

15 parvis René-Descartes  
BP 7000, 69342 Lyon cedex 07  
Tél. +33 (0)4 37 37 60 00  
[www.ens-lyon.fr](http://www.ens-lyon.fr)

## Proposition de stage L3/M1 Étude locale d'un panache turbulent

**Direction de stage** Julien Salort & Francesca Chillà  
**Laboratoire** Laboratoire de physique de l'ENS de Lyon, UMR 5672  
**Contact** [julien.salort@ens-lyon.fr](mailto:julien.salort@ens-lyon.fr)

La convection thermique turbulente est un phénomène courant dans la nature et dans l'industrie. Elle est le résultat de l'interaction de structures cohérentes appelés *panaches* qui se forment par instabilité des couches limites. Ces panaches interagissent car ils sont advectés dans le champ de vitesse généré par l'ensemble des autres panaches. Ces interactions donnent naissance à un écoulement à grande échelle (ou *vent*) qui produit un cisaillement et peut lui-même conduire à la turbulence.

Les panaches, à petite échelle, produisent un écoulement grande échelle. La turbulence, forcée à grande échelle, transfère l'énergie vers des échelles plus petites. L'écoulement obtenu est fortement inhomogène et anisotrope, et met en jeu de nombreuses échelles. La dynamique de ce système, dans la limite des grands forçages est encore mal connue.

Un point important est la physique à l'échelle d'un panache, et la caractérisation de l'interaction entre panaches turbulents. La dynamique d'un panache laminaire a été beaucoup étudiée, mais est différente de celle d'un panache turbulent. Aussi, nous nous proposons d'étudier la dynamique d'un panache ou d'une assemblée de panaches dans l'hélium cryogénique et dans le fluorocarbone qui permettent d'obtenir des panaches turbulents.

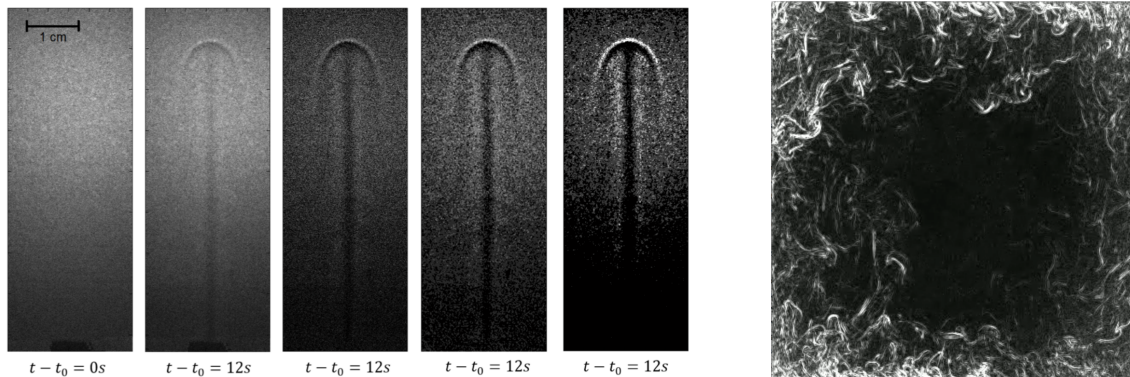


Figure 1 : À gauche, image d'un panache laminaire seul obtenu par ombroscopie (stage de Thibaut Clément, 2017). À droite, image des panaches turbulents dans une cellule de Rayleigh-Bénard à  $Ra \sim 10^{10}$  (stage de Laura Guislain, 2018).

Nous proposons deux méthodes d'analyse : une méthode optique basée sur la visualisation de gradients de densité par ombroscopie ou schlieren (voir figure 1), et une méthode locale qui s'appuie sur un capteur de flux de chaleur local, conçu sur le principe d'un micro-levier, et fabriqué en salle blanche (voir figure 2) [1].

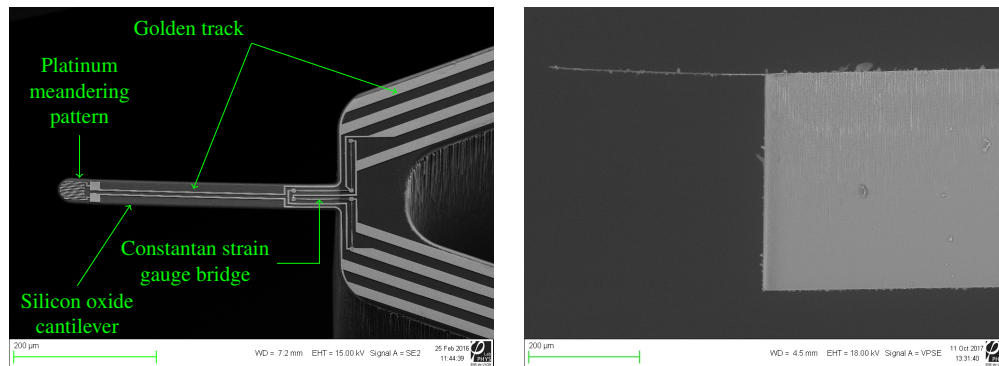


Figure 2 : Images au microscope électronique à balayage d'un micro-levier en silice ( $1.2\ \mu\text{m}$  d'épaisseur, environ  $300\ \mu\text{m}$  de longueur), sur lequel un pont de jauge de contrainte et un thermomètre à résistance de platine ont été structurés en couche mince. À gauche : vue du dessus. À droite : vue de côté.

La méthode d'ombroscopie et de schlieren est bien maîtrisée dans l'eau, et nous avons récemment confirmé qu'elle pouvait fonctionner dans l'hélium liquide à basse température pendant le stage long d'Alice Pelosse. Un des objets de ce stage sera d'aller plus loin dans la mise en œuvre quantitative de cette méthode pour un panache turbulent, et d'adapter la méthode au cas du fluorocarbure.

Le principe du détecteur à micro-levier a été validé dans des écoulements turbulents dans l'air et dans l'hélium, mais il n'a pas encore été possible de mesurer un flux de chaleur local car la convection thermique dans l'air produit une vitesse trop faible, et le dépôt de platine n'est pas sensible à basse température. Le détecteur ne peut pas fonctionner dans l'eau car elle produit des court-circuits et de l'oxydation des couches minces.

En revanche, le fluorocarbure est un bon candidat pour mettre en œuvre la première mesure de flux de chaleur local avec ce détecteur, car il est dense, non conducteur, neutre, et permet d'obtenir des nombres de Rayleigh très grands. Cela permettra de mesurer la quantité de chaleur transportée par les panaches et donnera accès aux corrélations croisées entre vitesse et température à petite échelle.

En pratique, le contenu du stage (ombroscopie et/ou capteur de flux, hélium et/ou fluorocarbure) pourra être adapté en fonction des préférences du stagiaire et de la durée du stage (L3/M1).

## Référence

- [1] 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.