

CONVECTION MIXTE DANS UNE CAVITE CARREE : ETUDE NUMERIQUE POUR DIFFERENTES VALEURS DE GRASHOF ET DE REYNOLDS

M. ADNANI^{1,2}, B. MEZIANI¹ and O. OURRAD¹

¹ Laboratoire de Physique Théorique, Faculté des Sciences Exactes, Université de Bejaia, 06000, Algérie.
massi_univst06@hotmail.fr (M. ADNANI)

² Département de Génie Mécanique, Faculté de Technologie, Université de Bejaia, 06000, Algérie.
bachirdidih@yahoo.fr (B. MEZIANI)
omeziani@yahoo.fr (O. OUERDIA)

Résumé

Une étude numérique de la convection mixte dans une cavité carrée soumise aux conditions limites thermiques et cinématiques sur les parois latérales est étudiée et discutée dans le présent article. Le fluide est Newtonien et les équations gouvernant le champ d'écoulement et le transfert de chaleur sont données sous forme sans dimension. La méthode des volumes finis a été adoptée pour résoudre le système algébrique. Influence des nombres de Grashof et Reynolds sur le transfert de chaleur et le champ d'écoulement est illustrée et discutée sous forme de lignes du courant, isothermes et de nombre de Nusselt moyen. Les résultats indiquent que l'amélioration du transfert de chaleur est plus prononcée avec l'augmentation du nombre de Grashof et de Reynolds. En particulier, à des valeurs faibles de Gr le transfert de chaleur semble dominé par la convection forcée lorsque Re devient important et le transfert de chaleur par convection mixte devient plus important dans la cavité en augmentant les nombres Gr et Re.

Mots clefs: *Convection ; Numérique ; Reynolds ; Grashof.*

1. Introduction

Le transfert de chaleur par convection mixte et l'écoulement de fluide dans les cavités sont des sujets importants d'investigation en raison de leur effet sur de nombreuses applications d'ingénierie et des phénomènes naturels tels que l'énergie thermique, les industries pétrochimiques, l'aérospatiale, la construction et les capteurs solaires, etc. Le flux entraîné par les conditions aux limites thermiques et cinématiques à travers la cavité provoque une poussée de la flottabilité et la création d'une convection mixte conditions lorsque Grashof et Reynolds nombres augmentent. Par conséquent, les modèles complexes de transfert de chaleur se produisent à l'intérieur de la cavité pour différentes valeurs Grashof et Reynolds chiffres [1]. De nombreuses études ont été menées sur le transfert de chaleur par convection mixte

dans une enceinte carrée sous diverses conditions thermiques [2-4]. Cette modification introduit de nombreuses autres complexités qui modifient la nature du champ d'écoulement et le transfert de chaleur, conséquence des forces de flottabilité entraînées par des gradients de température, qui tendent à augmenter le transfert de chaleur. Ainsi, la convection naturelle se prononce de plus en plus avec l'augmentation du nombre de Rayleigh. Oztop et Dagtekin [5] ont étudié le mouvement de cavité des parois latérales opposées en utilisant un algorithme SIMPLE. Ils ont observé différents régimes à valeur différente du nombre de Richardson. Khaled Al-Salem et al [6] ont étudié les effets du déplacement de la direction du couvercle sur la convection mixte MHD dans une cavité avec la paroi de fond étant chauffée linéairement. Les résultats indiquent que la direction du couvercle est plus efficace sur le transfert de chaleur et l'écoulement de fluide dans le cas de la convection mixte. Le transfert de chaleur est également diminué avec l'augmentation du champ magnétique pour tous les paramètres étudiés.

Toutes ces œuvres clarifient un ensemble de phénomènes physiques observés dans la convection mixte dans les cavités. Pour fournir des précisions supplémentaires, nous analysons l'effet des conditions aux limites imposées sur les parois latérales de la cavité pour différentes valeurs de nombres de Grashof et de Reynolds. En fait, nous avons déjà mené une étude dans ce sens, mais seulement pour un cas de combinaison de conditions aux limites, M. ADNANI et al [7]. Nos résultats indiquent qu'avec des nombres de Rayleigh faibles, le champ d'écoulement est légèrement prononcé avec un nombre Prandtl croissant et diminue en augmentant le nombre de Rayleigh. En revanche, le transfert de chaleur n'est pas affecté par des variations du nombre de Prandtl à des nombres de Rayleigh faibles et diminue avec l'augmentation du nombre de Prandtl, en particulier pour des nombres de Rayleigh très élevés.

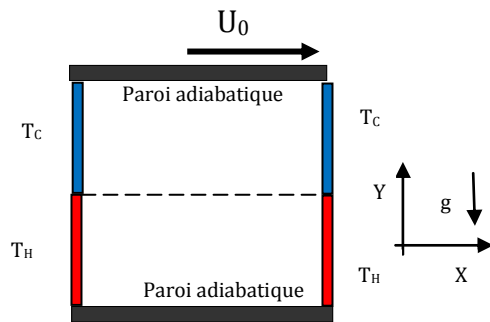


Figure.1 modèle Physique

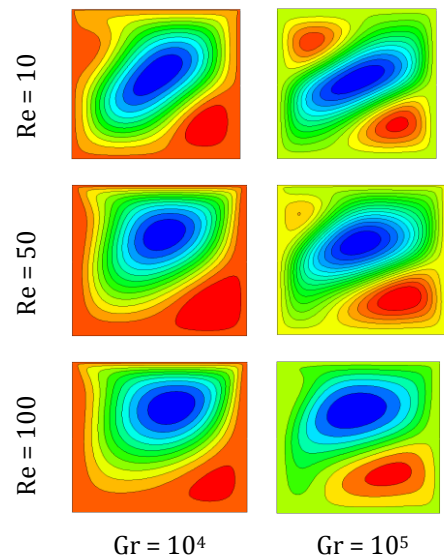
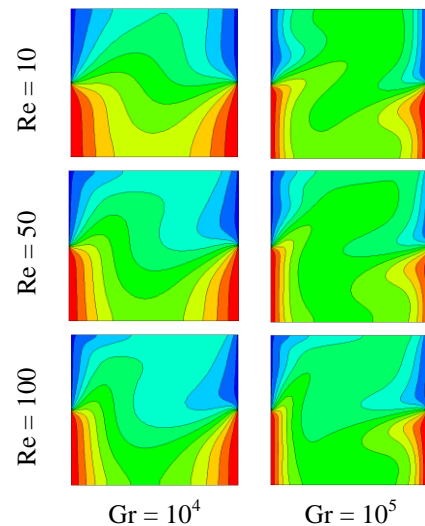
2. Formulation du Problème

Nous avons considéré une cavité carrée, remplie d'un liquide newtonien. Comme représenté sur la figure 1, les parois horizontales supérieure et inférieure sont maintenues adiabatiques. La paroi horizontale supérieure est maintenue à une vitesse constante U_0 . La direction de la paroi mobile est représentée pour la direction $+X$. Les parois latérales sont composées de deux parties de même dimension, la moitié inférieure des parois latérales est maintenue à une température chaude et la moitié supérieure est maintenue à une température froide. L'axe X est parallèle aux parois adiabatiques, l'axe Y est parallèle aux parois latérales et la gravité est dirigée vers le bas. Les équations gouvernantes, equation de continuité, de quantité de mouvement et l'équation d'énergie sont intégrées sur les volumes de contrôle afin d'obtenir un système d'équations algébriques plus accessible à la résolution Patankar, S. V [8]. L'algorithme SIMPLE est utilisé pour résoudre le système couplé d'équations algébriques. La discrétisation spatiale des équations gouvernantes est réalisée par un schéma de second ordre. L'interpolation de la pression est réalisée par le schéma PRESTO. La convergence de la solution itérative séquentielle est obtenue lorsque le résidu devient inférieur à 10^{-9} . Un maillage uniforme de 121×121 noeuds est adopté pour notre géométrie.

3. Résultats et Discussion

Dans cette section, nous présentons les résultats de simulation pour le problème considéré à chaque nombre de Grashof et de Reynolds, le nombre de Prandtl est fixé à $Pr = 0,71$. La figure.2 montre les lignes du courant pour différentes valeurs de Grashof ($Gr = 10^4$ et 10^5) et de Reynolds ($Re = 10, 50$ et 100). Le sens de déplacement de la paroi supérieure est important en raison de la différence de température le long de la paroi supérieure comme indiqué dans la définition du problème.

A $Gr = 10^4$ et $Re = 10$, les lignes du courant sont très faibles. L'écoulement est caractérisé par une grande cellule principale qui tourne dans le sens inverse des aiguilles de la montre et la formation d'une cellule

Figure. 2 Lignes du courant pour différentes valeurs de nombres de Grashof et de Reynolds, $Pr = 0.71$ Figure. 2 Lignes isothermes pour différentes valeurs de nombres de Grashof et de Reynolds, $Pr = 0.71$

secondaire tournante dans le sens des aiguilles de la montre située dans la partie inférieure droite de la cavité. En effet, la grande cellule se déplace de plus en plus vers la paroi supérieure lorsque le nombre de Reynolds augmente jusqu'à $Re = 100$. Pour un nombre de Grashof $Gr = 10^5$, on observe une déformation considérable des fonctions du courant. L'écoulement est caractérisé par une forte circulation au milieu de la cavité et une grande cellule principale tournant dans le sens inverse des aiguilles d'une montre juste formée sur la diagonale de l'enceinte à $Re = 10$ et deux petites cellules secondaires occupent les parties supérieures gauche et droite de la cavité tournantes dans le sens des aiguilles de la montre. Lorsque le nombre de Reynolds devient important, en raison de la direction de l'écoulement dans la région centrale et du sens de la vitesse de la paroi supérieure, le champ d'écoulement devient faible. La grande cellule subit une compression de la part de la cellule située au

fond de la cavité et la disparition de la cellule située dans la partie haute de la cavité.

La figure.3 montre les isothermes en fonction des nombres de Grashof et de Reynolds. Les isothermes se produisent symétriquement sur la diagonale de la cavité et une légère déformation est observée près de la paroi supérieure pour $Gr = 10^4$ et $Re = 10$. Lorsque le nombre de Reynolds augmente, les isothermes subissent une déformation au milieu de la cavité et une stratification thermique notée près des parois chaudes. Dans cette situation, la convection forcée devient importante avec l'augmentation du nombre de Reynolds.

Lorsque $Gr = 10^5$, les isothermes commencent à se déplacer vers les parois latérales et tendent à se déformer, le transfert de chaleur par convection mixte devient de plus en plus important dans la cavité. Par conséquent, le gradient de température près des parois latérales tend à être important pour le développement de la couche limite thermique lorsque le nombre de Grashof augmente.

4. Conclusion

Dans ce travail, on effectue une étude numérique de la convection mixte dans une cavité carrée soumise aux conditions aux limites thermiques et cinématiques. Les équations gouvernant le champ d'écoulement et le transfert de chaleur sont données sous forme sans dimension. La méthode du volume fini a été adoptée pour résoudre le système algébrique. La mise en forme sans dimension des équations gouvernantes fait apparaître les nombres sans dimension, à savoir les nombre de Grashof, Reynolds et Prandtl. Afin de voir l'influence de ces nombres sur le champ d'écoulement et le transfert de chaleur, l'examen a été fait pour différentes valeurs de Gr et Re . Les résultats indiquent que le transfert de chaleur augmente avec les nombres de Grashof et de Reynolds. Pour des valeurs faibles de Gr , le transfert de chaleur semble dominé par la convection forcée lorsque Re devient important. En revanche, le transfert de chaleur par convection mixte devient plus important dans la cavité en augmentant les nombres de Gr et Re .

Références

- [1] R. IWATSU, J. HYUN and K. KUWAHARA, *Mixed convection in a driven cavity with a stable vertical temperature gradient*, Int. J. Heat Transfer, vol. 36, pp. 1601-1608, 1993.
- [2] M.K. Moallemi, K.S. Jang, *Prandtl number effects on laminar mixed convection heat transfer in a lid-driven cavity*, Int. J. Heat Mass Transfer 35 (1992) 1881– 1892
- [3] D. Ramakrishna, Tanmay Basak, S. Roy, I. Pop, *Numerical study of mixed convection within porous square cavities using Bejan's heatlines: Effects of thermal aspect ratio and thermal boundary conditions*, International Journal of Heat and Mass Transfer 55 (2012) 5436–5448.
- [4] T. Basak, P.V.K. Pradeep, S. Roy, I. Pop, *Finite element based heatline approach to study mixed convection in a porous square cavity with various wall thermal boundary conditions*, Int. J. Heat Mass Transfer 54 (2011) 1706–1727.
- [5] H.F. Oztop, I. Dagtekin, *Mixed convection in two-sided lid-driven differentially heated square cavity*, Int. J. Heat Mass Transfer 47 (2004) 1761–1769.
- [6] Khaled Al-Salem, Hakan F. Oztop, Ioan Pop, Yasin Varol, *Effects of moving lid direction on MHD mixed convection in a linearly heated cavity*, International Journal of Heat and Mass Transfer 55 (2012) 1103–1112.
- [7] ADNANI. M, MEZIANI. B and OURREAD. O, *Boundary Conditions Effects on the Natural Convection in a Square Cavity*, 9th International Conference on Thermal Engineering: Theory and Applications, March 24-26 2016, Abu Dhabi, UAE.
- [8] Patankar, S. V. (1980): *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, Hemisphere Published, New York.