

CONVECTION NATURELLE DANS UNE CAVITE CONTENANT DEUX CYLINDRES MAINTENUS A DES TEMPERATURES DIFFERENTES

L. ELMOUTAOUAKIL, Z. ZRIKEM, A. ABDELBAKI

Faculté des Sciences Semlalia, Département de Physique, LMFE, Marrakech, Maroc.

1. Introduction

Au cours des dernières années, la convection naturelle laminaire dans des géométries complexes a fait l'objet de nombreux travaux. Parmi ces géométries, les espaces annulaires compris entre deux sections ayant des formes et des températures différentes [1-5].

Dans tous ces travaux, le fluide qui remplit l'espace annulaire est chauffé par les parois des blocs internes et refroidie par celles de la section externe. Or, il existe certaines situations pratiques où les objets chaud et froid se trouvent à l'intérieur d'une enceinte à parois bien isolées (échangeurs de chaleur, gaine pour conduites,..). Dans ce cadre, on s'intéresse dans ce travail à l'étude de la convection naturelle laminaire ($10^3 \leq Ra = g\beta\Delta TL^3 / \alpha\nu \leq 10^6$) dans une cavité carrée ($A = H/L = 1$) remplie d'eau ($Pr = 7$) et dont les parois sont adiabatiques. La cavité contient deux cylindres, de même rayon, portés à des températures différentes. Ce travail porte sur l'effet du nombre de Rayleigh sur les lignes de courant et les isothermes pour différentes positions relatives des cylindres chaud et froid à l'intérieur de la cavité.

2. Modèle mathématique

Le système considéré est une cavité carrée à parois adiabatiques contenant deux cylindres identiques de rayon adimensionnel $B = R/L = 0.125$ (figure 1). Les cylindres (C_1) et (C_2) sont portés à des températures chaude T_h et froide T_c , respectivement. Avec les cylindres alignés à mi-hauteur de la cavité, on a la configuration $M_h - M_c$ si (C_2) est à droite de (C_1) et inversement pour la configuration $M_c - M_h$. Si les cylindres sont alignés le long de la médiane verticale, on a la configuration $B_h - T_c$ si (C_2) est au dessus de (C_1). Inversement on a la configuration $B_c - T_h$.

Pour ces différentes dispositions, le tableau 1 précise la position de chaque cylindre à l'intérieur de la cavité. Les configurations $M_c - M_h$ et $M_h - M_c$ sont symétriques par rapport à la médiane verticale $X = x/L = 0.5$ de la cavité. Alors que les configurations $B_h - T_c$ et $B_c - T_h$ sont symétriques par rapport à celle horizontale $Y = y/H = 0.5$. Donc par la suite on ne présentera que les résultats des configurations $B_h - T_c$, $B_c - T_h$ et $M_c - M_h$. En effet, les résultats de la configuration $M_h - M_c$ peuvent être déduits de ceux de la configuration. $M_c - M_h$

Tableau 1. Positions des centres des cylindres (C_1) et (C_2) pour les différentes situations traitées.

	$B_h - T_c$	$B_c - T_h$	$M_c - M_h$	$M_h - M_c$
(C_1)	(1/2,1/4)	(1/2,3/4)	(3/4,1/2)	(1/4,1/2)
(C_2)	(1/2,3/4)	(1/2,1/4)	(1/4,1/2)	(3/4,1/2)

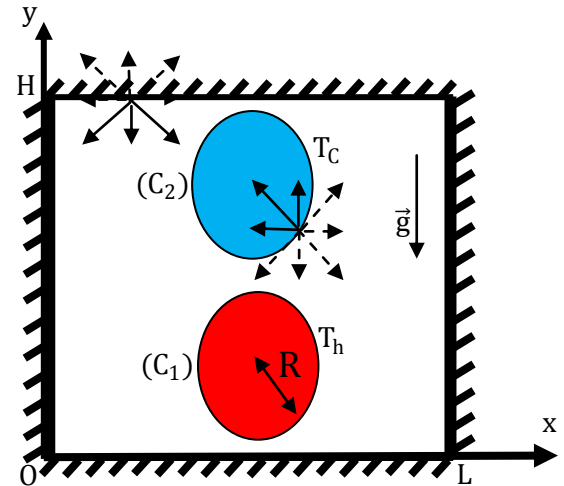
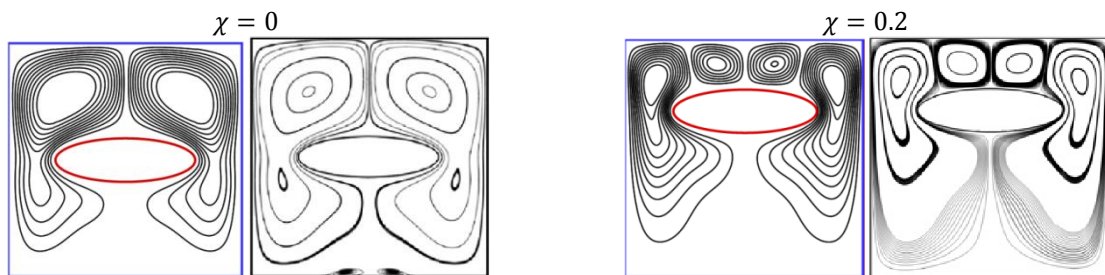


Fig.1. Configuration $B_h - T_c$

3. Approche numérique

Pour simuler l'écoulement et les transferts de chaleur dans le domaine physique considéré, la méthode de Boltzmann sur réseau (LBM) utilisant les deux fonctions de distribution f et g pour trouver respectivement les champs dynamiques et thermiques est employée [6]. Pour les deux fonctions f et g , on adopte le réseau D2Q9 qui contient neuf vitesses de propagation du flux de particules d'un nœud \mathbf{r} vers ses 8 voisins $\mathbf{r} + \mathbf{c}_i\Delta t$ (figure 1).

Pour valider le code développé, ce dernier a été adapté à la configuration étudiée par [3] (figure 2). Ces auteurs ont étudié la convection naturelle laminaire dans un espace annulaire limité de l'extérieur par une section carrée isotherme froide et de l'intérieur par une paroi elliptique isotherme chaude. Sur la figure 2, les résultats sont présentés en termes de lignes de courant et isothermes pour $Ra = 10^6$ et différentes positions adimensionnelles χ du centre de la paroi elliptique à l'intérieure de la cavité. Cette figure montre que le code développé permet de reproduire avec une excellente concordance les données numériques de Bararnia et al. [3].



(a)

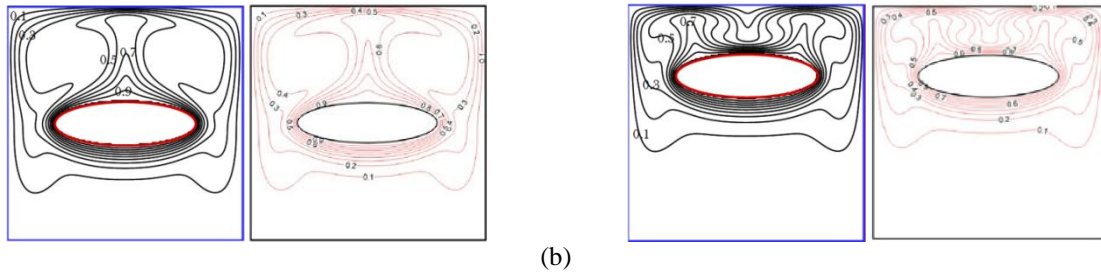


Fig. 2. Lignes de courant (a) et isothermes (b) pour $Ra = 10^6$ et différentes positions adimensionnelles χ du centre de la paroi elliptique. A gauche : présent travail, à droite : Bararnia et al. [3]

3. Résultats et discussion

Pour les configurations considérées, les lignes de courant et les isothermes obtenues pour $Ra = 10^3$ sont présentées sur les figures 3a-c. Ces figures montrent que les structures de l'écoulement obtenues sont symétriques vis-à-vis du centre de la cavité pour toutes les situations traitées. En plus, on note que les configurations $B_h - T_c$ et $B_c - T_h$ ont des écoulements qui sont symétriques par rapport aux médianes horizontale et verticale de la cavité. Ces derniers sont complètement différents de l'écoulement obtenu pour la configuration $M_c - M_h$ car les modes de chauffage/refroidissement internes sont très différents. Pour les deux premières situations ($B_h - T_c$ et $B_c - T_h$), la structure de l'écoulement est composée de quatre cellules de même intensité dont deux tournent dans le sens horaire et les autres dans les sens opposé. Toutes ces cellules sont proches des quatre coins de la conduite. En passant à la

configuration $M_c - M_h$, on obtient un écoulement dix fois plus intense formé de trois cellules horaires. La cellule principale de grande taille est en contact avec toutes les parois internes (actives) et externes (passives) de la configuration. Par contre les cellules secondaires fusionnent légèrement au milieu de la cavité et ne sont en contact qu'avec les parois actives circulaires.

Pour toutes les configurations considérées, les figures montrent que pour $Ra = 10^3$ (régime de conduction), les isothermes sont serrées au milieu de la cavité dans la zone qui sépare les parois actives circulaires. Au niveau des parois passives, on enregistre, pour les configurations $B_h - T_c$ et $B_c - T_h$, d'importants gradients de température sur les parois verticales alors que sur celles horizontales les températures sont presque uniformes. Pour la configuration $M_c - M_h$, c'est l'inverse qui se produit au niveau des parois horizontales et verticales de la cavité.

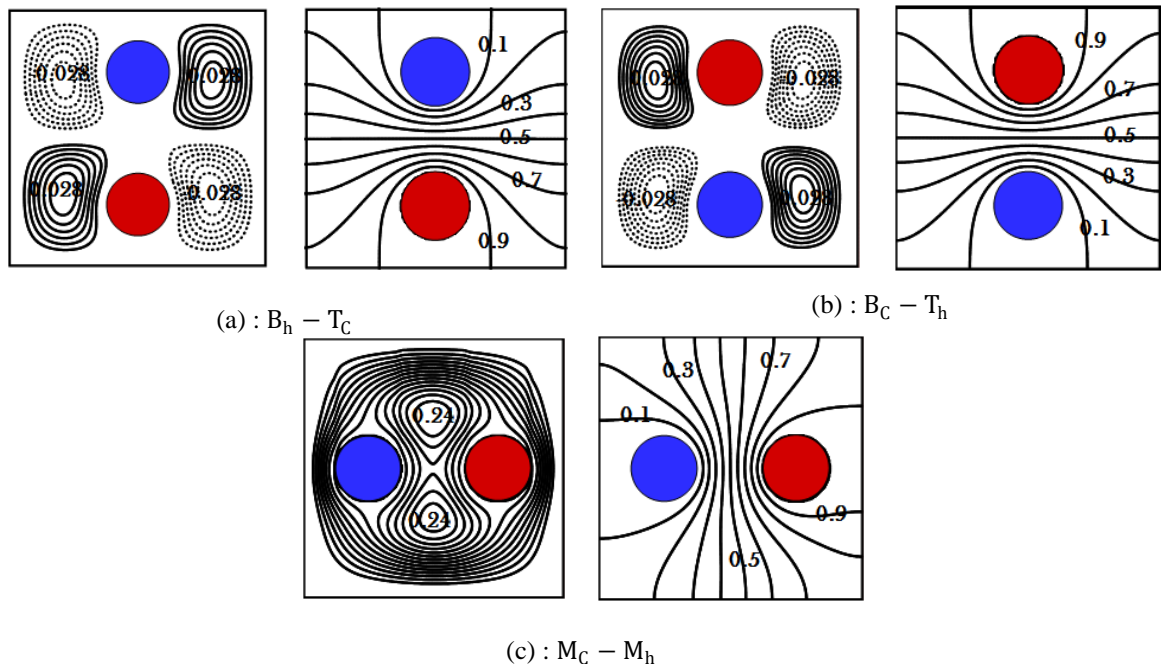


Fig. 3. Lignes de courant (à gauche) et isothermes (à droite) pour les configurations traitées avec $Ra = 10^3$.

En passant à des nombres de Rayleigh élevés (figures 4a-c), l'écoulement devient très intense notamment pour les configurations $B_h - T_c$ et $M_c - M_h$ ce qui donne naissance à de fortes instabilités. Donc, pour ces deux configurations les structures de l'écoulement obtenues ne sont plus désormais symétriques vis-à-vis du centre de la cavité et subissent de profondes modifications. Cependant, pour la configuration $B_c - T_h$, le régime d'écoulement

obtenu est stable même si le nombre de Rayleigh est assez élevé ($Ra = 10^6$). Pour cette configuration, la structure de l'écoulement est toujours formée de quatre cellules qui sont antisymétriques par rapport à la médiane verticale de la cavité. Etant donné que la température de l'eau est plus élevée en haut de la cavité, la structure de l'écoulement n'est plus symétrique vis-à-vis du centre de la cavité car les

deux cellules supérieures sont deux fois plus intenses que celles inférieures.

Les isothermes présentées sur les figures 4a-c montrent que la distribution de température dans la cavité a subi un changement considérable lorsqu'on a augmenté le nombre de Rayleigh. Ces isothermes sont plus concentrées sur les parois actives notamment au dessus de celles froides et en dessous de celles chaudes. Cela montre que les échanges thermiques sont plus intenses et que la convection est devenue le mode de transfert de chaleur dominant. Loin de ces parties, on a généralement des zones à forte

stratification thermique (entre les parties actives circulaires et autour des milieux des parois verticales pour les configurations $B_h - T_c$ et $M_c - M_h$) ou à températures presque uniformes (configuration $B_c - T_h$). Pour des Rayleigh élevés, excepté pour la configuration stable $B_h - T_c$, des panaches thermiques se développent en haut et en bas des parties actives circulaires chaude et froide, respectivement. Ces derniers sont assez intenses pour la configuration $B_h - T_c$ pour laquelle le nombre de Rayleigh marquant le seuil d'apparition du régime instationnaire n'est pas élevé.

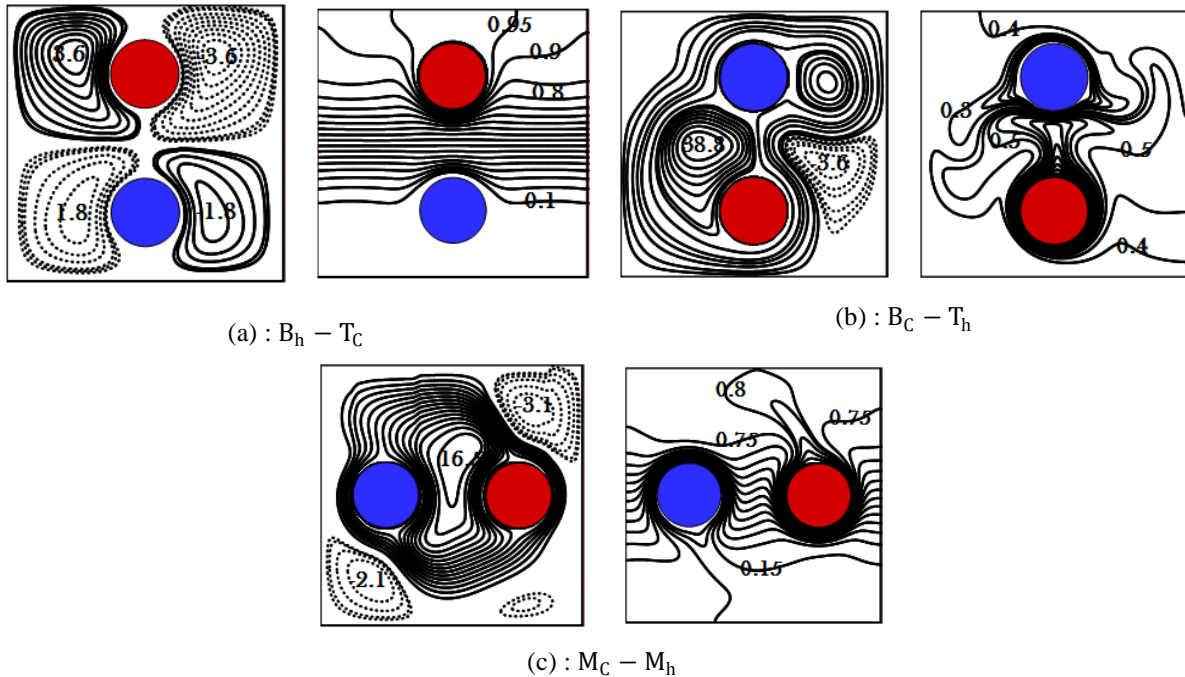


Fig. 4. Lignes de courant (à gauche) et isothermes (à droite) pour les trois configurations traitées : $Ra = 10^6$.

4. Conclusion :

Dans ce travail, l'effet du nombre de Rayleigh sur les lignes de courant et les isothermes au sein d'une cavité carrée à parois adiabatiques a été déterminé numériquement en utilisant la méthode LBM. A l'intérieur de la cavité se trouvent deux blocs circulaires isothermes portés à des températures différentes.

Les résultats obtenus ont montré que le nombre de Rayleigh a une influence considérable sur le maintien (configuration $B_c - T_h$) ou la destruction totale de la symétrie de l'écoulement (configurations $M_c - M_h$, $B_h - T_c$). En régime de conduction, les isothermes sont serrées dans les zones limitées par les parois actives circulaires. En régime de convection, les isothermes sont denses en dessous des parois chaudes et au dessus de celles froides. Pour un nombre de Rayleigh élevé, des panaches thermiques assez intenses se développent pour les configurations instables $B_h - T_c$ et $M_c - M_h$.

Références

- [1] Kim B.S., Lee D.S., Ha M.Y. and Yoon H.S., A numerical study of natural convection in a square enclosure with a circular cylinder at different vertical locations, International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 51, pp. 1888-1906, 2008.
- [2] Xu X., Yu Z., Hu Y., Fan L. and Cen K., A numerical study of laminar natural convective heat transfer around a horizontal cylinder inside a concentric air-filled triangular enclosure, International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 53, pp. 345-355, 2010.
- [3] Bararnia H., Soleimani S. and Ganji D.D., Lattice Boltzmann simulation of natural convection around a horizontal elliptic cylinder inside a square enclosure, International Communications in Heat and Mass Transfer, vol. 38, pp. 1436-1442, 2011.
- [4] Eid E.I., Experimental study of free convection in an elliptic annular enclosure in blunt and slender orientations, Heat Mass Transfer, vol. 47, pp. 81-91, 2011.
- [5] Ghasemi E., Soleimani S. and Bararnia H., Natural convection between a circular enclosure and an elliptic cylinder using control volume based finite element method, International Communications in Heat and Mass Transfer, vol. 39, pp. 1035-1044, 2012.
- [6] Mohamad A.A. and Kuzmin A., A critical evaluation of force term in lattice Boltzmann method, natural convection problem, International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 53, pp. 990-996, 2010.