

SIMULATION NUMÉRIQUE DE L'ÉCHANGE THERMIQUE DANS UNE ENCEINTE RECTANGULAIRE, EN PRÉSENCE D'UN NANOFLUIDE

A. DAAS¹, S. DERFOUF¹, N. BELGHAR¹, M. FALEK²

¹LGEM, LGM, Université Mohamed khider BISKRA

²Université Mohamed khider BISKRA

RÉSUMÉ

Dans ce travail, nous avons analysé numériquement la convection libre, pour un régime stationnaire dans une enceinte à géométrie rectangulaire chauffée au moyen d'une source de chaleur par le bas, celle-ci est remplie d'un nano fluide composé d'eau et de nanoparticules de Cuivre (eau-Cu).

Les équations gouvernantes sont discrétisées par la méthode des volumes finis en utilisant un mailleur Gambit. Un solveur industriel Fluent de calcul est conçu dans le but de valoriser et d'utiliser la simulation numérique comme outil d'investigation. Les résultats obtenus sont analysés à travers l'analyse des champs thermiques tout en accentuant une attention particulière au niveau de la ligne de courant.

Une étude paramétrique est menée en considérant le nombre de Rayleigh, le nombre de Nusselt et en tenant compte de la concentration massique des nanoparticules.

Mots Clés: *Nanofluide, Convection, Fluent, Rayleigh, Nusselt.*

NOMENCLATURE

Symboles :	ϕ fraction massique
U, V : Composantes de la vitesse adim	$(C_p)_{nf}$ capacité calorifique nanofluide
u, v : Composantes de la vitesse dans les directions x, y	θ : Température adimensionnelle
T température, K	ρ_{nf} masse volumique du nanofluide
P Pression, Nm ⁻²	μ_{nf} viscosité nanofluide
Lettres grecques :	Indices / Exposants :
ρ masse volumique, kgm ⁻³	nf nanofluide
λ conductivité thermique, W·m ⁻¹ ·K ⁻¹	f fluide

1. INTRODUCTION

Le transfert de chaleur peut jouer un rôle important dans divers processus industriels. L'efficacité de tels processus est souvent limitée par les propriétés thermophysiques des fluides utilisés. La conductivité

thermique d'un liquide non métallique étant très faible, il faut trouver un moyen de l'augmenter artificiellement. Or, quoi de plus simple que d'ajouter des particules d'un matériau, doté d'une bonne conductivité thermique, dans le liquide de base pour prévoir augmenter la valeur moyenne de la conductivité thermique du mélange (nanofluide). Il est avéré qu'un bon nanofluide apporte un coup de pouce à l'efficacité d'un système de refroidissement liquide quelconque sans avoir plus de bruit et sans consommer plus. Au contraire, l'efficacité générale étant améliorée, on peut penser à réduire la ventilation ou à prendre une pompe moins puissante, tout en gardant un palier de performance identique si le Silence de fonctionnement est la priorité. Les nanofluides montrent un coefficient de transfert thermique imbattable par rapport aux simples fluides caloporteurs (l'eau, l'huile ou l'éthylène-glycol). L'augmentation de la conductivité thermique des fluides de refroidissement en géométrie confinée constitue un enjeu important pour le développement des futurs systèmes de refroidissement dans le domaine du micro et nanotechnologie.

2. MODÉLISATION THERMO-PHYSIQUE DES NANO-FLUIDES

Les propriétés thermo physiques (la masse volumique, la chaleur spécifique, l'expansion thermique, la viscosité dynamique et la conductivité thermique) des solutions sont profondément modifiées par l'ajout des nanoparticules. De nombreux paramètres caractérisant ces nanoparticules peuvent avoir un effet notable sur les valeurs des paramètres thermo physiques du nanofluide obtenus (la nature des nanoparticules, leur taille, la fraction volumique φ , la conductivité du fluide de base et celle des nanoparticules, la température du milieu, etc.).

PROPRIETES DES NANO FLUIDES

LA FRACTION VOLUMIQUE

La fraction volumique est donnée par la relation suivante :

$$\varphi = \frac{\text{volume solide}}{\text{volume fluide solide}} = \frac{V_s}{V_f + V_s} \quad (1)$$

CONDUCTIVITE THERMIQUE (K)

La conductivité thermique généralement est une propriété importante, principalement dans notre étude parce qu'elle joue un rôle très important dans le phénomène de transfert de chaleur elle peut montrer clairement l'efficacité du transfert de chaleur du fluide ou du solide, la conductivité dépend de la température. En plus de sa variation en fonction de la température, la conductivité thermique du nanofluide varie en fonction de la fraction volumique aussi, la conductivité thermique d'un nanofluide est calculé selon les deux modèles suivants :

MODÈLE DE MAXWELL

Le modèle de Maxwell (1873) est donné par la formule suivante :

$$k_{nf} = \frac{k_s + 2k_f + 2(k_s - k_f)\varphi}{k_s + k_f - (k_s - k_f)\varphi} k_f \quad (2)$$

MODELE DE HAMILTON ET CROSSER :

La conductivité thermique apparente du milieu est donnée par l'expression suivant :

$$k_{nf} = \frac{k_s + (n-1)k_f + (n-1)(k_f - k_s)\varphi}{k_s + (n-1)k_f - (k_f - k_s)\varphi} k_f \quad (3)$$

VISCOSITE DYNAMIQUE

La viscosité peut être définie comme étant une propriété d'un fluide pour qu'il résiste aux déformations lorsqu'il est mis en mouvement. On peut donc parler de la viscosité comme présente une mesure du frottement interne d'un fluide. Un liquide très visqueux est un liquide qui présente un frottement interne élevé. La dispersion des nanoparticules dans un liquide a un effet sur la viscosité dynamique de ce dernier. La viscosité obtenue devient la viscosité dynamique du nanofluide qui peut être influencé énormément par la qualité de la dispersion de la nanoparticule dans le fluide de base et de la température. Cette viscosité dynamique peut être calculée à partir de la viscosité du fluide de base et la fraction volumique du nanofluide. Pour ce qui suit nous allons citer deux modèles pour le calcul des viscosités apparentes :

MODELE D'EINSTEIN

La viscosité dynamique d'un nanofluide est donnée par Einstein (1906) pour un mélange contenant des suspensions diluées de particules fines sphériques et rigides est la suivantes :

$$\mu_{nf} = \mu_f (1 + 2.5\varphi) \quad (4)$$

MODELE DE BRINKMAN

La viscosité dynamique d'un nanofluide est donnée par Brinkman (1952) :

$$\mu_{nf} = \frac{\mu_f}{(1 - \varphi)^{2.5}} \quad (5)$$

MASSE VOLUMIQUE

La masse volumique est donnée par la relation suivante :

$$\rho_{nf} = \left[\frac{M}{V} \right] = \frac{m_f + m_s}{V_f + V_s} \quad (6)$$

LA CHALEUR MASSIQUE

La chaleur massique ou la chaleur spécifique est la capacité calorifique par unité de masse d'une substance ou d'un système homogène $C_p = dQ/m dT$. La chaleur spécifique correspond à l'apport de chaleur nécessaire pour élever la température de l'unité de substance de 1 K lors de la transformation considérée. Pour la détermination de la chaleur spécifique d'un nanofluide, on peut estimer les deux modèles suivantes :

MODELE DU PAK ET CHO

Pak et Cho (1998) ont utilisé la formule suivante :

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

MODELE DU XUAN ET ROETZEL :

Xuan et Roetzel (2000) ont utilisé la formule suivante :

$$(\rho C_p)_{nf} = (1 - \varphi)(\rho C_p)_f + \varphi(\rho C_p)_s \quad (8)$$

3. FORMULATION MATHEMATIQUE

Chaque phénomène physique est souvent formulé par des équations mathématiques (équations différentielles) qui représentent une modélisation de ce phénomène. Une modélisation doit obligatoirement exprimer le comportement du phénomène dans l'espace et dans le temps.

Les hypothèses :

Il est maintenant nécessaire d'effectuer un certain nombre d'hypothèses afin d'établir un modèle mathématique simple qui décrit la physique de ce problème, donc on adopte les hypothèses suivantes :

- L'écoulement est stationnaire et bidimensionnel.
- Le fluide est Newtonien et incompressible.
- L'écoulement engendré est laminaire.
- Le flux de la source de chaleur est constant dans le temps.
- Le transfert de chaleur par rayonnement est négligeable.
- La puissance volumique dissipée est négligeable.
- Le travail, induit par les forces visqueuses et de pression, est négligeable.

Après d'application des précédentes hypothèses on obtient :

Les différentes équations nécessaires à la résolution du problème considéré dans notre étude sous forme adimensionnelle, comme suit :

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = 0 \quad (9)$$

$$U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \text{Pr} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) + \text{Pr} Ra \theta \quad (10)$$

$$U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} = -\frac{\partial P}{\partial y} + \text{Pr} \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) + \text{Pr} Ra \theta \quad (11)$$

$$U \frac{\partial \theta}{\partial x} + V \frac{\partial \theta}{\partial y} = \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} \right) \quad (12)$$

IV. ADIMENSIONNALISATION DES ÉQUATIONS :

De façon à rendre les équations précédentes adimensionnelles, elles seront changées selon :

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0 \quad (13)$$

$$U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial X} + \frac{\mu_{nf}}{\rho_{nf} \alpha_f} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} \right) \quad (14)$$

$$U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial Y} + \frac{\mu_{nf}}{\rho_{nf} \alpha_f} \left(\frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} \right) \quad (15)$$

$$U \frac{\partial \theta}{\partial X} + V \frac{\partial \theta}{\partial Y} = \frac{\alpha_{nf}}{\alpha_f} \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} \right) \quad (16)$$

V. GÉOMÉTRIE ET CONDITIONS AUX LIMITES :

Les conditions de températures sont connues sur les parois.

La température des parois verticales et supérieures sont constante et égale à T_f .

La partie chaude de la paroi inférieurs est soumise un flux thermique constante est égale à q .

La condition d'adiabacité $\frac{\partial T}{\partial Y} = 0$ est adoptée pour les autres parois inférieures.

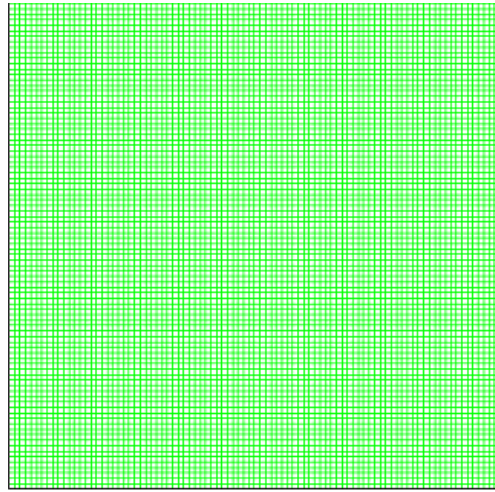


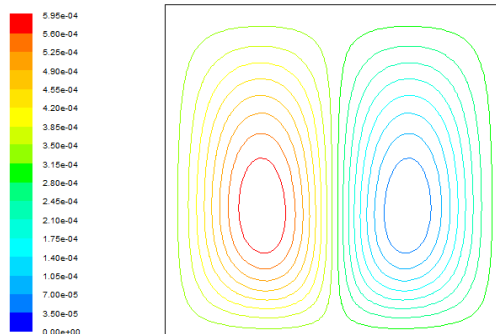
Figure .1. enceinte rectangulaire

VI. FORMULATION NUMÉRIQUE

On s'intéresse, dans ce chapitre les résultats numériques obtenus à l'évolution du transfert de chaleur en convection naturelle dans une enceinte rectangulaire chauffée par le bas, par des sources de chaleur remplie d'un nanofluide (eau-cuivre). Nous avons utilisé particulièrement, au niveau de cette simulation numérique, le logiciel commercial FLUENT pour résoudre les trois équations conservation (continuité, quantité de mouvement et d'énergie), avec les conditions aux limites

VII. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les figures (1,2 et 3 à), présentent les lignes de courant pour différentes fractions volumiques d'un nanofluide (et de l'eau pure à même nombre de Rayleigh, étant donné que la source de chaleur se trouve au milieu de la paroi inférieure. Les modèles d'écoulement symétriques sont observées dans l'enceinte. On observe aussi la formation de deux cellules contrarotatives, cet interprétation est valable pour toutes les différentes valeurs du nombre de Rayleigh. On remarque aussi qu'avec l'augmentation du nombre de Rayleigh, l'intensité de la recirculation à l'intérieur de l'enceinte augmente à cause les forces de flottabilités sont plus fort. On peut observer que les cellules circulantes sont de même forme ne changent pas avec le nombre de Rayleigh. Il faut noter que le contact de ligne des zones de circulation symétriques par rapport à l'axe de symétrie de la source de chaleur pour les nombres de Rayleigh considérés comme condition de calcul. Cette interprétation est valable pour les deux cas de la fraction volumique des particules/fluide ($\phi=0.00$, $\phi=0.10$ et $\phi=0.3$).



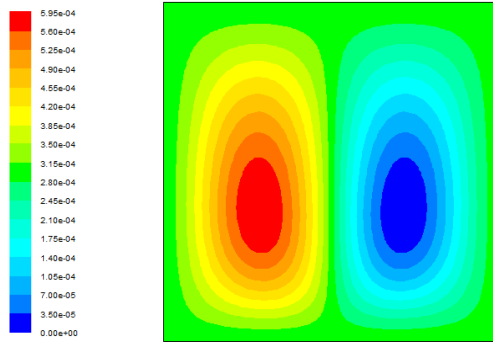


FIGURE. 1. Représentation des lignes de courant dans l'enceinte à $Ra=10^3$, fraction =0.00, source localisé au milieu

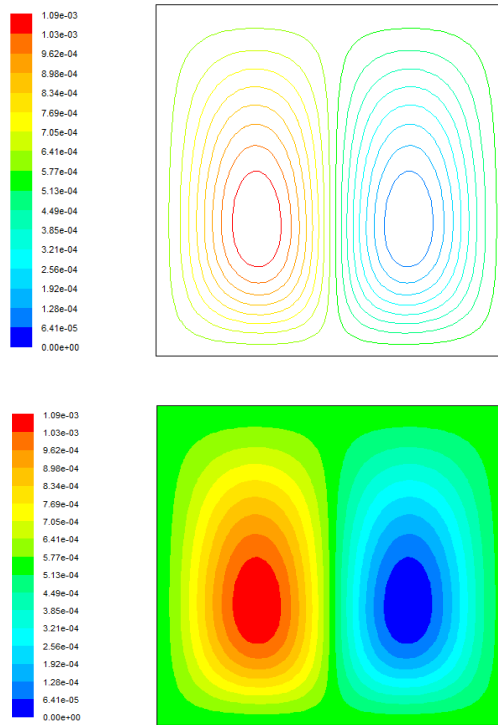


FIGURE. 2. Représentation des lignes de courant dans l'enceinte à $Ra=10^3$, fraction =0.10, source localisé au milieu

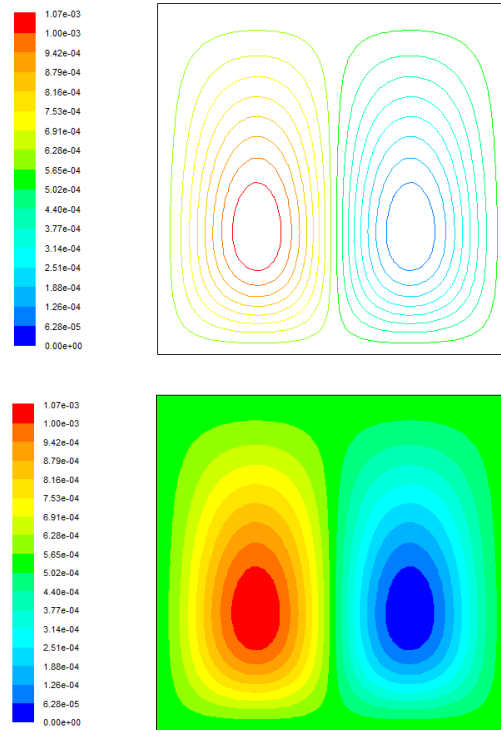


FIGURE. 3. Représentation des lignes de courant dans l'enceinte à $Ra=10^3$, fraction =0.20, source localisé au milieu

VIII. CONCLUSION

Les résultats que nous avons obtenus ici tendent à relativiser l'influence du mouvement brownien dans l'amélioration de la conductivité thermique effective des nanofluides. La conduction thermique au sein du fluide et entre le fluide et les nanoparticules semble être le facteur dominant de cette amélioration. On peut remarquer que ces améliorations importantes (pour une faible fraction volumique inférieure à 0,3, notre étude) En particulier nous avons observé que la conductivité thermique effective de ce nanofluide augmente avec la concentration en nanoparticules.

IX. REFERENCES

- [1] Ferrouillat Sébastien et al, 'Intensification des échanges thermiques par l'utilisation de nanofluides SiO₂ / eau ' *Thermal Issues in Emerging Technologies, theory and applications* 2008. Proceedings – ThETA2, ThETA '08. Second International Conference on Cairo, Egypt Dec 17th – 20th Page(s): 261 – 270, 2008.
- [2] Putra et al, 'Natural convection of nanofluids', *Heat Mass Transfer*. Vol 39, 7-8, 775- 784, 2003.
- [3] Fohanno Stéphane et al, 'Nanofluides et transfert de chaleur par convection naturelle', *thèse université de Reims Champagne-Ardenne*, France, 2012.
- [4] Salhi. H « Etude numérique de transfert de chaleur de nanofluide dans les enceintes », *Thèse université de Batna*, 2006.