

Modélisation de l'échange thermique des nanofluides dans une enceinte rectangulaire avec une paroi munie d'un bloc

BOULAHIA Zoubair, WAKIF Abderrahim, Rachid SEHAQUI

Université Hassan II de Casablanca, Faculté des Sciences Ain-Chock, Laboratoire de Mécanique,
BP 5366 Maarif, Casablanca, Maroc
boulahia.zoubair@gmail.com

Résumé—Cet article présente une étude numérique sur le transfert de chaleur par convection naturelle de nanofluide (eau- Cu) dans une enceinte carrée munie d'un bloc froid qui est utilisé pour diverses applications d'ingénierie, comme le chauffage et le refroidissement des chambres avec des radiateurs, le refroidissement des composants électroniques et les échangeurs de chaleur. Les équations de transport ont été résolues en utilisant la formulation de différence finie basé sur la méthode Alternating Direction Implicit (ADI). La viscosité et la conductivité thermique du nanofluide sont respectivement modélisées selon Brinkman et Maxwell-Garnetts. Les simulations numériques montrent l'effet de la hauteur du corps froid sur l'eau pure et le nanofluide (eau -Cu) à différents nombre de Rayleigh ($Ra = 10^3, 10^4, 10^5$ et 10^6) et une fraction volumique des nanoparticules comprise 0 et 0,2. Les résultats montrent que le taux de transfert de chaleur à l'intérieur de l'enceinte augmente en augmentant la hauteur du bloc froid, la fraction volumique de nanoparticules et de nombre de Rayleigh.

Mots-clés—nanofluide, convection naturelle, cavité, bloc froid

INTRODUCTION

Depuis plusieurs années, la configuration de la cavité avec parois différentiellement chauffées fait l'objet de nombreuses études comme il est fréquemment rencontré dans de nombreuses applications industrielles telles que les échangeurs de chaleur, ventilation à domicile, dispositifs de refroidissement électroniques, et des collecteurs d'énergie solaire. La compréhension de l'écoulement et de transfert de chaleur dans l'enceinte est considérée comme l'un des défis de la recherche fondamentale des fluides computationnelle. L'amélioration du transfert thermique dans les enceintes, avec l'introduction d'ailettes fixées au niveau des parois, a été ainsi intensément étudiée ces dernières années. AlAmiri et al. [1] ont

étudié numériquement la convection naturelle d'un nanofluide confiné dans une enceinte différentiellement chauffée munie d'un bloc. Les résultats ont montré que le transfert de chaleur augmente avec l'augmentation de la hauteur de bloc et de la fraction volumique des nanoparticules. Le même problème a été examiné par Varol et al. [2] pour le cas d'une cavité triangulaire et des autre études ont été réalisées sur la convection naturelle des nanofluides, par exemple, [3-4].

Le travail que nous présentons dans ce papier est d'étudier numériquement la convection naturelle d'un nanofluide de nanoparticule de cuivre dans une cavité munie d'un bloc froid et les parois latérales sont différentiellement chauffées. Cette étude simule le cas d'une ailette placée dans une conduite en vue d'augmenter le coefficient d'échange thermique. La paroi inférieure et supérieure est adiabatique. Les parois latérales seront supposées isothermes à des températures différentes l'une chaude et l'autre froide. Les formes permanentes des équations de Navier-Stokes en deux dimensions seront converti en une seule qui est l'équation de la vorticité, les équations de conservation de la masse et de l'énergie, seront résolus par la méthode d'ADI. Les calculs seront faits sans bloc et avec un bloc de différentes hauteurs dans le but de voir l'effet du bloc. Les fonctions de courant et les isothermes seront présentées pour diverses combinaisons de Ra et de la hauteur de bloc. Les résultats seront aussi présentés sous forme de Nombre de Nusselt moyen sur toutes les parois. Les corrélations

Revue de l'Entrepreneuriat et de l'Innovation

seront mises au point pour prévoir les taux de transfert de chaleur à partir de la cavité en fonction de la longueur de bloc, la fraction volumique des nanoparticules et le nombre de Rayleigh Ra .

CONFIGURATION GEOMETRIQUE ET FORMULATION DU PROBLEME

Le modèle physique considéré est schématisé par Fig. 1. Il s'agit d'une cavité différentiellement chauffée munie d'un bloc froid et remplie d'un mélange d'eau et de nanoparticule de cuivre. Les deux parois verticales sont portées à des températures uniforme respectivement chaude et froide, les parois horizontales sont adiabatiques. Le fluide de base utilisé est newtonien, l'écoulement est supposé bidimensionnel et laminaire. La dissipation visqueuse est négligeable, les propriétés thermophysiques du nanofluide sont constantes, sauf pour la variation de la masse volumique, qui est estimée par l'approximation de Boussinesq. Les propriétés thermophysiques du fluide pur et des nanoparticules sont regroupées dans le tableau I.

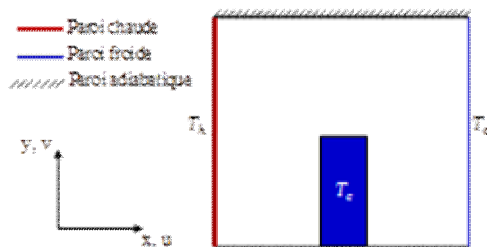


Fig. 1 Configuration géométrique et conditions aux limites

TABLE V
PROPRIETES THERMOPHYSIQUES DE L'EAU ET DES NANOPARTICULES

	C_p (J/kg.K)	k (W/m.K)	ρ (kg/m ³)	α (m ² /s)	β (K ⁻¹)
(Cu)	385	8954	400	$1163.1 \cdot 10^{-7}$	$1.67 \cdot 10^{-5}$
(eau)	4179	997.7	0.6	$1.47 \cdot 10^{-7}$	$2.11 \cdot 10^{-4}$

Les équations classiques, sous la forme adimensionnelle s'écrivent de la manière suivante :

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = -\omega \quad (1)$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial \tau} + \frac{\partial}{\partial x}(U \omega) + \frac{\partial}{\partial y}(V \omega) = \alpha_1 \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

$$\alpha_1 = \left\{ \frac{1}{(1-\phi)^{2.5} \left[(1-\phi) + \phi \frac{\rho_s}{\rho_f} \right]} \right\} Pr$$

$$\alpha_2 = \left\{ \frac{1}{\frac{(1-\phi)\rho_f}{\phi \rho_s} + 1} \frac{\beta_s}{\beta_f} + \frac{1}{\frac{\phi \rho_s}{1-\phi \rho_f} + 1} \right\} Pr.Ra \quad (3)$$

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

$$\lambda = \frac{(k_{nf})/(k_f)}{(1-\phi) + \phi \frac{(\rho c_p)_s}{(\rho c_p)_f}} \quad (4)$$

Les grandeurs sans dimensions s'écrivent comme suit

$$x = \frac{\tilde{x}}{H}; y = \frac{\tilde{y}}{H}; \omega = \frac{\partial H^2}{\alpha_f}$$

$$\psi = \frac{\tilde{\psi}}{\alpha_f}; \theta = \frac{T - T_c}{T_h - T_c}; t = \frac{\tilde{t} \alpha_f}{H^2} \quad (5)$$

Les propriétés du nanofluide sont calculées par les formules suivantes [5] :

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

$$(\rho c_p)_{nf} = (1-\phi)(\rho c_p)_f + \phi(\rho c_p)_s;$$

$$\beta_{nf} = (1-\phi)\beta_f + \phi\beta_s \quad (6)$$

$$\frac{k_{nf}}{k_f} = \frac{k_s + 2k_f - 2(k_f - k_s)\phi}{k_s + 2k_f + (k_f - k_s)\phi} \quad (7)$$

RESULTATS ET DISCUSSION :

La présentation des résultats concerne les lignes de courants, les isothermes, et le nombre de Nusselt moyen \overline{Nu} calculé pour toutes les parois du bloc et de l'enceinte. Ces résultats sont obtenus pour l'eau comme fluide pur $Pr = 6.2$, le nombre de Rayleigh Ra variant de 10^3 à 10^6 , la fraction volumique en nanoparticules ϕ variant de 0 à 0.2 et la hauteur du bloc froid h variant de 0 à 0.5.

Fig. 2 montre les lignes de courants et les isothermes pour le fluide pur et le mélange eau-Cu $\phi = 0.1$ pour différente valeurs de la hauteur du bloc froid lorsque le nombre de Rayleigh est petit ($Ra = 10^3$). Lorsqu'on augmente la hauteur du bloc, les lignes de courant se déforment et le centre de la cellule tourbillon se divise en deux ce qui conduit à une augmentation du transfert de la chaleur. La stratification des isothermes pour un

Revue de l'Entrepreneuriat et de l'Innovation

faible nombre de Rayleigh montre que le transfert de chaleur dominant est le transfert par conduction. Les isothermes uniformément distribués à l'intérieur de l'enceinte, montrent la dominance du régime de conduction sur le transfert de chaleur.

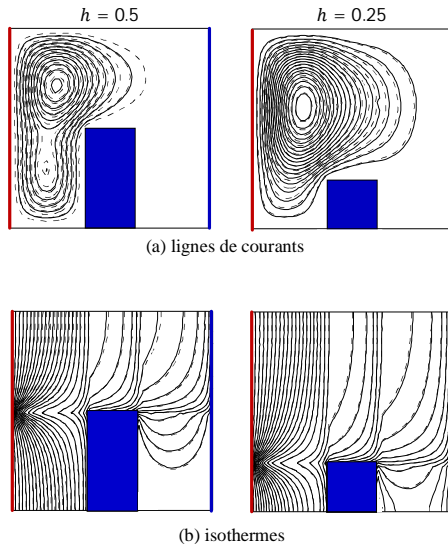


Fig. 2 (a) lignes de courant et (b) isothermes pour différentes hauteurs du bloc ($Ra = 10$) (les lignes continues pour l'eau et les lignes en pointillés pour le nanofluid : $\phi = 0$)

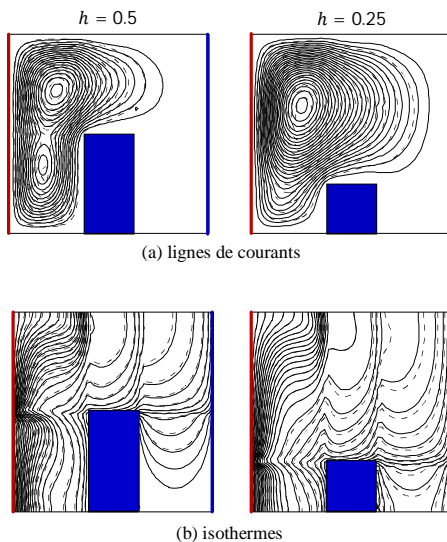


Fig. 3 (a) lignes de courant et (b) isothermes pour différentes hauteurs du bloc ($Ra = 10$) (les lignes continues pour l'eau et les lignes en pointillés pour le nanofluid : $\phi = 0$)

Lorsque le nombre de Rayleigh augmente, la force de poussée devient plus importante et par suite la valeur absolue de la fonction de courant du fluide pur et celle du

nanofluid augmentent. Les isothermes observé sur Fig. 3 ont des formes complexe cela signifie que le transfert de chaleur se fait en grande partie par convection.

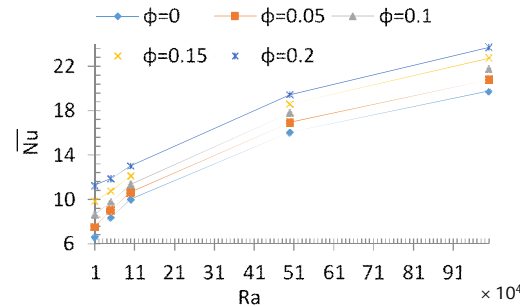


Fig. 5 Nombre de Nusselt moyen en fonction de Ra ($h = 0$)

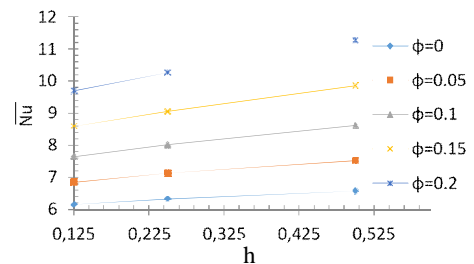


Fig. 6 Nombre de Nusselt moyen en fonction de la hauteur du bloc ($Ra = 10$)

D'après les résultats de la Fig.5 et Fig.6 Le nombre de Nusselt est une fonction croissante avec l'augmentation de nombre de Rayleigh et de la hauteur, aussi on a une amélioration du transfert de la chaleur avec l'augmentation de la fraction volumique des nanoparticules. Les corrélations du nombre de Nusselt en fonction de la hauteur de bloc adimensionnelle, la fraction volumique des nanoparticules Φ et Ra sont trouvées comme suit:

$$\overline{Nu} = (22.11\phi^2 + 3.649\phi + 0.6305) * (Ra)^{(-0.246\phi + 0.2458)}, \text{ pour } h=0.5$$

$$\overline{Nu} = (14.53\phi^2 - 4.89\phi + 0.751)(1.463h + 8.019), \text{ pour } Ra=10^5$$

CONCLUSION

Revue de l'Entrepreneuriat et de l'Innovation

L'augmentation de la fraction volumique des nanoparticules, le nombre de Rayleigh et la hauteur du bloc augmente le transfert de chaleur. La hauteur de bloc a une influence sur le transfert thermique du système, généralement l'ajoute d'un bloc a pour objectif de perturber l'écoulement d'origine par rapport à son trajet de référence (sans bloc) engendrait ainsi une modification de la structure de l'écoulement et un changement quantitatif en terme de transfert de chaleur. Par contre le recours à l'ajoute de blocs a en général, un objectif d'augmenter la surface d'échange.

Symboles Latins:

C_p	Chaleur spécifique du fluide à pression constante	(J/kg. K)
g	Accélération de la pesanteur	(m. s ⁻²)
h	Hauteur du bloc	
H	Hauteur de l'enceinte	(m)
T	Température	(K)
t	Temps adimensionnel	
(u, v)	Composantes du vecteur vitesse adimensionnelles	
(x, y)	Coordonnées cartésiennes adimensionnel	

NOMENCLATURE

Symboles grecs

α	Diffusivité thermique	(m ² . s ⁻¹)
β	Coefficient de dilatation thermique	(K ⁻¹)
φ	Fraction volumique des nanoparticules	
k	Conductivité thermique	(W.m ⁻¹ .K ⁻¹)
μ	Viscosité dynamique	(N.s. m ⁻²)
ν	Viscosité cinématique	(m ² . s ⁻¹)
ω	Fonction de vorticité adimensionnelle	
ψ	Fonction de courant adimensionnelle	
ρ	Masse volumique	(Kg.m ⁻³)
θ	Température adimensionnelle	

Indices

c	froide
f	fluide
h	chaude
nf	nanofluide