

**Position de post-doctorant au CORIA, Rouen.**  
**Ouverture à partir de Octobre 2013**

**Turbulence Thermohydrodynamique dans le système de Couette-Taylor**

**Collaboration I. Mutabazi-L. Danaila**

Le système de Couette-Taylor, constitué de deux cylindres coaxiaux en rotation différentielle, est un système hydrodynamique modèle, qui a permis de faire beaucoup de progrès dans la compréhension de la transition vers la turbulence, il fut le premier système hydrodynamique qui a validé le scénario de transition vers le chaos temporel de Ruelle-Takens [Gollub & Swinney, 1975]. Si l'écoulement de Couette-Taylor a fait l'objet d'un certain nombre d'études concernant la transition à la turbulence [Andereck], peu parmi elles ont concerné le régime turbulent proprement dit (que ce soit la turbulence douce («soft turbulence») ou la turbulence dure («hard turbulence») : Lathrop & Swinney [1992], Eckhardt [2007], Dubrulle [2002,2005]). Lorsque l'écoulement de Couette-Taylor est soumis à un gradient radial de température pour réaliser de la convection mixte, on trouve quelques études très anciennes avec des lois d'échelles qui ne rendent pas compte de la réalité, compte tenu de récents développements dans l'instrumentation de vélocimétrie ou de thermographie [Kreith, 1968]. Or, c'est cette convection mixte qui est fortement représentative des applications industrielles, notamment en turbomachines (où, la forte rotation est accompagnée d'un fort chauffage de certains composants) [Long, 1994,2007]. En convection mixte, le comportement global du système peut être décrit par le nombre de Nusselt  $Nu$  (rapport entre le flux de chaleur par convection et le flux de chaleur de conduction). Une première question est la dépendance du Nusselt des paramètres hydrodynamiques : Reynolds ( $Re$ , mesure du taux de rotation) et du nombre de Grashof ( $Gr$ , mesure du gradient thermique) et de la nature du fluide ( $Pr$ ). Ces dépendances sont souvent appelées des 'lois d'échelles', ou des 'corrélations'. Il existe actuellement quelques prédictions pour ces corrélations  $Nu = f(Re, Pr)$  et  $Nu = g(Gr, Pr)$  dédiées notamment à la géométrie classique de convection naturelle de Rayleigh-Bénard [Ahlers, Castaing]. Mais, beaucoup reste à faire pour la convection mixte dans le système de Couette-Taylor, qui se distingue des études classiques par sa géométrie particulière (avec beaucoup de symétries à briser). Nous visons particulièrement la réalisation d'un écoulement très bien contrôlé, même en régime de convection mixte.

La théorie récemment développée par le groupe d'Eckhardt [2000, 2007] a dressé l'analogie de la turbulence dans les écoulements de Couette-Taylor, par rapport à celle de la convection de Rayleigh-Bénard et de celle de Hagen-Poiseuille [Barkley, 2011]. Cette théorie permet de relier les grandeurs théoriques à des quantités mesurables en introduisant un nombre de Nusselt universel (associé au couple ou au courant de vorticité) dont on peut étudier la variation en fonction des paramètres de contrôle de l'écoulement,  $Re$  et  $Gr$ . La théorie d'Eckhardt est développée uniquement pour l'écoulement de Couette-Taylor.

Notre projet a pour objectif d'étendre le modèle d'Eckhardt à la convection mixte, donc en prenant en compte en plus les effets de la température, dans le système de Couette-Taylor en vue d'aboutir aux corrélations  $Nu = F(Re, Gr; Pr)$ .

**Le post-doctorant recruté contribuera essentiellement à cette partie.**

Différents régimes d'écoulement seront identifiés, en fonction des phénomènes physiques présents dans les différentes gammes  $Re$  et  $Gr$ . Une attention particulière sera portée au comportement aux grandes valeurs de  $Re$  et  $Gr$  (qui seront accessibles via notre installation expérimentale) que nous comparerons aux prédictions théoriques disponibles (e.g. Kraichnan, pour le 'régime ultime'). Pour cela, un système expérimental de Couette-Taylor de grande dimension avec un grand écart de température sera construit en vue d'atteindre des valeurs de  $Gr \sim 10^5$  et de  $Re \sim 10^6$ . Les études menées actuellement au Havre montrent que la turbulence thermique apparaît dès que le nombre de Grashof dépasse  $10^4$  [Lepiller, 2007]. Un projet de demande de grand équipement de recherche (DIAMECO) a été déposé dans le cadre de l'appel à projets « Energies Haute-Normandie ».

- [1] J. P. Gollub and H. L. Swinney, Onset of turbulence in a rotating fluid, *Phys. Rev. Lett.* **35**, 927–30 (1975).
- [2] C.D. Andereck, S.S. Liu and H. L. Swinney, Flow regimes in a circular Couette system with independently rotating cylinders, *J. Fluid Mech.* **164**, 155-183 (1986).
- [3] A. Goharzadeh & I. Mutabazi, Experimental characterization of intermittency regimes in the Couette-Taylor system, *Eur. Phys. J. B* **19**, 157{162 (2001).
- [4] A. Goharzadeh & I. Mutabazi, The phase dynamics of spiral turbulence in the Couette-Taylor system, *Eur. Phys. J. B* **66**, 81–84 (2008).
- [5] D.P. Lathrop, J. Feinberg & H.L. Swinney, Turbulent flow between concentric rotating cylinders at large Reynolds numbers, *Phys. Rev. Lett.* **68**, 1515-1518 (1992).
- [6] S. Grossmann and D. Lohse, Scaling in thermal convection: a unifying theory, *J. Fluid Mech.* **407**, 27-56 (2000).
- [7] B. Eckhardt, S. Grossmann & D. Lohse, Fluxes and energy dissipation in thermal convection and shear flows, *Europhys. Lett* **78**, 24001 (2007)
- [8 ] B. Eckhart, S. Grossmann & D. Lohse, Torque scaling in turbulent Taylor-Couette flow between independently rotating cylinders, *J. Fluid Mech.* **581**, 221-250 (2007).
- [9] B. Dubrulle, F. Hersant, Momentum Transport and Torque Scaling in Taylor-Couette from the analogy with turbulent convection, *Eur.Phys. J. B.* **26**, 379-386 (2002)
- [10] B. Dubrulle, O. Dauchot, F. Daviaud, P-Y. Longaretti, D. Richard & J.P. Zahn, *Phys. Fluids* **17**, 095103 (2005)
- [11] B. Castaing, G. Gunaratne, F. Heslot, L. Kadanoff, A. Lihchaber, S. Thomae, X.Z. Wu, S; Zaleski & G. Zanetti, Scaling of hard thermal turbulence in Rayleigh-Bénard convection, *J. Fluid Mech.* **204**, 1-30 (1989).
- [12] M. Gibert, H. Pabiou, F. Chillà & B. Castaing, High-Rayleigh number convection in a vertical channel, *Phys. Rev. Lett.* **96**, 084501 (2006).
- [13] S. Ciliberto, S. Cioni & C. Laroche, Large-scale flow properties of turbulent thermal convection, *Phys. Rev. E* **54**, R5901-R5904 (1996).
- [14] F. Kreith, Convection heat transfer in rotating systems, *In advances in heat transfer*, Academic press New-York, 129-251(1968).

- [15] C.A. Long, Disk heat transfer in a rotating cavity with an axial throughflow of cooling air, *Int. J. Heat and Fluid Flow* **15**, 307-316 (1994).
- [16] C.A. Long, N.D.D. Miché & P.R.N. Childs, Flow measurements inside a heated multiple rotating cavity with axial throughflow, *Int. J. Heat and Fluid Flow* **28**, 1391-1404 (2007).
- [17] G. Ahlers, S. Grossmann & D. Lohse, Heat transfer & large-scale dynamics in turbulent Rayleigh-Bénard convection, *Rev. Mod. Phys.* **81**, 503 (2009).
- [18] R.H. Kraichnan, Turbulent thermal convection at arbitrary Prandtl number, *Phys. Fluids* **5**, 1374-1389 (1962).
- [19] D. Barkley, Simplifying the complexity of pipe flow, *Phys. Rev. Lett.* 2011.
- [20] V. Lepiller, A. Prigent, F. Dumouchel & I. Mutabazi, Transition to turbulence in a tall annulus submitted to a radial temperature gradient, *Phys. Fluids* **19**, 054101(2007).
- [21] A. Bahloul, I. Mutabazi & A. Ambari, Codimension 2 points in the Couette flow with a radial temperature gradient, *Eur. Phys. J. AP.* **9** (3), 253 (2000).
-