

Les branches d'hystérésis et les régimes transitionnels de la convection pénétrante dans la couche d'eau

D. KUZNETSOVA^a, I. SIBGATULLIN^b

a. *Institut de Mécanique de l'Université d'État Lomonossov de Moscou*

b. *Institut de Mécanique de l'Université d'État Lomonossov de Moscou*

Mots clefs : convection, maximum de densité, chaos

1 Introduction

L'interaction des régions stables et instables d'un fluide provoque un phénomène nommé "la convection pénétrante", ceci se produit lorsque des perturbations sortent de la région instable pour pénétrer dans la région stable. Dans cette étude, nous examinons ce type de convection dans le cas d'une couche horizontale bidimensionnelle d'eau se trouvant à des températures proches de celle correspondant au maximum de densité (4°C). Dans l'état conducteur, deux sous-couches peuvent être définies : l'une est en dessous du plan horizontal de la densité maximale, l'autre est au dessus, respectivement appelées sous-couche statiquement instable et sous-couche statiquement stable.

Nous imposons comme conditions aux limites des températures constantes et des contraintes tangentielles nulles. La dépendance densité-température est définie comme une fonction quadratique avec un maximum à 4°C conformément à [4]. La solution est supposée être périodique spatialement, les conditions aux limites verticales d'un domaine de périodicité sont des contraintes tangentielles nulles. Pour décrire le mouvement, nous utilisons les équations de Navier-Stokes dans l'approximation de Boussinesq.

La longueur de période a été choisie grâce à des simulations préliminaires et à la suite d'une étude de la stabilité sur de grandes longueurs. Nous observons l'évolution des régimes avec l'augmentation du nombre de Rayleigh (correspondant à l'augmentation de la différence des températures aux limites), le rapport entre la hauteur de la sous-couche statiquement stable et celle de la sous-couche statiquement instable est fixé. La méthode pseudo-spectrale a été utilisée en faisant varier le nombre d'harmoniques de Fourier jusqu'à 1024x528.

2 Résultats

La transition de l'état conducteur à l'état stochastique a été entièrement examinée dans la situation où les hauteurs de la sous-couche statiquement stable et de la sous-couche statiquement instable sont égales. Les propriétés de l'apparition du régime stationnaire sont étudiées, y compris l'instabilité d'amplitude finie et l'existence de branches d'hystérésis (Fig. 1).

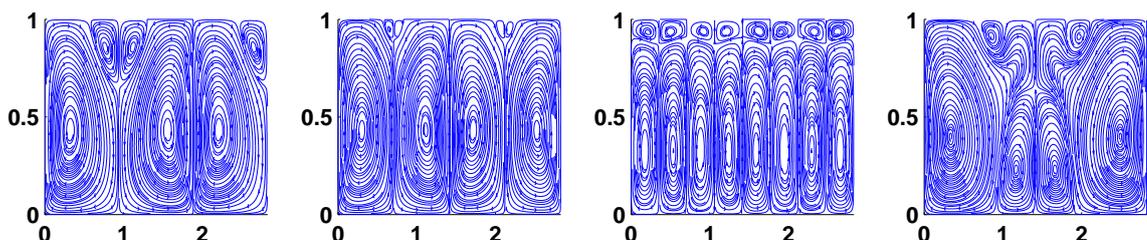


FIGURE 1 – Lignes de courant correspondant aux régimes stationnaires de la convection pénétrante

Les propriétés des régimes périodiques avec des oscillations caractéristiques des profils de température sont montrées. Sur l'une des branches d'hystérésis la transition au chaos a lieu : après le mouvement périodique, la bifurcation souscritique de Neimark–Sacker se produit [2]. De ce fait, le régime quasi périodique devrait apparaître, mais à cause de la synchronisation des fréquences, le régime périodique-2 sur un tore apparaît. Ce régime est accompagné d'une perte de symétrie par rapport à la ligne verticale se trouvant au milieu du domaine de calcul. Ensuite, des régimes quasi périodiques se manifestent. L'existence de régimes intermittents nous intéresse particulièrement. Pour la convection classique de Rayleigh–Bénard, l'intermittence existe sur un fond de régime périodique [1, 3], mais dans le cas de la convection pénétrante nous obtenons une nouvelle propriété : l'intermittence sur un fond de mouvement quasi périodique (Fig. 2). Avec la croissance du nombre de Rayleigh, après l'intermittence, un nouveau régime quasi périodique apparaît. Puis l'intermittence se manifeste de nouveau, désormais sur le fond de ce nouveau régime.

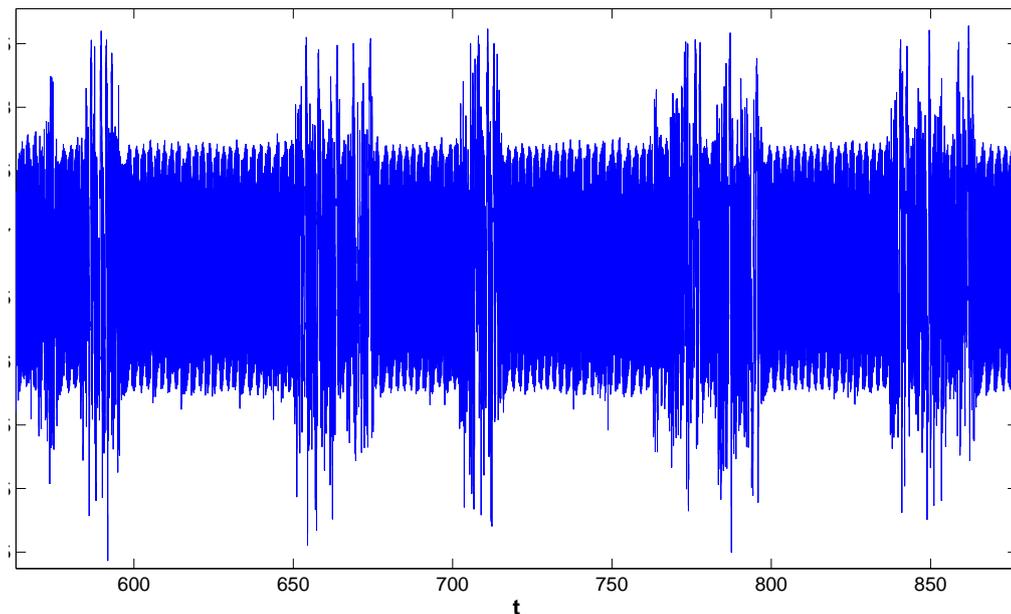


FIGURE 2 – Régime intermittent. Nombre de Nusselt en fonction de temps

3 Conclusions

Cette recherche permet de découvrir des particularités résultant du maximum de densité et de décrire le scénario de la transition au chaos dans la convection pénétrante.

Remerciements

Les simulations ont été réalisées par les supercalculateurs de l'Université Lomonossov de Moscou. L'étude a été soutenue par l'Organisation Russe de la Recherche Fondamentale, projet 12-01-31460 mol_a.

Références

- [1] Bergé P., Dubois M., Manneville P., and Pomeau Y. 1980 Intermittency in Rayleigh–Bénard convection. *Phys. Lett.* **41** L341-L345
- [2] Kuznetsova D.V., and Sibgatullin I.N. 2012 Transitional regimes of penetrative convection in a plane layer. *Fluid Dyn. Res.* **44** 031410
- [3] Manneville P., and Pomeau Y. 1979 Intermittency and the Lorenz model. *Phys. Lett. A.* **75** 1-2
- [4] Veronis, G. 1963 Penetrative convection. *Astrophys. J.* **137** 641-663