

# Étude numérique du couplage convection-rayonnement volumique dans un canal incliné par la méthode de Boltzmann sur réseau

Soufiane DERFOUFI <sup>1\*</sup>, Fayçal MOUFEKKIR <sup>1</sup>, Ahmed MEZRHAB <sup>1</sup>

1. Laboratoire de Mécanique & Energétique, Département de Physique, Faculté des Sciences, Université Mohammed 1er, 60000 Oujda, Maroc.

\*Auteur correspondant: soufiane.derf@gmail.com

## Résumé

Dans ce travail, nous présentons une étude numérique de la convection mixte couplée au rayonnement volumique dans un canal. La géométrie du modèle physique consiste en deux plaques isothermes. Le gaz de remplissage est considéré comme gris, absorbant, émettant et isotropiquement diffusant. Les équations régissant le problème sont résolues en utilisant un schéma hybride de la méthode de Boltzmann sur réseau. En effet, le champ de vitesse est calculé par la méthode de Boltzmann sur réseau avec multiples temps de relaxation (MRT- LBM) et le champ de température est évalué par la méthode des différences finis (FDM). Le terme source radiatif de l'équation de l'énergie est également calculé par la méthode de Boltzmann sur réseau avec seul temps de relaxation (SRT). L'objectif principal de cette étude est l'évaluation de l'influence de l'angle d'inclinaison du canal ( $\phi$ ) et du nombre de Richardson (Ri) sur les champs dynamiques et thermiques.

**Mots clefs :** *Lattice Boltzmann, Rayonnement volumique, convection mixte, canal.*

## 1. Introduction

La convection mixte à travers des canaux en présence du rayonnement volumique est omniprésente dans plusieurs systèmes énergétiques tels que les échangeurs de chaleur, les chambres de combustion, les capteurs solaires, les systèmes de refroidissement des réacteurs nucléaires, les appareils de refroidissement des systèmes électroniques et les équipements de traitement chimique, etc. Plusieurs études analytiques, numériques et expérimentales portant sur la convection mixte dans des canaux ont été réalisés sans tenir compte de l'effet du rayonnement [1-2]. D'autres études s'intéressent à la convection couplée au rayonnement surfacique [3-4], cependant les études tenant compte de l'effet du rayonnement volumique, dans les canaux, sont rarement abordées. Caméra-Roda et al [5] ont été les premiers à s'intéresser à l'interaction du rayonnement volumique avec la convection mixte dans un canal. Ils ont considéré un écoulement de canal à deux dimensions avec un fluide participant au rayonnement. Ces auteurs ont conclu que la région inférieure des champs de vitesse et de température est fortement affectée par l'épaisseur optique du fluide actif. Récemment Bazdidi et al. [6] ont utilisé la méthode des volumes pour résoudre les équations de Navier-Stokes et la méthode des ordonnées discrètes (quadrature S4) pour calculer l'information

radiative afin d'évaluer le transfert de chaleur par convection mixte en présence du rayonnement volumique dans un canal vertical. Ils ont conclu que les champs de vitesse et de température sont considérablement affectés par les paramètres de rayonnement. Dans le présent travail, nous menons une étude paramétrique sur la convection mixte en présence du rayonnement, pour évaluer les effets de certains paramètres tels que le nombre de Richardson (Ri) et de l'angle d'inclinaison du canal ( $\phi$ ) sur l'écoulement et sur la distribution de la température.

## 2. Description du problème

Le modèle physique considéré consiste en deux plaques verticales. Le fluide entre dans le canal avec la vitesse initiale  $U_\infty$  et la température initiale  $T_\infty$ , comme illustré sur la figure.1. Les deux parois ( $y = 0$  et  $y = L$ ) sont maintenues à température constante  $T_p$ . Les surfaces du canal sont supposées grises et diffuses. Le milieu extérieur du canal est considéré comme un corps noir ( $\epsilon=1$ ). Le fluide actif est newtonien, homogène, gris et participe à l'absorption, l'émission du rayonnement et isotropiquement diffusant. Pour mener à bien cette étude, nous avons utilisé une approche numérique basée sur un couplage de la LBM-MRT et la FDM pour déterminer respectivement les vitesses et la température. Cette approche a prouvé sa capacité à simuler plusieurs problèmes complexes. De plus l'originalité de ce travail se trouve dans l'utilisation de la LBM pour résoudre l'équation de transfert radiatif.

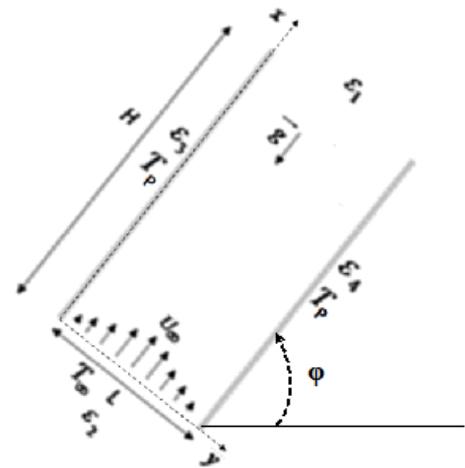


Figure.1 : Géométrie du problème

### 3. Résultats et discussion

Dans la présente section, les résultats objet de cette étude sont analysés avec un intérêt particulier en considérant l'effet de l'angle d'inclinaison  $\phi$  sur la convection mixte au sein du canal en présence du rayonnement volumique. Il s'agit principalement d'analyser les effets de l'intensité de la force de poussée traduite par le nombre de Richardson, et de l'angle d'inclinaison du canal sur les caractéristiques d'écoulement et du transfert de chaleur.

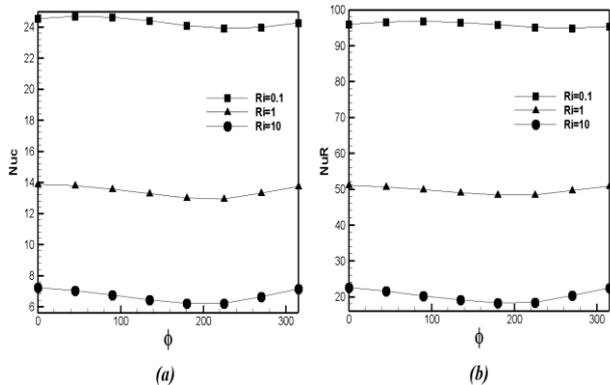


Figure 2 : Variation du nombre de Nusselt moyen convectif (a) et radiatif (b) en fonction de l'angle d'inclinaison des parois pour différents nombres de Richardson ( $Ra=10^5$ ,  $Pl=0.01$ )

La figure 2, illustre l'évolution du nombre de Nusselt moyen convectif (a) et radiatif (b) caractérisant le transfert de chaleur, en fonction des angles d'inclinaison  $\phi$  pour différentes valeurs du nombre de Richardson. L'analyse de cette figure, montre que l'inclinaison du canal a un faible effet sur les nombres de Nusselt convectif et radiatif, et par la suite sur le transfert de chaleur par convection et par rayonnement. En notant que les nombres de Nusselt tendent avec une légère pente vers un minimum au  $\phi = 225^\circ$ , puis augmente à nouveau pour atteindre la valeur maximale enregistrée pour  $\phi = 0^\circ$ .

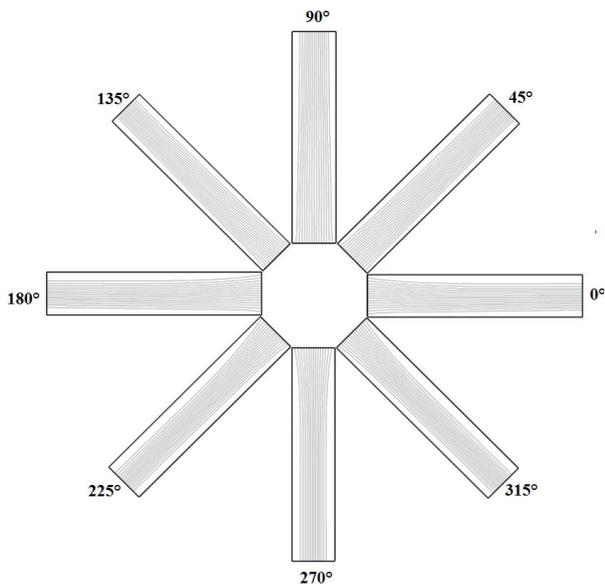


Figure 3.a : Effet de l'angle d'inclinaison sur les lignes de courant pour  $Ri=1$

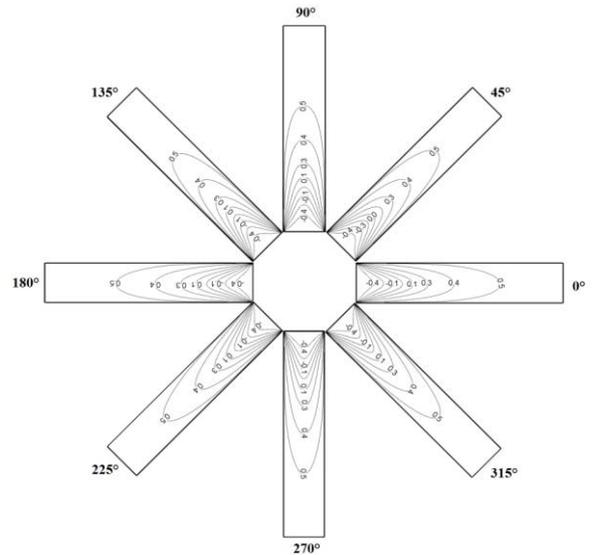


Figure 3.b : Effet de l'angle d'inclinaison sur les isothermes pour  $Ri=1$

Les figures 3.a et 3.b, illustrent l'effet de l'inclinaison  $\phi$  sur les lignes de courant et les isothermes pour le nombre de Richardson  $Ri=1$ . Les lignes de courant restent encore parallèles aux parois du canal et peu affectés de l'angle d'inclinaison. Les isothermes dans ce cas sont condensées à l'entrée du canal et le fluide actif atteint la température maximale à mi-distance du canal.

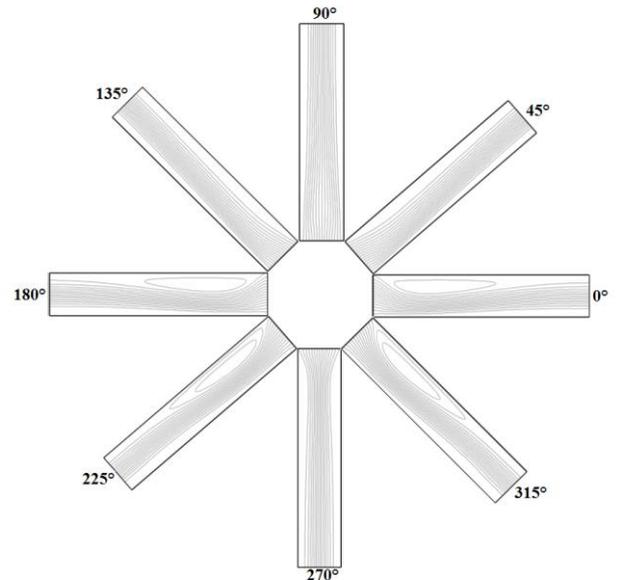


Figure 4.a : Effet de l'angle d'inclinaison sur les lignes de courant pour  $Ri=10$

Les figures 4.a et 4.b, illustrent l'effet de l'inclinaison  $\phi$  sur les lignes de courant et les isothermes pour le nombre de Richardson  $Ri=10$ . Les lignes de courant enregistrent l'apparition d'une cellule de recirculation près de la paroi supérieure pour les angles de  $0^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $225^\circ$  et  $315^\circ$ . Les isothermes sont très condensées à l'entrée du canal et le fluide actif atteint la température maximale juste après l'entrée du canal.

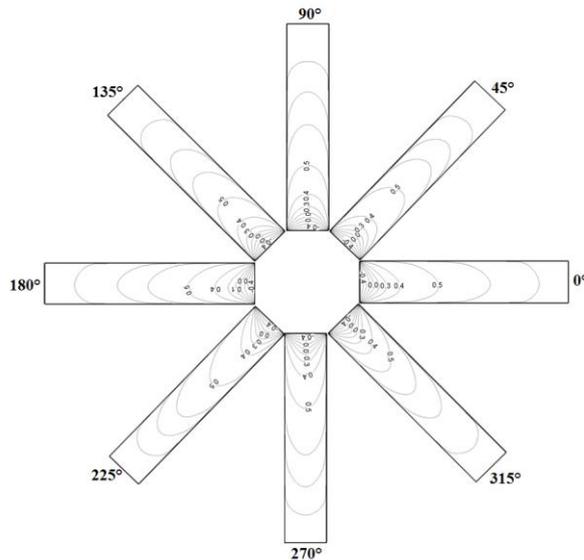


Figure 4.b : Effet de l'angle d'inclinaison sur les lignes de courant pour  $Ri=10$

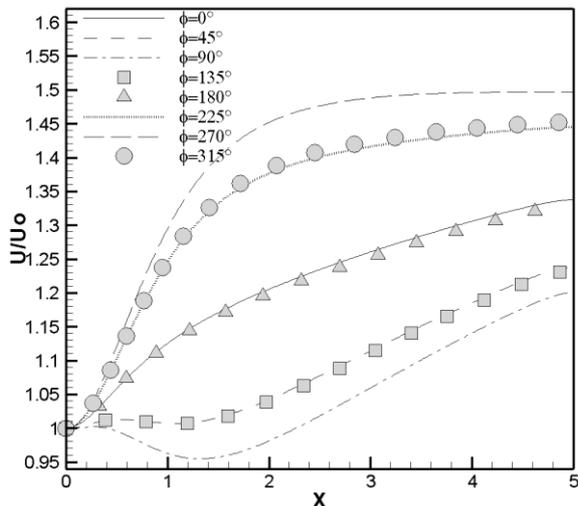


Figure 5 : Effet de l'angle d'inclinaison sur la vitesse médiane le long du canal pour  $Ri=1$

Le profil de la vitesse médiane le long du canal est décrit par les figures 5 et 6 pour les nombres de Richardson 1 et 10, respectivement. On a des profils identiques pour les couples d'angles d'inclinaisons  $0 \Leftrightarrow 180^\circ$ ,  $45^\circ \Leftrightarrow 135^\circ$ ,  $225^\circ \Leftrightarrow 315^\circ$  deux à deux, l'amplitude maximale de la vitesse médiane à la sortie du canal pour  $Ri=1$  est enregistrée pour l'angle d'inclinaison de  $270^\circ$  et  $0^\circ$  pour  $Ri=10$ . La vitesse minimale est donnée pour l'angle  $90^\circ$  pour les deux nombres de Richardson étudiés.

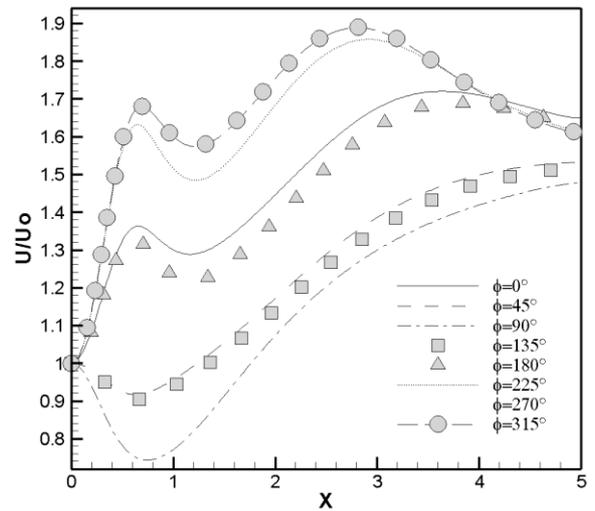


Figure 6 : Effet de l'angle d'inclinaison sur la vitesse médiane au long du canal pour  $Ri=10$

#### 4. Conclusion

Les principales conclusions tirées de cette étude sont :

- l'efficacité de la LBM dans la modélisation des écoulements et du transfert radiatif
- le rayonnement est un mode de transfert de chaleur non négligeable dans un milieu semi-transparent émettant, absorbant et diffusant.
- le transfert de chaleur est faiblement modifié par la variation de l'inclinaison du canal.
- les vitesses au sein du canal sont fortement modifiées par l'orientation du canal.

#### Références

- [1] J. D. Jackson, M.A. Cotton, B.P. Axcell, *Studies of mixed convection in vertical tubes*, Int. J. Heat Fluid Flow, Vol. 10, pp. 2-15, 1989.
- [2] G. Desrayaud, and G. Lauriat, *Flow reversal of laminar mixed convection in the entry region of symmetrically heated, vertical plate channels*. Int. J. Therm. Sci., Vol. 48, pp. 2036-2045, 2009.
- [3] H. Bouali and A. Mezrhab *Combined radiative and convective heat transfer in a divided channel*. Int. J. of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow Vol. 16 No. 1, pp. 84-106, 2006.
- [4] R. Li, M. Bousetta, E. Chénier, G. Lauriat, *Effect of surface radiation on natural convective flows and onset of flow reversal in asymmetrically heated vertical channels*. Int. J. of Thermal Sciences, Vol. 65, pp. 9- 27, 2013.
- [5] G. Camera-Roda, M. Bertela, F. Santarelli, *Mixed laminar convection in a participating irradiated fluid*, Numerical Heat Transfer Vol.8, pp. 429-447, 1985.
- [6] F. Bazdidi-Tehrani, H. Nazariipoor, *Buoyancy-assisted flow reversal and combined mixed convection–radiation heat transfer in symmetrically heated vertical parallel plates: Influence of two radiative parameters*, ScientiaIranica B, Vol. 18, pp. 974–985, 2011.