

Numerical study of the influence of nanofluids and the volume fraction of nanoparticles on thermal exchange in trapezoidal mini-channels

1^{er} Chadi Kamel, 2^{ème} Belghar Nourredine, 3^{ème} Messaoudi Aissam, 4^{ème} Guerira belhi, 5^{ème} Derfouf Semecheddine

1^{er} LGEM Université mohamed khider biskra,
2^{ème} LGEM Université mohamed khider biskra,
3^{ème} LGEM Université mohamed khider biskra,
4^{ème} LGM Université mohamed khider biskra,
5^{ème} LGM Université mohamed khider biskra
chadikamel_dz@yahoo.fr

Résumé—Dans le présent travail, nous avons étudié numériquement l'effet de trois différents types de nanoparticules et la fraction volumique des nanoparticules sur l'échange de chaleur dans des mini canaux trapézoïdaux d'un refroidisseur. Dans notre simulation numérique, nous avons comparé les résultats de la simulation pour les trois types de nanofluides (Cu-eau; Ag-eau; Diamond-eau). La fraction volumique comprises entre 0,02% et 0,1%. On choisit un refroidisseur à mini canaux en cuivre qui possède une bonne conductivité thermique ($K=400$ W/mK). Le flux du composant électronique est égale à 200W. Les résultats numériques sont obtenus en choisissant un nombre de Reynolds égale à 1400 et en considérant le régime d'écoulement comme stationnaire.

La simulation a été réalisée à l'aide du logiciel industriel ANSYS v15.0. Les résultats obtenus montrent que le coefficient de transfert de chaleur augmente avec l'augmentation de la fraction volumique des nanoparticules (Cu, Ag, Diamond). Le meilleur fluide de transfert de chaleur est le nanofluide qui contient les nanoparticules de Diamant.

Mots clés—transfert thermique, refroidisseur à mini canaux, simulation numérique, nanofluids, fluent, nanoparticules

I. INTRODUCTION

L'amélioration des performances d'échangeur de chaleur est liée à la nature du matériau, les propriétés thermiques des matériaux utilisés [1], la concentration volumique des nanoparticules, les types des nanoparticules...

Parmi les travaux dans ce domaine, nous trouvons que Mohammad Kalteh [2] a étudié numériquement l'influence de diverses nanoparticules (Al_2O_3 ; CuO; Cu; Fe; Au; Ag; TiO_2 ; SiO_2 ; Diamant) et trois différents types de liquides de base (eau, éthylène glycol et huile moteur) sur la chaleur des nanofluides et l'écoulement des fluides dans un micro canal. Les résultats montrent que le coefficient de transfert de chaleur est le plus élevé pour l'eau-diamant et le plus bas pour nanofluide l'eau- SiO_2 .

Kannadasan. N, K. Ramanathan et S. Suresh [3] ont étudié expérimentalement l'effet de nanofluides CuO / eau (fraction volumique=0,1% et 0,2%) sur le transfert de chaleur et la pression d'un échangeur de chaleur hélicoïdal maintenu en position horizontale et verticale. Ils ont conclu que, avec une augmentation de la fraction volumique de nanoparticules, le nombre de Nusselt augmente à l'écoulement turbulent.

Khanafer. K, K. Vafai et M. Lightstone [4] ont étudié numériquement le transfert de chaleur par convection naturelle des nano fluides dans une chambre. Ils ont indiqué

que le nombre moyen de Nusselt augmente avec la fraction volumique des nanoparticules pour différents nombres de Grashof.

Raisil .A, S. M. Aminossadati et B. Ghasemi, [5] ont étudié l'échange de chaleur par convection mixte d'un nanofluide Cu-eau dans un canal vertical à plaques parallèles. Ils ont montré que le transfert de chaleur augmente avec l'augmentation de la fraction volumique des nanoparticules à faibles nombres de Richardson

L'objectif de cet article est d'étudier l'influence du type des nanoparticules et la concentration volumique des nanoparticules sur l'échange thermique dans des mini canaux trapézoïdaux.

II. PROPRIETES THERMO-PHYSIQUE DU NANO-FLUIDE

Les formules de calcul des propriétés thermo physiques du nanofluide et les propriétés thermophysiques du nanoparticule utilisé dans notre travail sont prises des Réf suivants [6,7].

III. GEOMETRIE DU REFROIDISSEUR

La Figure 1 présente les schémas réalisés du refroidisseur à mini canaux étudiés à l'aide d'un logiciel industriel fluent.

Les dimensions du refroidisseur à mini canaux sont de l'ordre de 42 x 52 mm avec une épaisseur de 6 mm. Ce refroidisseur est formé de 13 canaux. Nous imposons que le flux maximal du composant électronique soit égal à 200W avec isolation thermique sur toutes les faces extérieures du refroidisseur, la température d'entrée du nanofluide dans le refroidisseur est constante ($T=293$ K),

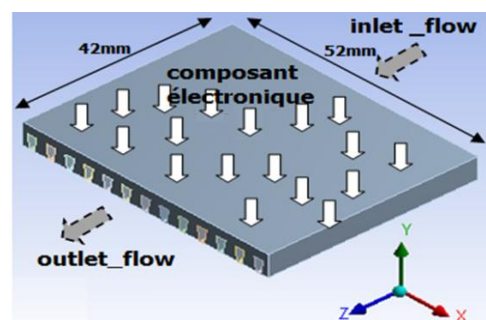


Fig. 1. Le refroidisseur à mini canaux

En raison de la symétrie, nous avons simulé seulement la moitié du mini canal

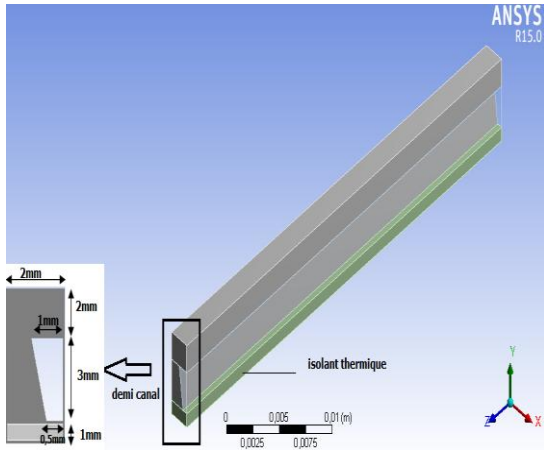


Fig. 2. La moitié du mini canal a été simulé

IV. FORMULATION MATHÉMATIQUE

Dans cette étude, nous avons supposé que l'écoulement est stationnaire. Le fluide de base est supposé newtonien, incompressible et les propriétés thermo physiques du nanofluide sont constantes, sauf pour la variation de la masse volumique, qui est estimée par l'hypothèse de Boussinesq. Le transfert de chaleur par rayonnement, négligeable.

Les équations des gouvernements sont régies par [8, 9]:

- Équation de continuité :

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

Où : u, v, w sont les composantes de la vitesse dans les directions x, y, z .

- Équations de la quantité de mouvement :

Suivant x :

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{1}{\rho_{nf}} \left[-\frac{\partial p}{\partial x} + \mu_{nf} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \right] \quad (2.1)$$

Suivant y :

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = \frac{1}{\rho_{nf}} \left[-\frac{\partial p}{\partial y} + \mu_{nf} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) + (\rho\beta)_{nf} g(T - T_0) \right] \quad (2.2)$$

Suivant z :

$$u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = \frac{1}{\rho_{nf}} \left[-\frac{\partial p}{\partial z} + \mu_{nf} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \right] \quad (2.3)$$

Où :

- μ est la viscosité dynamique du fluide
- ρ est la masse volumique
- α est la diffusivité thermique du fluide
- β est le coefficient d'expansion thermique
- T est la température et p est la Pression
- T_0 est la température à l'entrée du canal.

- Équation de l'énergie :

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha_{nf} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (3)$$

- Équation du solide :

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0 \quad (4)$$

- La continuité du flux de chaleur à l'interface entre le solide et le fluide est mise en œuvre en utilisant la formule:

$$\lambda_s \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_{w_s} = \lambda_f \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_{w_f} \quad (5)$$

nf se réfère au nanofluide
f se réfère au fluide de base
 λ : Conductivité thermique
s : paroi

V. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

La figure 3 illustre la variation de la température de la surface supérieure du refroidisseur à mini canaux le long du plan de symétrie pour les trois nano fluides utilisés. Nous avons observé que le profil de température augmente sensiblement pour les trois types de nanofluides.

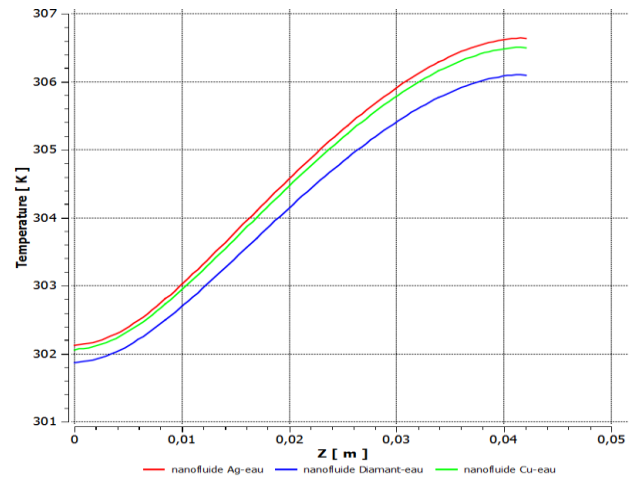
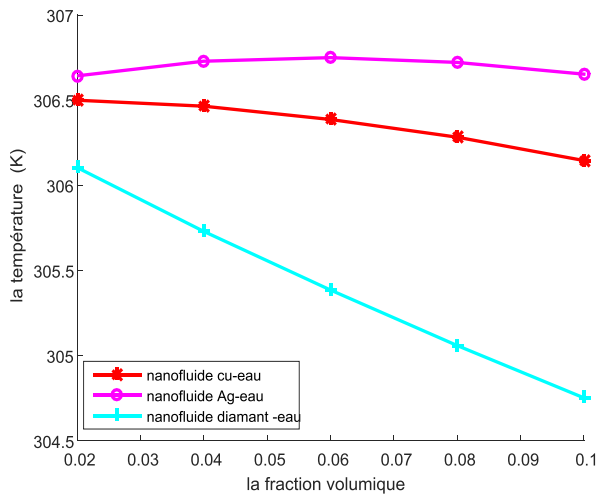


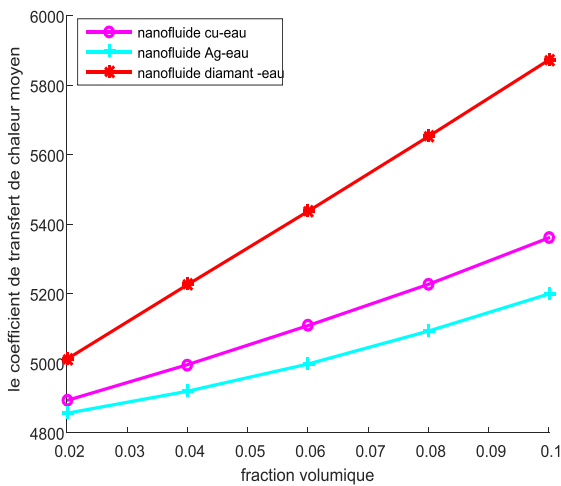
Fig. 3. Comparaison des profils de températures pour les trois nano-fluides à nombre de Reynolds =1400 et fraction volumique égale 0,02

Les figures (4.a et 4.b) illustrent les effets de trois différents types des nanoparticules et la fraction volumique des nanoparticules (Cu; Ag; le Diamant) sur la température maximale du composant électronique et le coefficient de transfert de chaleur moyen pour la valeur du nombre de Reynolds égale 1400. Il démontre que l'ajout d'une faible fraction volumique de nanoparticules au fluide de base (eau) entraîne une diminution significative de la température maximum de composant électronique et avec augmentation du coefficient de transfert de chaleur (l'augmentation de la conductivité thermique)

Les résultats montrent aussi que parmi les trois liquides utilisés, le liquide contenant des nanoparticules diamant et eau est le meilleur en termes de coefficient d'échange thermique.



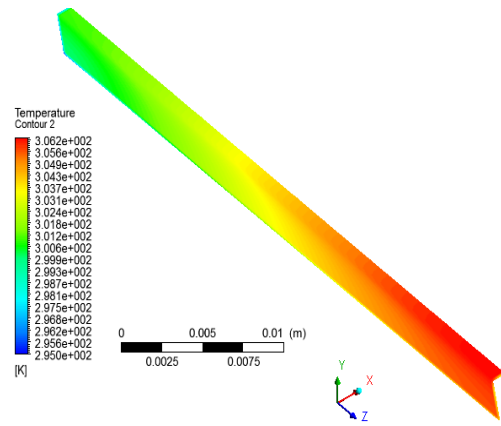
(a)



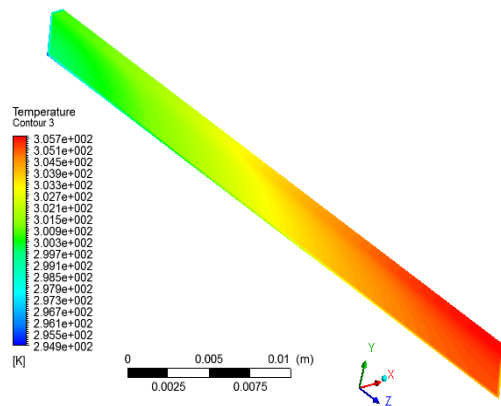
(b)

Fig. 4. Les effets de trois différents types des nanoparticules et la fraction volumique des nanoparticules (Cu; Ag; et Diamant) sur la température maximale du composant électronique (a) et le coefficient de transfert de chaleur moyen (b)

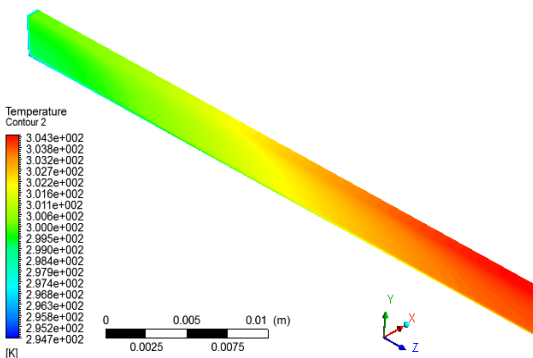
La figure 5 montre que pour un nombre de Reynolds égale à 1400, la distribution de la température au niveau de la surface de contact entre les parois du mini canal et les trois types de nano fluides (eau –cu, Ag-eau- diamant) et pour une concentration volumique des nanoparticules égale 0.1 , en observe que la valeur de la température maximale des surfaces de contact entre le fluide et les parois du mini canal dans le fluide qui contient les nanoparticules de Ag ($T_{\text{surface de contact}}=306.2\text{K}$) par rapport aux autres fluides par contre la température minimale de la surfaces de contact dans les nanoparticules Diamant est inférieure ($T_{\text{surf.cont Diamant}}=304.3\text{K}$) à celle des nanofluides Ag –eau et Cu-eau. La différence de température, entre les trois nanofluides utilisés , reviens a la nature de chaque type des nanoparticules



(a) Nanofluid Ag-eau (fraction volumique =0,1)



(b) Nanofluid Cu-eau (fraction volumique =0,1)



(c) Nanofluid Diamant-eau (fraction volumique =0,1)

Fig. 5. La distribution de la température au niveau de la surface de contact entre les parois du mini canal trapézoïdal et les trois types de nano fluides (fraction volumique de solide égale de 0,1 et nombre de Reynolds = 1400)

VI. CONCLUSION

Dans le présent travail, nous étudions numériquement, l'effet des différents types de nanoparticules et la fraction volumique des nanoparticules sur l'échange de chaleur dans un refroidisseur à mini-canal trapézoïdal en utilisant un logiciel industriel, Fluent v15.0 Selon les résultats obtenus, on peut conclure que

- Pour le nombre de Reynolds égal à 1400, et le flux de chaleur du composant électronique égale 200W, la température du composant électronique est la plus basse pour le nanofluid eau- diamant et la plus élevée pour les nano fluides eau-Ag et eau-Cu
- L'utilisation de nanofluid de diamant-eau donne significativement des coefficients de transfert de chaleur plus élevés que l'eau -Ag et l'eau- Cu.
- L'augmentation du pourcentage des nanoparticules dans fluide de base (eau) permet d'améliorer le coefficient de transfert de chaleur.

RÉFÉRENCES

- [1] Hasna Louahlia et M. Sébastien Yon, Dissipation thermique dans les composants /systèmes électroniques, AREELIS Technologies LUSAC (Laboratoire Universitaire des Sciences Appliquées de Cherbourg),2015.
- [2] Mohammad Kalteh Investigating the effect of various nanoparticle and base liquid types on the nanofluids heat and fluid flow in a microchannel, Applied Mathematical Modelling 37, 8600–8609, 2013
- [3] Kannadasan. N, K. Ramanathan and S. Suresh, Comparison of heat transfer and pressure drop in horizontal and vertical helically coiled heat exchanger with CuO/water based nano fluids, Experimental Thermal and Fluid Science, Volume 42, October 2012, Pages 64-70
- [4] K. Khanafer, K. Vafai, M. Lightstone, 'Buoyancy-Driven Heat Transfer Enhancement in a Two Dimensional Enclosure Utilizing Nanofluids', International Journal Heat and Mass Transfer, Vol. 46, pp. 3639 - 3653, 2003.
- [5] A. Raisi, S. M. Aminossadati and B. Ghasemi, Magneto-hydrodynamic mixed convection of a cu-water nanofluid in a vertical channel, Journal of Heat Transfer, 135, 2013
- [6] Stéphane Fohanno, Guillaume Polidori, Catalin Popa, "Nanofluides et transfert de chaleur par convection naturelle," Université de Reims Champagne-Ardenne, 2012, France
- [7] E. Abu-Nada ,Application of Nanofluids for Heat Transfer Enhancement of Separated Flows Encountered in a Backward Facing Step , International Journal of Heat and Fluid Flow, Vol.29, N°1, pp. 242 – 249, 2008.
- [8] Irnie Zakaria, W.A.N.W Mohamed A.M.I Bin Mamat, R.Saidur, W.H. Azmi , Rizalman Mamat K.I Sainana, H.Ismail , Thermal Analysis of Heat Transfer Enhancement and Fluid Flow for Low Concentration of Al₂O₃+ Water – Ethylene Glycol Mixture Nanofluid in a Single PEMFC Cooling Plate, Energy Procedia 79 pp 259 – 264, 2015.
- [9] Mostafa Keshavarz Moraveji, Reza Mohammadi Ardehali and Ali Ijam ,CFD investigation of nanofluid effects (cooling performance and pressure drop) in mini-channel heat sink, International Communications in Heat and Mass Transfer 40 pp58–66 ,2013.