

Proposition de stage M2

avec possibilité de continuer en thèse sur un sujet élargi

Imagerie de température et dynamique de panaches en convection Rayleigh-Bénard turbulente

— Francesca Chillà et Julien Salort —

Été 2017

1 Contexte scientifique

La convection thermique turbulente constitue un problème non-linéaire complexe, omniprésent dans de nombreuses situations naturelles (CHILLÀ et SCHUMACHER 2012). L'énergie est injectée à toutes les échelles par des structures, appelées *panaches thermiques*, qui se forment par instabilité de la couche limite qui existe au voisinage des bords. Il est fondamental de comprendre les mécanismes de germination des panaches, leur interaction avec un cœur turbulent, et la dynamique du forçage thermique local qu'ils induisent.

La cellule de Rayleigh-Bénard, constituée d'une couche de fluide entre deux plaques horizontales, chaude en bas, et froide en haut, est un système modèle intéressant pour aborder ces questions : il s'agit d'une couche de fluide de hauteur h , confinée entre deux plans horizontaux, la convection est alors entretenue par la différence de température constante entre les deux plans, avec la température de la plaque du bas, T_b , plus élevée que celle de la plaque du haut, T_h . L'intensité du forçage est alors contrôlé par un nombre sans dimension, le nombre de Rayleigh, Ra ,

$$Ra = \frac{g\alpha(T_b - T_h)h^3}{\nu\kappa}, \quad (1)$$

où g est l'accélération de la pesanteur, α est le coefficient d'expansion thermique, ν est le viscosité cinématique et κ la diffusivité thermique.

Lorsque le nombre de Rayleigh est suffisamment grand, l'écoulement obtenu devient turbulent ; la question de la déstabilisation de la couche limite et ses conséquences sur la dynamique du système est une question encore largement ouverte. En effet, les systèmes expérimentaux qui permettent d'atteindre des nombres de Rayleigh suffisamment élevés, comme la grande cellule de 1 m à l'ENS de Lyon, la cellule d'hexafluorure de soufre dans une enceinte pressurisée à Göttingen ou les cellules cryogéniques à Grenoble, n'ont généralement aucune possibilité d'accès optique. L'étude de l'écoulement repose alors sur des mesures globales d'efficacité de transfert thermique, et sur des mesures locales à l'aide de petits capteurs insérés dans la cellule. L'analyse des statistiques de fluctuations locales est un outil très riche pour comprendre la structure locale de l'écoulement.

L'approche alternative que nous menons au laboratoire consiste à perturber la couche limite à l'aide de rugosités contrôlées, afin d'observer des régimes intenses dans des systèmes de dimension plus modérée, et avec des accès optiques. Les mesures récentes (SALORT et al. 2014 ; LIOT et al. 2016) ont été fructueuses (voir figure 1), mais l'étude de l'interaction entre panaches thermiques appelle à développer la visualisation du champ de température et des panaches qui naissent au voisinage des rugosités.

2 Travail proposé

L'étudiant en stage devra mettre en œuvre la technique de strioscopie synthétique (ou *Schlieren*). Il s'agit de mesurer les gradients d'indice optique induits par les différences de densité entre le fluide chaud

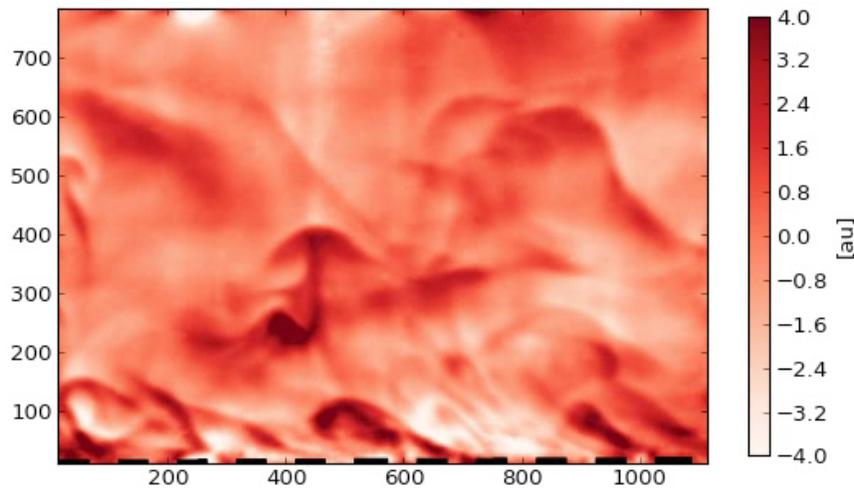


FIGURE 1 – Champ de température instantané obtenu par strioscopie synthétique au voisinage d'une plaque chaude rugueuse.

et le fluide froid. Cette technique s'est déjà révélée fructueuse (SALORT et al. 2014; CHILLÀ, CILIBERTO et al. 1993), et pourra être menée plus loin dans dans une nouvelle cellule aux parois adaptées mise en œuvre. Il s'agit de pouvoir établir une cartographie des fluctuations de température à l'échelle de la cellule, et les statistiques d'émission de panaches au voisinage de la paroi.

Les images obtenues pourront être traitées sur le mésocentre de calcul de l'école, le PSMN, à l'aide d'un algorithme de corrélation d'image, implémenté dans la suite CIVx de FINCHAM et DELERCE (2000). L'étudiant sera donc également amené à se familiariser avec les outils informatiques de traitement adaptés aux gros volumes de données expérimentales.

Ces mesures pourront être complétées par des mesures locales de température à l'aide de thermistance miniature (200 μm de diamètre). Nous disposons déjà des champs de vitesse obtenus par PIV (*Particle Image Velocimetry*). L'étudiant aura accès à ce corpus de données et pourra croiser les informations entre les nouvelles mesures qu'il aura menées et les autres mesures dont nous disposons, dans le but d'obtenir une cartographie des flux locaux dans la cellule et de faire progresser la compréhension de la dynamique des transferts d'énergie, du rôle des panaches thermiques et de leur interaction avec le cœur turbulent.

3 Bibliographie

- CHILLÀ, F., S. CILIBERTO, C. INNOCENTI et E. PAMPALONI (1993). « Boundary Layer and Scaling Properties in Turbulent Thermal Convection ». In : *Il Nuovo Cimento D* 15.9, p. 1229. DOI : [10.1007/BF02451729](https://doi.org/10.1007/BF02451729).
- CHILLÀ, F. et J. SCHUMACHER (2012). « New perspectives in turbulent Rayleigh-Bénard convection ». In : *Eur. Phys. J. E* 35, p. 58. DOI : [10.1140/epje/i2012-12058-1](https://doi.org/10.1140/epje/i2012-12058-1).
- FINCHAM, A. et G. DELERCE (2000). « Advanced optimization of correlation imaging velocimetry algorithms ». In : *Exp. Fluids Suppl.* 29, S13–S22. DOI : [10.1007/s003480070003](https://doi.org/10.1007/s003480070003).

- LIOT, O., J. SALORT, R. KAISER, R. du PUIITS et F. CHILLÀ (2016). « Boundary layer structure in a rough Rayleigh-Bénard cell filled with air ». In : *J. Fluid Mech.* 786, p. 275–293. DOI : [10 . 1017 / jfm . 2015 . 649](https://doi.org/10.1017/jfm.2015.649).
- SALORT, J., O. LIOT, E. RUSAOUEN, F. SEYCHELLES, J.-C. TISSERAND, M. CREYSSELS, B. CASTAING et F. CHILLÀ (2014). « Thermal boundary layer near roughnesses in turbulent Rayleigh-Bénard convection : flow structure and multistability ». In : *Phys. Fluids* 26, p. 015112. DOI : [10 . 1063 / 1 . 4862487](https://doi.org/10.1063/1.4862487).