.s$
 ρ masse volumique, $kg.m^{-3}$
 Φ concentration

Indices
 l fluide de base (eau)
 nf nanofluide
 s nanoparticule

Références

- [1] S. Zeinali Heris, M. Nasr Esfahany, S.Gh. Etemad, " Experimental investigation of convective heat transfer of Al_2O_3 /water nanofluid in circular tube", *International Journal of Heat and Fluid Flow*, volume 28, pages 203–210, 2007.
- [2] C.J. Ho, L.C. Wei, Z.W. Li, "An experimental investigation of forced convective cooling performance of a microchannel heat sink with Al_2O_3 /water nanofluid, *Applied Thermal Engineering*, volume 30, pages 96–103, 2010
- [3] S. Tahir, M. Mital, "Numerical investigation of laminar nanofluid developing flow and heat transfer in a circular channel, *Applied Thermal Engineering*, volume 39, pages 8e14, 2012
- [4] Y. He, Y. Men, Y. Zhao, H. Lu, Y. Ding, "Numerical investigation into the convective heat transfer of TiO_2 nanofluids flowing through a straight tube under the laminar flow conditions", *Applied Thermal Engineering*, volume 29, pages 1965–1972, 2009
- [5] H.A. Mohammed, P. Gunnasegaran, N.H. Shuaib, "The impact of various nanofluid types on triangular microchannels heat sink cooling performance", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, volume 38, pages 767–773, 2011
- [6] T. Tsai, R. Chein, "Performance analysis of nanofluid-cooled microchannel heat sinks", *International Journal of Heat and Fluid Flow*, volume 28, pages 1013–1026, 2007
- [7] J. Li, C. Kleinstreuer, "Thermal performance of nanofluid flow in microchannels", *International Journal of Heat and Fluid Flow*, volume 29, pages 1221–1232, 2008