

ED SMAER

Sujet de thèses 2013

Laboratoire : LIMSI

Etablissement de rattachement : UPMC

Directeur de thèse et section CNU ou CNRS : Bérengère Podvin – Section 10 CNRS

Codirection et section CNU et CNRS :

Titre de la thèse : Simulations numériques de convection naturelle turbulente dans des fentes verticales

Collaborations dans le cadre de la thèse : LOMC – Le Havre

Résumé du sujet :

Les écoulements de convection naturelle sont présents aussi bien dans des systèmes naturels (manteau terrestre, océan, atmosphère, etc ...), qu'industriels. Ces écoulements sont de plus souvent soumis à des effets de rotations (rotation terrestres, procédés industriels).

La majorité des situations d'intérêt pratique concerne des écoulements en régime transitionnel et turbulent. L'objectif de la thèse est d'approfondir la connaissance fondamentale des mécanismes de la convection naturelle turbulente. On considérera pour cela un code de simulation numérique directe dans des géométries planes ou cylindriques où le gradient thermique est perpendiculaire à la gravité. La caractérisation du régime turbulent sera effectuée à partir de bilans d'énergie d'une part, et de l'identification de structures cohérentes d'autres part. Une validation avec des études précédentes en l'absence de rotation sera effectuée. L'influence de la rotation sur les différentes échelles de la turbulence sera alors mise en évidence. Les résultats obtenus seront comparés avec des expériences menées au LOMC (Le Havre).

Sujet développé : Simulations numériques de convection naturelle turbulente dans des fentes verticales

Contexte

Les écoulements de convection naturelle à haut nombre de Rayleigh sont présents aussi bien dans des systèmes naturels (manteau terrestre, océan, atmosphère, etc ...), qu'industriels. Ces écoulements sont de plus souvent soumis à des effets de rotations (rotation terrestres, procédés industriels).

La majorité des situations d'intérêt pratique concerne des écoulements en régime transitionnel et turbulent. La simulation numérique de ces écoulements requiert d'une part des algorithmes pour atteindre des capacités prédictives acceptables avec des résolutions spatiales raisonnables. Elle conduit d'autre part à la génération de grands volumes de données dont il convient d'extraire les caractéristiques essentielles, en vue de la modélisation, de la prédiction et du contrôle de ces écoulements.

La double origine thermique et cinétique des fluctuations rend particulièrement difficile la caractérisation de la turbulence (Betts and Bokhari 2000) [1]. La théorie de George and Capp [2] a fourni une première description du régime turbulent associé à l'écoulement le long d'une plaque plane chauffée. Cette théorie a récemment été adaptée au canal (Shiri and George 2008 [3]). La modélisation des petites échelles en convection naturelle reste un problème ouvert, qui ne peut se limiter à une stricte analogie avec le cas purement cinétique. Des études numériques (Boudjemadi et al. 1998 [4], Versteegh et al. 1998 [5]) ont permis de calculer les différentes contributions aux bilans d'énergie cinétique turbulente.

De plus, la description de ces écoulements à l'aide de structures cohérentes est bien moins avancée que celles des écoulements en l'absence de variations thermiques (couche limite turbulente). Les études de Wang et al. 2002 [6], ont permis d'établir l'existence de structures tourbillonnaires entre les plaques dans un régime de turbulence modérée. Grau et al. (2010) [7] ont montré en utilisant les moyennes conditionnelles que le transfert de chaleur était associé à des structures contra-rotatives. Des études récentes (Hall 2012 [8]) cherchent à représenter la dynamique de convection à l'aide d'un système réduit représentant l'interaction entre des ondes et des tourbillons localisés.

Objectifs

On se propose d'étudier les régimes d'écoulements différentiellement chauffés à haut nombres de Rayleigh dans des géométries planes ou cylindriques où le gradient thermique est perpendiculaire à la gravité. Ce type d'écoulement est beaucoup moins documenté que la convection turbulente de Rayleigh-Bénard ou la turbulence de paroi. On se placera dans des géométries où le confinement latéral (fente verticale) implique l'apparition d'un régime de turbulence pleinement développé.

L'objectif de la thèse est d'approfondir la connaissance fondamentale des mécanismes de la convection naturelle turbulente, en présence ou non de rotation. Cette étude sera conduite à l'aide d'un code de simulation numérique directe. Elle s'inscrit dans le prolongement d'un travail réalisé à Rayleigh modéré, qui a cherché à déterminer la route de l'écoulement vers le chaos [9]. En particulier on s'intéressera à déterminer les bilans d'énergie, qui constituent une base pour la modélisation de la convection naturelle turbulente. On cherchera également à identifier les structures cohérentes et leurs interactions avec les petites échelles.

Résultats attendus

Ce travail s'appuie sur des approches statistiques. Les bilans énergétiques seront établis à partir de statistiques en un point. Les contributions à ces bilans constitueront un support à l'élaboration de modèles de turbulence. Les statistiques du second ordre seront calculées en vue d'une application de la POD et également de la DMD. Les petites échelles seront caractérisées à partir de statistiques d'ordre élevé. On s'attachera en particulier à la description des échelles énergétiques et leur influence sur les petites échelles. La description de l'écoulement à l'aide de structures cohérentes pourra éventuellement conduire à la dérivation d'un modèle dynamique d'ordre faible.

Trois étapes peuvent être identifiées dans le déroulement de la thèse :

- 1) La première étape consistera à prendre en main un code de simulation numérique tridimensionnelles existant pour une géométrie cartésienne et à caractériser le régime de convection naturelle entre les plaques. On s'attachera d'une part aux bilans énergétiques. En particulier, on s'attachera à décrire les lois d'échelles thermiques : variance, flux turbulent, en se référant aux travaux théoriques de George and Capp (1979)[1] et de Shiri and George (2008)[2]. les résultats attendus seront comparés avec [4,5] et pourront constituer une base de données en vue du développement de modèles de turbulence. On fournira d'autre part une description multi-échelles de l'écoulement. Le choix des dimensions périodiques des plaques sera validé par rapport à des études précédentes [9].
- 2) La deuxième étape consistera à étendre ces résultats à une géométrie cylindrique - il s'agit de convection naturelle entre deux cylindres maintenus à des températures différentes. Cette configuration a été étudiée à bas Rayleigh par Abcha et al. [10] Cette étape nécessitera une adaptation du code numérique à la fois pour le maillage, les équations à résoudre et les conditions aux limites. Une comparaison avec le cas cartésien sera établie. La comparaison concernera les statistiques de la turbulence, qui pourront aussi être comparées avec [4,5], et également les structures cohérentes identifiées dans l'écoulement.
- 3) La troisième étape est conditionnelle à la complétion des deux premières. Elle consistera à prendre en compte les effets de rotation dans la géométrie cylindrique. Ceci correspond à une modification des équations (terme de forçage supplémentaire) et des conditions aux limites. On mettra d'une part en évidence l'évolution des diverses contributions aux bilans énergétiques, et on cherchera à établir une correspondance avec les modifications des structures cohérentes de l'écoulement. Une comparaison avec les travaux en cours au LOMC (le Havre) sur l'écoulement de Taylor-Couette différentiellement chauffé sera mise en place.

Références

[1] Betts, P., and Bokhari, I., 2000. "Experiments on turbulent natural convection in an enclosed tall cavity". International Journal of Heat and Fluid Flow, 21(6), pp. 675 – 683

[2] George, W. K. J., and Capp, S. P., 1979. "A theory for natural convection turbulent boundary layers next to heated vertical surfaces.". International Journal of Heat and Mass Transfer, 22(6), June, pp. 813 – 826

[3] Shiri, A. and George, WK, 2008 "Turbulent natural convection in a differentially heated vertical channel", Proceedings of 2008 ASME Summer Heat Transfer Conference

[4] Boudjemadi, R., Maupu, V., Laurence, D., Le Quere, P. 1997 "Budgets of turbulent stresses and fluxes in a vertical slot natural convection flow at Rayleigh $Ra=10^5$ and 5.4×10^5 " Int. J. Heat Fluid Flow, 18, 70-79.

[5] Versteegh, T., and Nieuwstadt, F., 1998. "Turbulent budgets of natural convection in an infinite, differentially heated vertical channel". International Journal of Heat and Fluid Flow, 19(2), pp. 135 – 149.

[6] Wang, M. Fu, S. and Zhang, G., 2002 « Large-scale spiral structures in turbulent thermal convection between two vertical plates », Phys. Rev. E 66, 066306

[7] Pallares, J., Vernet, A, Ferre, J.A., and Grau, F.X. , 2010, « Turbulent large-scale structures in natural convection vertical channel flow » , Int J. Heat Mass Transf 53 (19-20) :8

[8] Hall, P., 2012, « Vortex–wave interactions: long-wavelength streaks and spatial localization in natural convection » Journal of Fluid Mechanics, Volume 703, pp 99-110

[9] Z. Gao, B. Podvin, A. Sergent, S. Xin, P. Le Quéré, L. Tuckerman, 2012, «On the transition to chaos of natural convection between two infinite differentially heated vertical plates », soumis à Physical Review E.

[10] Pécheux, J., Le Quéré, P., Abcha, F., 1994 « Curvature effects on axisymmetric instability of conduction regime in a tall air-filled annulus », Physics of Fluids, 6(10), 3247-3255

- [\[Google Scholar\]](#)