



Convection naturelle dans une cavité carrée avec nano-fluide

S. Bekhadra¹, Dj. Bellakhal² and M. Bekhadra^{3,*}

Département de génie mécanique, Université IBN KHALDOUN-Tiaret, Algérie

¹samira.bekhadra.etd@univ-tiaret.dz

²djamila.bellakhal@gmail.com

³bekhadra.mokhtar@yahoo.fr

Résumé

Dans cet article on a effectué une étude numérique sur le problème de la convection naturelle et le transfert thermique par utilisation de nano-fluide (Cu- Eau (H_2O)) qui est le mélange entre l'eau et des nanoparticules de cuivre dans une cavité carrée en présence d'un bloc adiabatique au centre. Les calculs ont été effectués par l'utilisation du code de calcul

« FLUENT 6.3 » qui utilise la méthode des volumes finis ; Notre problème a été défini pour un type de géométrie (une cavité carrée contenant un bloc carré au centre avec $AR = 0.4$) le rapport d'aspect, l'écoulement est généré par le transfert de chaleur par convection libre (naturelle). L'approximation de Boussinesq a été investie. En utilisant le schéma de discrétisation "QUICK". Le couplage de la pression et de la vitesse est défini par l'algorithme "SIMPLE". Dans notre simulation nous avons utilisé quatre concentrations de nano-particules, pour chaque concentration le nombre de Rayleigh dont la variation est entre varié entre 10^3 et 10^6 . Les résultats obtenus pour différents nombre de Rayleigh ($Ra = 10^3$, $Ra = 10^4$, $Ra = 10^5$, $Ra = 10^6$) montrent une augmentation de Nusselt moyen à cause de l'augmentation de la fraction volumique. Pour toutes les fractions volumiques ($\phi = 0$, $\phi = 0.05$, $\phi = 0.1$, $\phi = 0.2$), l'élévation de Nombre de Nusselt moyen à cause de la croissance de nombre de Rayleigh. Tenant en considération ces résultats l'amélioration de l'efficacité de l'écoulement et le rendement du transfert de chaleur est liée à la variation de nombre de Rayleigh avec la fraction volumique.

Mots clés: Convection naturelle, Nano-fluides, Nusselt, cavité carrée.

1 INTRODUCTION

Dans le domaine industrie il est nécessaire de donner l'importance au transfert de chaleur qui manifeste sous différents formes (par rayonnement, conduction et convection), on générale la convection est la plus observe dans certains domaines comme le refroidissement des processeurs et des composantes électroniques, les radiateurs et les échangeurs de chaleurs des procédés industriels.

Nanotechnologies est un grand challenge pour les années à venir. pour ce là il existe de nombreux travaux qui se sont focalisés sur l'étude des nano-fluides, premièrement à partir de [3], des détails sont donnés sur la méthode de calcul utilisée pour obtenir une solution précise des équations décrivant la convection naturelle bidimensionnelle dans une cavité carrée avec des parois latérales chauffées différentiellement. Des approximations des différences centrale de second ordre ont été utilisées. Le raffinement du maillage et l'extrapolation ont conduit à des solutions pour $10^3 < Ra < 10^4$ qui sont censées être précises à mieux de 1 % au nombre de Rayleigh le plus élevé et jusqu'à un dixième de celui à la valeur la plus basse. En plus de ça [1] montré à partir les résultats obtenus que il y a une meilleure performance thermique offerte par ce nano-fluide en comparaison avec le fluide de base et le nano-fluide contenant seulement les NPs d' Al_2O_3 ou de Cu. Cette amélioration du transfert de chaleur devient plus probante avec l'augmentation de la teneur en volume (% en Vol.) des nanoparticules de Cu. D'autre part l'analyse des résultats de [2] a montré que le chauffage partiel a une influence importante sur la structure de l'écoulement et sur le transfert thermique à l'intérieur de la cavité. Cet effet est d'autant plus intense que le nombre de Rayleigh est important. En plus des résultats liés à [4] montrent que l'amplitude d'oscillation, A , et la fréquence, f , de la paroi verticale affectent de manière significative la réponse du transfert de chaleur à l'intérieur de la cavité. Pour $A > 0,5$, la fréquence de forçage reste quasiment constante à $f=2,5$, alors qu'elle se décale vers une fréquence plus élevée $f=5$ pour $A \leq 0,5$. À un faible nombre de Rayleigh, le nombre de Nusselt est indépendant des nombres de Rayleigh et de Hartmann, tandis qu'à un nombre de Rayleigh plus élevé, le flux convectif domine et le nombre de Nusselt devient indépendant du nombre de Hartmann. Dans ce régime, l'échelle de Nusselt avec le nombre de Rayleigh s'accorde bien avec l'exposant prédit par la théorie de la convection naturelle dans une cavité sans champ magnétique ni nanoparticules, avec une valeur de $1/4$. Avec l'augmentation de la fraction volumique solide, le taux de transfert de chaleur peut augmenter ou diminuer en fonction des valeurs des nombres de Hartmann et de Rayleigh.

2 MODÉLISATION MATHÉMATIQUE

2.1 Description du problème

Le tracé du modèle considéré est montré sur la figure.2 avec coordonnées. Il s'agit d'une gravité carrée bidimensionnelle contenant un nano-fluide (Cu-eau) et un bloc carré

adiabatique au centre, la hauteur et la largeur de la cavité sont notées H , un corps carré adiabatique de dimension l est situé au centre de la cavité, le rapport d'aspect est défini comme $AR = l/H$ avec AR dans ce cas est fixée à 0.4. La paroi gauche est maintenue à haute température T_h , tandis que la paroi droite est maintenue à température froide T_c , les parois horizontales supérieure et inférieure de la cavité sont maintenues isolées. On suppose que les nanoparticules et le fluide de base sont en équilibre thermique et qu'il n'y a pas de glissement entre eux. Le nano-fluide est considéré comme newtonien, laminaire et incompressible. Les propriétés thermo-physique du nano-fluide sont considérées comme constantes à l'exception de la masse volumique qui varie selon l'approximation de Boussinesq, et avec $Pr = 6$.

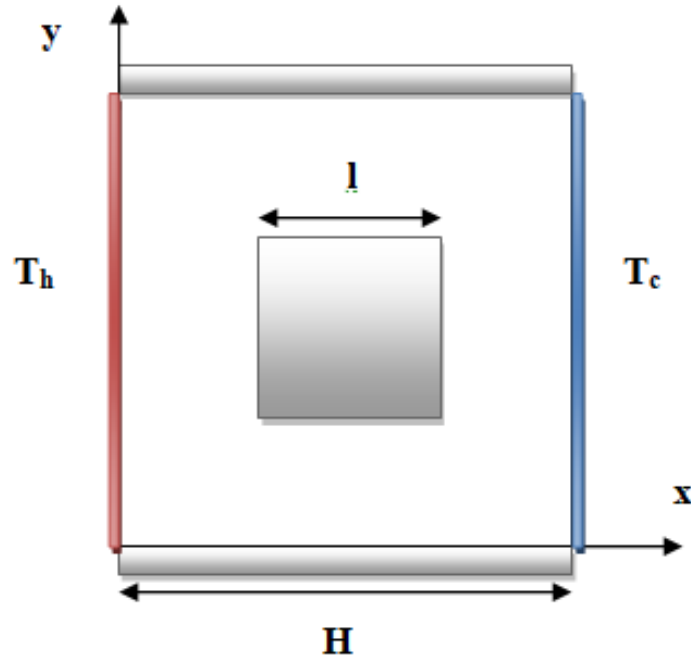


Fig.1. Schématisation du problème.

2.2 Équations gouvernantes

En utilisant les paramètres adimensionnels suivants, la mise en garde déterminante peut être convertie en une forme adimensionnelle:

$$X = \frac{x}{H}; \quad Y = \frac{y}{H}; \quad U = \frac{uH}{\alpha_f}; \quad V = \frac{vH}{\alpha_f}; \quad P = \frac{PH^2}{\rho_{nf} \alpha_f^2}; \quad \theta = \frac{T - T_c}{T_h - T_c} \quad (1)$$

En régime permanent laminaire bidimensionnelle, Les équations de continuité, de quantité de mouvement et d'énergie pour l'écoulement de fluide à convection et le transfert de chaleur sont écrites comme suit:

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0 \quad (2)$$

$$U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial X} + \frac{\mu_{nf}}{\rho_{nf} \alpha_{nf}} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} \right) \quad (3)$$

$$U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial Y} + \frac{\mu_{nf}}{\rho_{nf} \alpha_f} \left(\frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} \right) + \frac{(\rho\beta)_{nf}}{\rho_{nf} \beta_{nf}} RaPr\theta \quad (4)$$

$$U \frac{\partial \theta}{\partial X} + V \frac{\partial \theta}{\partial Y} = \frac{\alpha_{nf}}{\alpha_f} \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} \right) \quad (5)$$

Où la masse volumique, le coefficient de dilatation thermique, la capacité thermique, et la diffusivité thermique du nano-fluide sont respectivement:

$$\rho_{nf} = (1-\phi)\rho_f + \phi\rho_p \quad (6)$$

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

$$(\rho\beta)_{nf} = (1-\phi)(\rho\beta)_f + \phi(\rho\beta)_p \quad (8)$$

$$\alpha_{nf} = \frac{k_{nf}}{(\rho C_p)_{nf}} \quad (9)$$

Pour estimer la viscosité dynamique du nano-fluide, le modèle de Brinkman est utilisé:

$$\mu_{eff} = \frac{\mu_f}{(1-\phi)^{2.5}} \quad (10)$$

La conductivité thermique effective du nano-fluide est déterminée selon Maxwell:

$$\frac{k_{nf}}{k_f} = \frac{(k_s + 2k_f) - 2\phi(k_f - k_s)}{(k_f + 2k_s) + \phi(k_f - k_s)} \quad (11)$$

Les propriétés thermo-physique du fluide de base et des nanoparticules sont données dans le tableau ci-dessous:

Propriétés thermophysique	Fluide de base (L'eau)	Nanoparticule(Cuivre)
C_p (J/Kg.K)	4179	385
ρ (Kg/m ³)	997.1	8933
K (W/m.K)	0.613	401
β .10⁻⁵ (K ⁻¹)	21	1.67
α .10⁷ (m ² /s)	1.47	1163.1

Tableau .1. Les Propriété thermo physique de l'eau et du cuivre.

3 PROCÉDURE NUMÉRIQUE

La solution numérique a été obtenue en utilisant le code commercial Ansys-Fluent. Lors de nos différentes simulations, présentées dans cet article, les critères d'arrêt donnés par défaut dans FLUENT ont été changés. Alors, on a utilisé un critère de convergence de 10^{-6} pour toutes les équations.

3.1 Etude de Maillage

Le maillage adopté est un maillage structuré, à éléments quadrilatères de (200x200). Le maillage est bien raffiné près de la paroi car la topologie de notre écoulement demande un maillage spécifique pour capter les grands gradients des variables thermique et pour décrire plus précisément les phénomènes physiques qui se développent à cet endroit (convection naturelle).

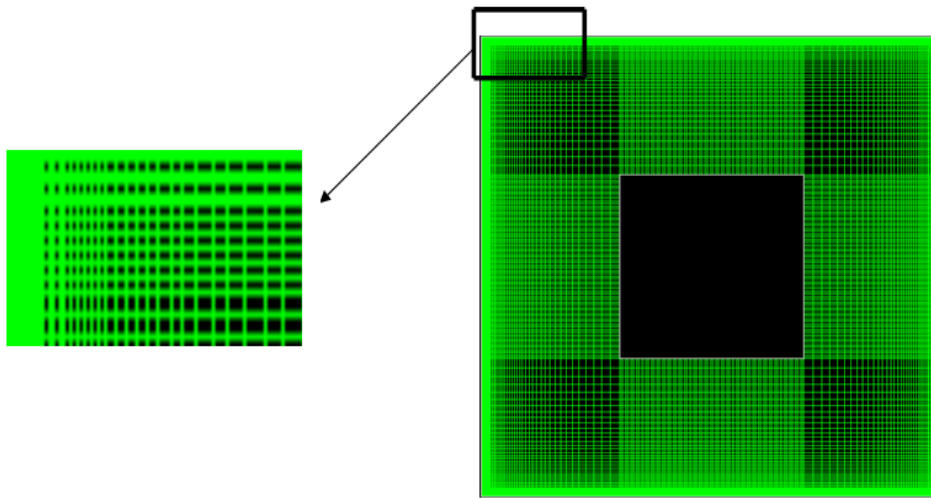


Fig.2. Le maillage construit sur Gambit

3.2 Validation numérique

Pour la validation, nous avons comparé nos résultats numériques avec ceux de De-Vahl Davis [3] et Wisam K. Hussam [4], le tableau suivant représente les résultats de cette validation:

			$Ra = 10^3$	$Ra = 10^4$	$Ra = 10^5$	$Ra = 10^6$
Pr = 0.71	$\phi = 0$	De-Vahl Davis	1.11	2.234	4.487	8.81
		Présente travail	1.11	2.244	4.521	8.82
Pr = 6.2	$\phi = 0.03$	Wisam K. Hussam	-	-	4.88	-
		Présente travail	-	-	4.88	-
	$\phi = 0.1$	Wisam K. Hussam	-	-	5.22	-
		Présente travail	-	-	5.22	-

Tableau.2. Comparaison des résultats avec des travaux publiés.

4. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Distribution des lignes de courant et des lignes isothermes

- Effet de fraction volumique de nano-fluides et de nombre de Rayleigh:

Dans notre simulation nous avons utilisé quatre concentrations de nanoparticules ($\phi=0$; $\phi=0.05$; $\phi=0.1$; $\phi=0.2$), et pour chaque concentration le nombre de Rayleigh est varié entre 10^3 à 10^6 . Effets de nombre de Rayleigh sur le modèle d'écoulement et distribution de la température à l'intérieur de la cavité avec un corps adiabatique pour un rapport d'aspect (AR) de 0.4, sont représentés sur les figures (3 et 6) respectivement. À $Ra = 10^3$ les isothermes sont presque parallèles aux parois verticales, pour la cavité remplie de fluide et nano-fluide. Depuis les lignes de courant, un seul tourbillon dans le sens horaire est observé à l'intérieur de la cavité à $Ra=10^3$. Le tourbillon symétrique démontre un écoulement à faible vitesse et faible intensité aux faibles nombres de Rayleigh. A partir des contours, un comportement similaire est trouvé pour les cavités remplies de nano-fluide.

En augmentant la force de flottabilité via l'augmentation du nombre de Rayleigh, l'intensité du flux augmente et les lignes de courant se referment aux parois latérales. À $Ra = 10^6$ deux tourbillons secondaires sont développés dans les côtés gauche et droite du corps adiabatique. Ces tourbillons sont moins développés pour la cavité remplie de nano-fluide la viscosité de la nano-fluide augmentation à cause de l'augmentation de la fraction volumique. Les lignes de courant sont situées près des parois latérales isothermes et à une vitesse distincte des couches limites se forment dans cette région. À l'intérieur de la cavité remplie de fluide pure les tourbillons secondaires sont allongés du bas vers le haut des parois latérales du corps carré adiabatique. À partir de lignes de courant à chaque nombre de Rayleigh, on peut observer que les couches limites de vitesse adjacentes aux parois isothermes sont épaissies lorsque la fraction volumique de nano-fluide augment. Il est en raison de l'augmentation de la diffusion de masse via la croissance de la viscosité du nano-fluide. Les isothermes des figures (3 et 6) indiquent qu'avec l'augmentation du nombre de Rayleigh, l'effet de la convection libre augmente et les isothermes se condensent à côté des parois latérales isothermes. De plus thermique la stratification est observée dans les côtés gauche et droit du corps carré. Formation des couches limite thermiques peuvent être observées à partir des isothermes à $Ra = 10^5$ et $Ra = 10^6$. Elle peut être observée à partir des isothermes qu'à chaque nombre de Rayleigh, avec l'augmentation de la fraction volumique des nanoparticules, les couches limite thermiques s'épaississent par augmentation de la conductivité thermique du nano-fluide, réduction du gradient de température adjacent aux parois latérales et augmentation de la diffusion de la chaleur.

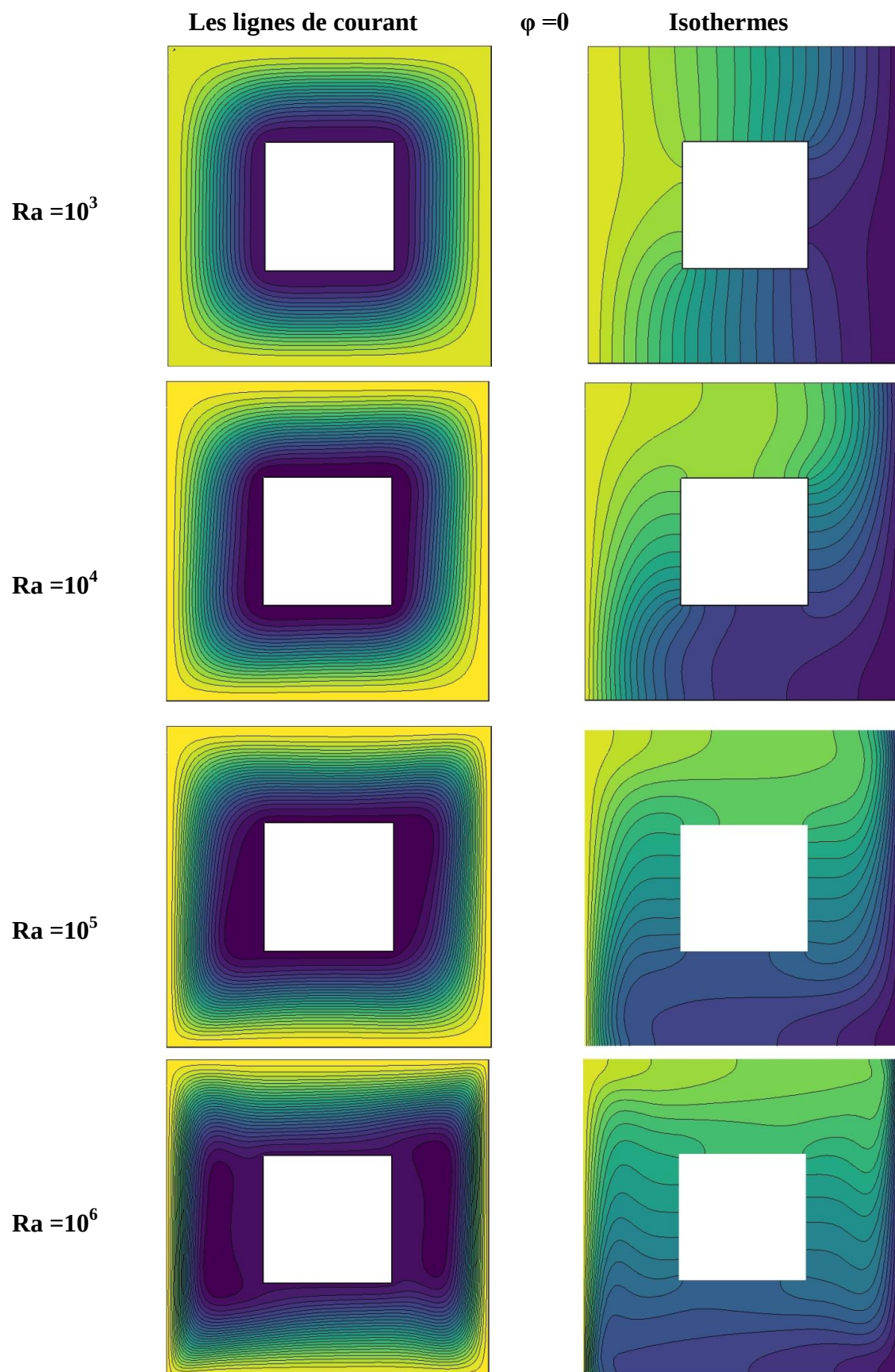


Fig.3. Les lignes de courant et les isothermes avec $\varphi = 0$

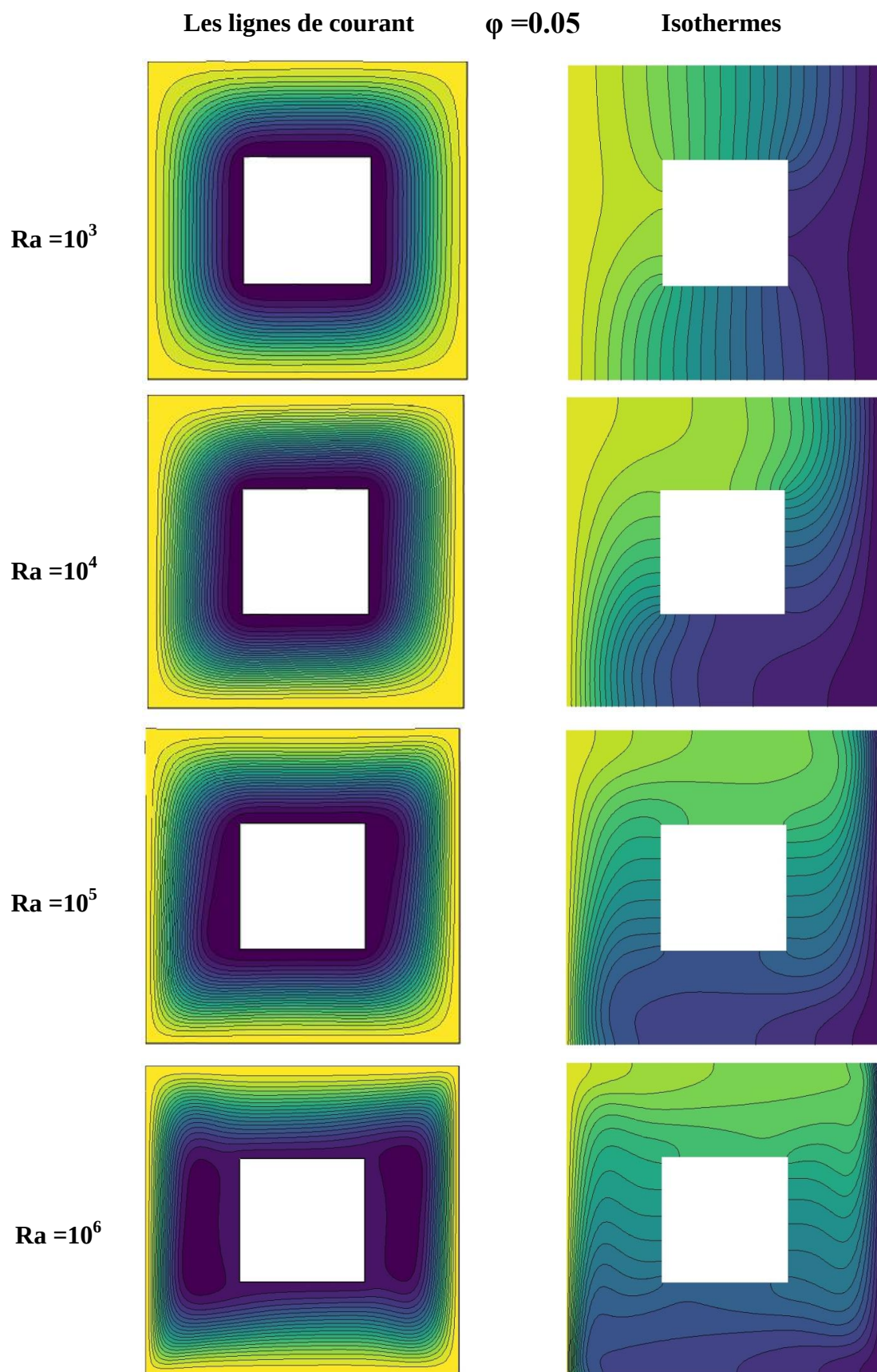


Fig.4. Les lignes de courant et les isothermes avec $\phi = 0.05$

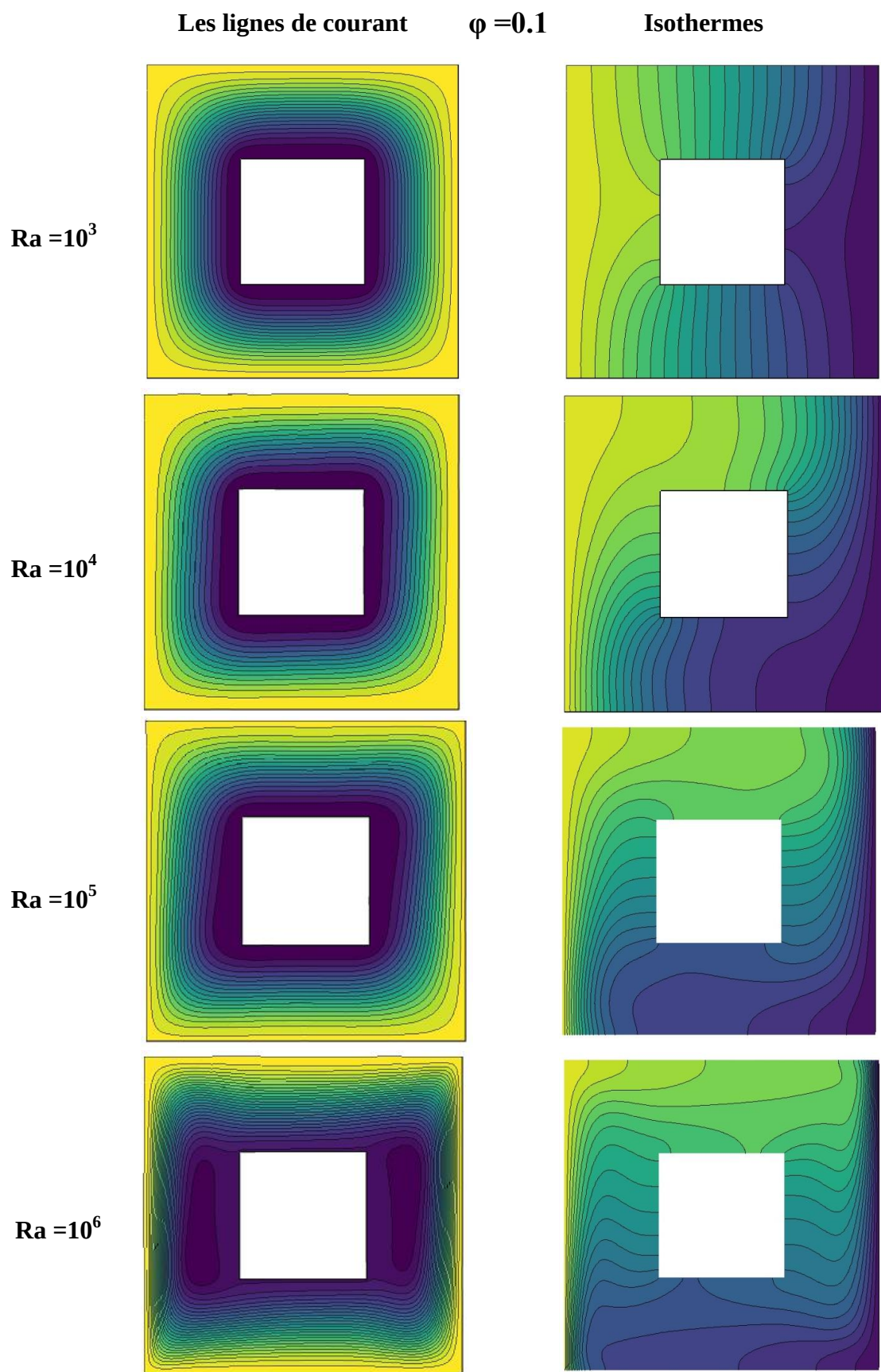


Fig.5. Les lignes de courant et les isothermes avec $\varphi = 0.1$

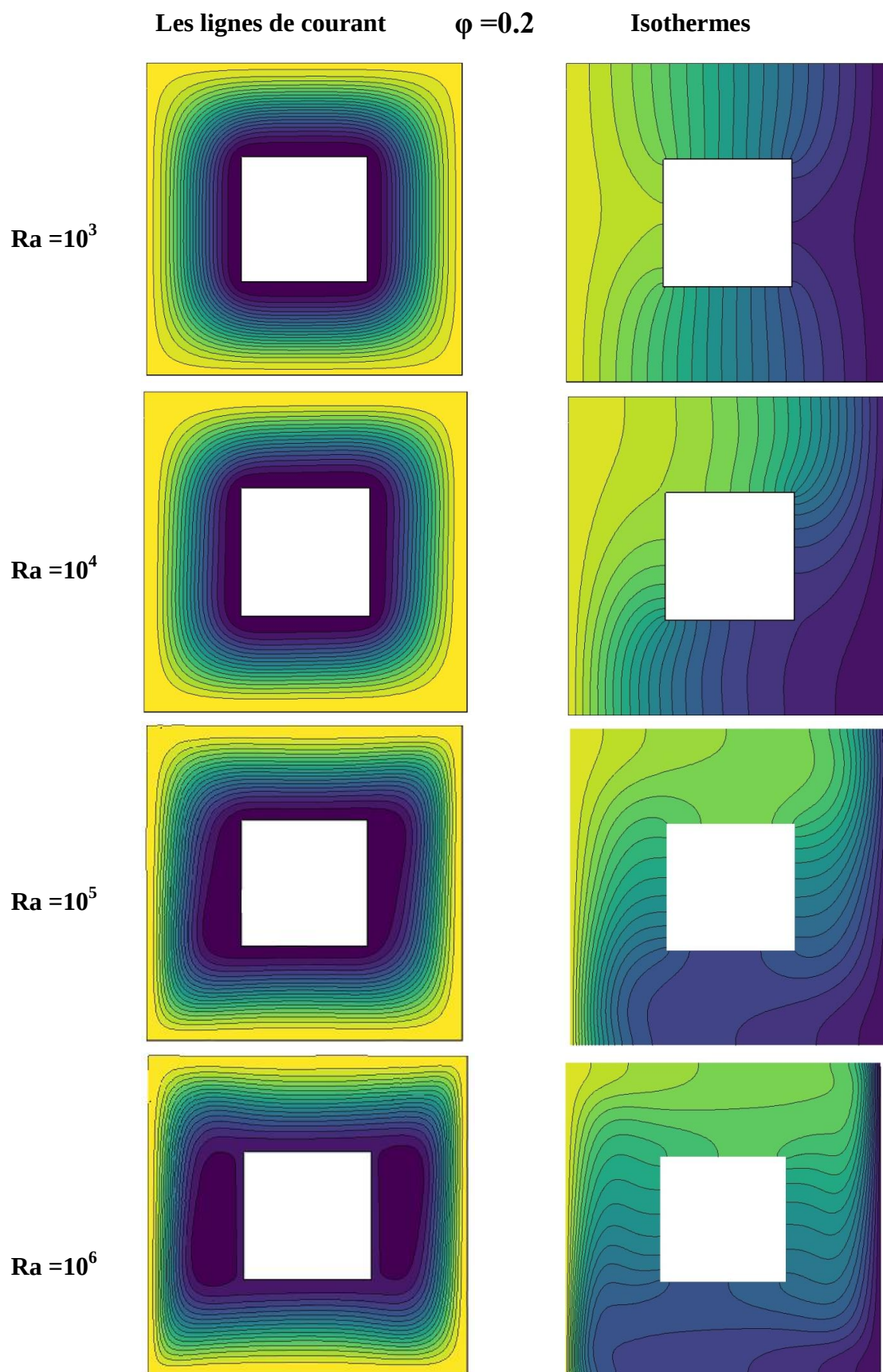


Fig.6. Les lignes de courant et les isothermes avec $\phi = 0.2$

- Variation du nombre de Nusselt moyen

Le tableau 3 et la figure 8 représentent la variation de nombre de Nusselt moyen en fonction de nombre de Rayleigh et les concentrations de nanoparticules. On observe que pour chaque concentration le Nusselt moyen croit à cause de l'augmentation de nombre de Rayleigh, Et pour chaque Rayleigh le Nusselt grossit un peu en raison de l'augmentation de la fraction volumique du nano-fluide.

	Ra =10³	Ra =10⁴	Ra =10⁵	Ra =10⁶
$\phi = 0$	0.794	2.160	4.787	9.330
$\phi = 0.05$	0.874	2.189	5.050	9.931
$\phi = 0.1$	0.976	2.181	5.288	10.495
$\phi = 0.2$	1.245	2.087	5.679	11.513

Tableau.3. Variation de Nusselt en fonction de fraction volumique et le nombre de Rayleigh.

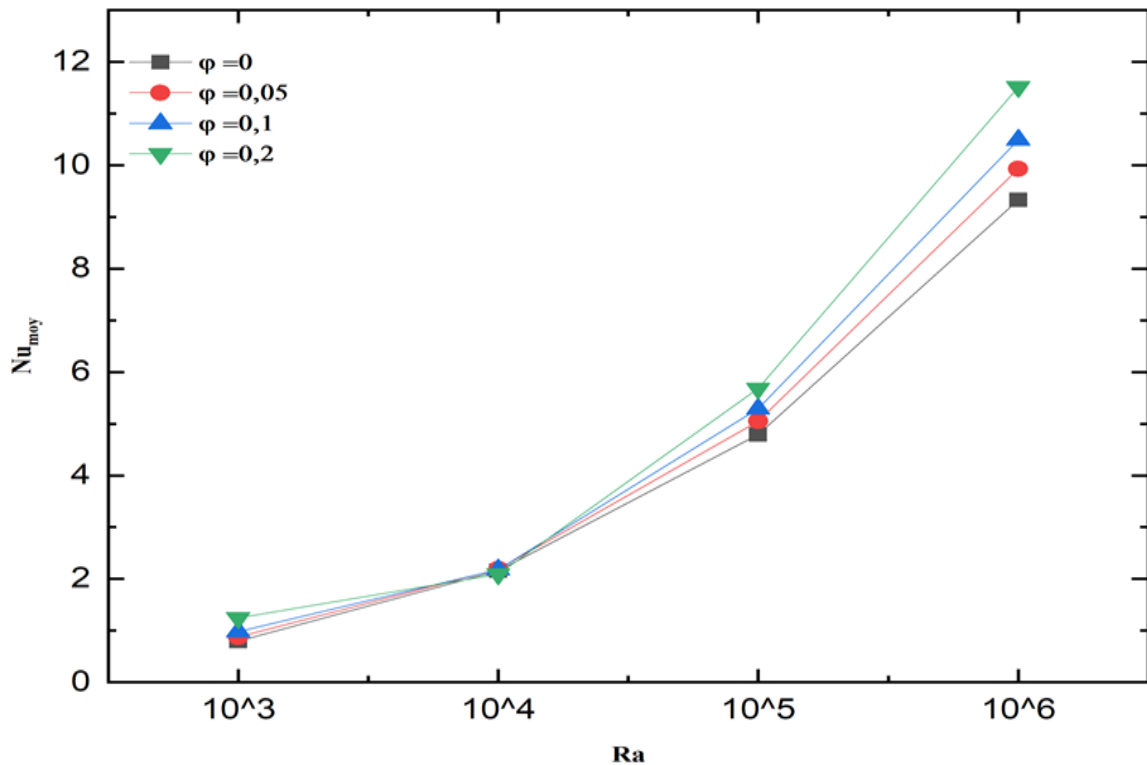


Fig.7. Variation de Nusselt en fonction de fraction volumique et le nombre de Rayleigh.

5 Conclusion

Dans ce travail, le problème de la convection naturelle du nano-fluide (Cu-Eau) à l'intérieur de la cavité carrée partiellement chauffée contenant un corps adiabatique a été étudiée numériquement. Les résultats de cette étude numérique, montrent l'influence du nombre de Rayleigh, la fraction volumique des nanoparticules de **Cu** sur l'écoulement du fluide, la température, le taux de transfert de chaleur, qui sont:

Pour toutes les fractions volumiques des nanoparticules, le taux du transfert de chaleur croît par l'augmentation du nombre de Rayleigh.

À $Ra = 10^3, 10^4, 10^5$ et 10^6 , lorsque le nombre de Rayleigh est maintenu constant, Le nombre de Nusselt moyen augmente par l'accroissement de la fraction volumique des nanoparticules.

À toutes nombre de Rayleigh, pour une fraction volumique constante, le taux de transfert thermique grossit lorsque le nombre de Rayleigh augmente.

On peut conclure à la fin, la combinaison entre le nombre de Rayleigh et la fraction volumique, permet d'améliorer l'efficacité de transfert de chaleur.

6 Références

- [1] A.Trodi, Etude des phénomènes de transfert de chaleur dans les nanofluides, 2018/2019.
- [2] S.Tabet, Etude numérique de la convection naturelle dans une enceinte fermée partiellement chauffée, Université d'Oran 2, 2017.
- [3] G. DE VAHL DAVIS , Natural Convection of air in a square cavity, University of New South Wales, Kensington 2033, Australia, INTERNATIONAL JOURNAL FOR NUMERICAL METHODS IN FLUIDS, VOL. 3, 249-264 (1983).
- [4] Wisam K. Hussam, et al, Natural convection heat transfer utilizing nanofluid in a cavity with a periodic side-wall temperature in the presence of a magnetic field, journal homepage: www.elsevier.com/locate/ichmt, International Communications in Heat and Mass Transfer 104 (2019) 127–135.