



15 parvis René-Descartes BP 7000, 69342 Lyon cedex 07 Tél. +33 (0)4 37 37 60 00

Proposition de thèse

Imagerie d'écoulements cryogéniques : convection turbulente et ondes internes dans l'hélium liquide

www.ens-lyon.fr

Direction de thèse Julien Salort et Francesca Chillà

Laboratoire Laboratoire de physique de l'ENS de Lyon, UMR 5672

Contact julien.salort@ens-lyon.fr

Financement Contrat doctoral CNRS financé par l'ANR (projet « Jeune chercheur » : CryoGrad)

Calendrier La thèse peut démarrer à la rentrée 2019

Les gradients de densité apparaissent naturellement dans les océans, l'atmosphère ou l'intérieur des étoiles. Lorsqu'ils sont stables, ils sont le support d'ondes de gravité interne. Lorsqu'ils sont instables, ils sont à l'origine de structures cohérentes, les panaches. L'interaction des panaches donnent naissance à une circulation à grande échelle et à la turbulence. Ces phénomènes ne sont pas encore bien compris, mais sont d'une importance majeure pour modéliser le mélange et le transport d'énergie dans les écoulements géophysiques.

Cependant, la plupart des expériences modèles au laboratoire ne peuvent pas dépasser quelques mètres. Elles sont souvent mises en œuvre à l'aide d'eau salée (pour les ondes internes), et d'eau ou d'air (pour la convection turbulente). Par conséquent, les paramètres obtenus, comme le nombre de Reynolds ou le nombre de Rayleigh, sont éloignés de ceux des phénomènes naturels.

C'est pourquoi nous proposons de développer des expériences dans des fluides dont la viscosité est beaucoup plus faible, comme l'hélium cryogénique et le fluorocarbone. L'utilisation d'hélium cryogénique dans des cellules de convection a permis d'atteindre les plus grands nombres de Rayleigh de laboratoire, et de mettre en évidence des régimes asymptotiques [1].

L'originalité de l'approche proposée à Lyon est de développer pour la première fois une cellule de convection cryogénique conçue pour l'imagerie. Pour cela, nous adapterons la technique d'ombroscopie et celle de strioscopie synthétique, bien connues au laboratoire pour la visualisation de panaches et pour l'étude des ondes internes, au cas de l'hélium liquide. Cela permettra une mesure du champ de température, ainsi que l'observations d'ondes internes, inédites en hydrodynamique cryogénique.

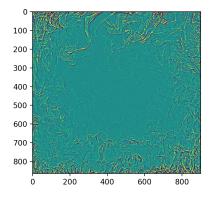


Figure 1 : Image d'ombroscopie obtenue pendant le stage de Laura Guislain (L3 ENSL) dans une cellule de Rayleigh-Bénard remplie d'eau à un nombre de Rayleigh $Ra = 3 \times 10^{10}$. Le champ obtenu est proportionnel au Laplacien de la température. Il donne une image de la dissipation thermique locale et permet de visualiser les panaches turbulents.



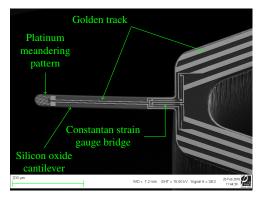


La première partie du travail de thèse portera sur l'étude du comportement collectif des panaches thermiques dans l'hélium à des nombres de Rayleigh extrêmes. L'objectif est de tester les modèles proposés pour expliquer le régime ultime de la convection [2]. La comparaison avec des expériences à température ambiante (avec l'eau et avec du fluorocarbone) permettra aussi la comparaison directe des propriétés de la turbulence produite purement par le cisaillement et flottabilité à très grand nombre de Rayleigh, avec celle produite par une surface rugueuse à des nombres de Rayleigh plus modérés [3, 4]. Un cryostat plus grand que le petit cryostat actuel sera construit, et l'étudiant•e en thèse pourra participer à sa conception.



Figure 2 : Cryostat en verre actuel, monté sur table optique, pour les études préliminaires.

Les mesures par visualisation pourront être complétées par des mesures locales à l'aide d'un détecteur de flux de chaleur micro-fabriqué, conçu sur le principe d'un micro-levier et réalisé en salle blanche [5]. Ce détecteur permettra de mesurer la quantité de chaleur transportée les panaches dans l'hélium et dans le fluorocarbone, et donnera accès aux corrélations croisées entre vitesse et température à petite échelle.



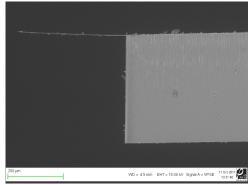


Figure 3 : Images au microscope électronique à balayage d'un micro-levier en silice (1.2 µm d'épaisseur, environ 300 µm de longueur), sur lequel un pont de jauge de contrainte et un thermomètre à résistance de platine ont été structurés en couche mince. À gauche : vue du dessus. À droite : vue de côté.

La deuxième partie du travail de thèse, plus exploratoire, consistera à développer la première expérience de laboratoire avec une stratification stable dans l'hélium liquide. Le but est de travailler avec un dispositif en grande partie analogue à celui mis en œuvre pour la convection, mais en renversant le gradient. Un système de génération d'onde interne cryogénique devra être mis au point, par exemple avec une méthode simple comme celle du cylindre oscillant. Cette partie sera réalisée en collaboration avec Thierry Dauxois.





Références

- [1] X. Chavanne, F. Chillà, B. Chabaud, B. Castaing et B. Hébral. Turbulent Rayleigh-Bénard convection in gaseous and liquid He. *Phys. fluids* 13.5 (2001), p. 1300-1320.
- [2] P.-E. Roche, F. Gauthier, R. Kaiser et J. Salort. On the triggering of the ultimate regime of convection. *New J. Phys.* 12 (2010), p. 085014.
- [3] J. Salort, O. Liot, E. Rusaouen, F. Seychelles, J.-C. Tisserand, M. Creyssels, B. Castaing et F. Chillà. Thermal boundary layer near roughnesses in turbulent Rayleigh-Bénard convection: flow structure and multistability. *Phys. Fluids* 26 (2014), p. 015112.
- [4] O. Liot, J. Salort, R. Kaiser, R. du Puits et F. Chillà. Boundary layer structure in a rough Rayleigh-Bénard cell filled with air. *J. Fluid Mech.* 786 (2016), p. 275-293.
- [5] J. Salort, E. Rusaouen, L. Robert, R. du Puits, A. Loesch, P.-E. Roche, B. Castaing et F. Chillà. A local sensor for joint temperature and velocity measurements in turbulent flows. *Rev. Sci. Instrum.* 89 (2018), p. 015005.



