

Effet de la convection en double diffusion thermique et massique sur une couche limite laminaire

Maroua Nefzi^a, Mohamed Ali Knani^b

a & b. LMF : Laboratoire de Mécanique des Fluides –Département de Physique, Faculté des Sciences de Tunis, Université de Tunis el Manar - Campus Universitaire el Menzeh, 1060 Tunis, Tunisie (auteur correspondant : nefziimarouaa@gmail.com)

Résumé :

La convection naturelle thermosolutale est due principalement à sa présence dans plusieurs applications industrielles tels que les procédés de séparation en industries chimiques et pétrolières de stockage des déchets nucléaires, la dispersion des contaminants chimiques dans les couches d'eau souterraine, la migration de l'humidité à travers les isolations fibreuses, les processus de séchage, les opérations de dessalement de l'eau de mer. On se propose dans ce travail d'étudier par simulation numérique directe l'effet de la convection en double diffusion sur une plaque plane lisse et horizontale. La couche limite générée est considérée laminaire. La technique numérique utilisée dans cet article est la méthode des volumes finis. Les analyses de l'évolution des profils de vitesse, de concentration et de la température et la variation du nombre de Nusselt permettront d'identifier les phénomènes liés aux doubles diffusions.

Mots clés : double diffusion, plaque plane, écoulement laminaire, couche limite, convection.

1 Introduction

La convection naturelle thermosolutale a été étudiée en premier par Bejan, 1984. Ce phénomène a une importance reconnue dans l'océanographie et dans les problèmes intervenant au cours des dépôts chimiques, par exemple, dans le domaine des énergies renouvelables et pétrolières de stockage des déchets nucléaires, la dispersion des contaminants chimiques dans les couches d'eau souterraine, la migration de l'humidité à travers les isolations fibreuses, les processus de séchage, les opérations de dessalement de l'eau de mer, pour le stockage de l'énergie solaire n'est efficace que si aucun écoulement convectif n'a lieu. Les conditions qui prévalent à l'apparition de la convection doivent être déterminées dans le but d'améliorer le fonctionnement des systèmes de stockages d'énergie solaire.

Une étude numérique de la convection naturelle thermosolutale dans une cavité, rectangulaire à été faite par D. Akrouf et al. [1]. Les parois horizontales de l'enceinte sont chauffées et refroidies et un gradient de concentration vertical est maintenu. L'objectif du présent travail est d'identifier le régime d'écoulement à dominance thermique ou solutale. Ils ont constaté qu'il est possible d'obtenir plusieurs solutions qui dépendent essentiellement des conditions initiales. Aussi, les résultats révèlent, que pour un fluide stratifié, un transfert de chaleur conductif s'installe au dépend de la convection thermique.

Ils ont examiné essentiellement le cas d'une cavité de rapport d'aspect égal à deux dans un milieu fluide, pour un nombre de Lewis égal à 100 et le nombre de Grashof varie entre 10^3 et 10^5 .

D. Akrou et al. [1]. ont retrouvé trois régimes d'écoulement distincts, pour les faibles valeurs de rapport de poussée N , des cellules convectives dues essentiellement aux forces thermiques se mettent en place et pour des valeurs de N plus élevées, le transfert est diffusif et la stratification stable en concentration bloque l'écoulement. Pour des valeurs intermédiaires de N (N modérés), le transfert diminue avec l'accroissement de N .

Smail Benissaad et al. [2] ont fait une étude numérique de la convection naturelle thermosolutale dans une cavité rectangulaire inclinée, remplie par un milieu poreux saturé par un fluide binaire. Les parois verticales sont soumises à des gradients de température et de concentration constants et les parois horizontales sont adiabatiques et imperméables. Le travail de [2] a été basé sur les effets de certains paramètres sur l'écoulement et les transferts de chaleur et de masse dans un milieu poreux saturé par un fluide binaire ayant un nombre de Prandtl $Pr = 0.71$. Les paramètres de contrôle considérés sont les nombres de Darcy, de Lewis et de Rayleigh et l'angle d'inclinaison de l'enceinte. Smail Benissaad et al. [2] ont constaté que l'intensité de l'écoulement augmente avec le nombre de Darcy et cette croissance est d'autant plus élevée que le nombre de Rayleigh est élevé. Pour les valeurs du nombre de Darcy les plus faibles, le milieu poreux se comporte comme une paroi imperméable. Alors que, le nombre de Nusselt diminue avec l'augmentation du nombre de Lewis. Ce décroissement est dû à la diminution de la force de volume thermique qui résulte de l'augmentation du nombre de Lewis. La variation du nombre de Rayleigh provoque une augmentation de l'intensité de l'écoulement et cette croissance est due à l'augmentation des écarts de température et de concentration résultants.

Smail Benissaad et al. [3] ont fait une étude numérique tridimensionnelle de la convection naturelle bidiffusive dans une enceinte rectangulaire soumise à des gradients de température et de concentration horizontaux. Ils ont montré que le caractère tridirectionnel de l'écoulement près des parois isothermes et le caractère tridimensionnel de l'écoulement près des parois verticales adiabatiques. [3] ont constaté que la variation de nombre de Grashof solutal a permis l'obtention de plusieurs types d'écoulements et aussi plusieurs bifurcations entre ces écoulements.

Une étude numérique et analytique du comportement d'un fluide binaire en milieux fluide et poreux confinés a été faite par Yahiaoui [4]. Les deux cas sont étudiés où la convection naturelle est induite par double diffusion et par l'effet de Soret. Il a constaté que les évolutions de l'écoulement et de transfert de chaleur et de masse en fonction des paramètres de contrôle, sont qualitativement identiques pour les milieux fluides et poreux. [4] a remarqué que pour le cas d'une cavité rectangulaire les instabilités peuvent être stationnaires ou oscillatoires, selon les valeurs de nombre de Lewis Le , de la porosité normalisée \square et de la constante a (coefficient binaire).

Une étude numérique et analytique concernant la convection thermosolutale dans les milieux poreux anisotropes a été traité par Bennacer et al. [5]. Ce milieu est globalement homogène et présente une anisotropie thermique. Ils ont remarqué que l'influence des différents paramètres caractérisant ce genre de problème a été explorée numériquement en faisant varier le taux d'anisotropie thermique, le nombre de Darcy, le nombre de Lewis, le rapport des forces de volume, le nombre de Rayleigh poreux thermique et le rapport des conductivités. Bennacer et al. [5] ont constaté que les problèmes doublement diffusifs peuvent présenter soit un caractère 3D ou de multiples solutions avec des branches secondaires pour des solutions antinaturels.

Les études portant sur la convection thermosolutale en présence d'un milieu poreux font actuellement l'objet d'un intérêt sans cesse accru. Hadidi et al. [6] ont fait une étude concernant la convection en double diffusion générée dans une cavité poreuse renfermant deux couches poreuses disposées verticalement. Chaque couche poreuse est considérée homogène, isotrope et saturée par le même fluide. Ils ont constaté que la variation de la perméabilité des deux couches a un effet très appréciable sur la structure d'écoulement et les transferts. Par ailleurs trois régimes de transferts ont été identifiés,

un écoulement diffusif pur pour les faibles valeurs de rapport des perméabilités des couches poreuses R_K , un écoulement qui s'intensifie de plus en plus avec l'accroissement de R_K (pour R_K modéré) et un autre régime complètement couche limite indépendant de R_K (pour des valeurs de R_K élevées).

Références

- [1] D. Akrou, M. Betrouni, D. Kalache, S. Hamaili et N. Chabane-Chaouche, Etude instationnaires d'écoulement en Double Diffusion avec Gradient Opposé en Température et en Concentration, Rev. Energ. Ren. : Chemss 2000 99-104
- [2] Smail Benissaad , Assia Boumaraf, Ahmed Djebli, Étude de la convection naturelle thermosolutale dans une enceinte inclinée,
- [3] Smail Benissaad, Mohamed Afrid et Ahmed Bellaouar, étude numérique de la convection naturelle thermosolutale opposée tridimensionnelle, Buletinul Institutului Politehnic Din Iasi 1-2, 2006.
- [4] Yahiaoui Mohamed Amine, Simulation numérique de la convection naturelle induite par double diffusion et effet de soret dans une cavité cylindrique concentrique, thèse, Université de Cergy-Pontoise, 2007.
- [5] R. Bennacer, A. Tobbal et H. Beji, Convection naturelle Thermosolutale dans une Cavité Poreuse Anisotrope: Formulation de Darcy-Brinkman, Rev. Energ. Ren. Vol. 5(2002)1-21.
- [6] Noureddine Hadidi et Yacine Ould-Amer, Convection thermosolutale bidimensionnelle dans une cavité poreuse renfermant deux couches poreuses disposées verticalement, Revue de Mécanique Appliquée et Théorique, Vol. 2, 4. 385-396 (2011).