

## Proposition de stage de M2 / PLR ou Thèse

### Étude locale d'une assemblée de panaches turbulents en hélium liquide cryogénique

*Direction de thèse* Julien Salort et Francesca Chillà  
*Laboratoire* Laboratoire de physique, CNRS / ENS de Lyon  
*Contact* 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.

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 unique ou d'une assemblée de quelques panaches dans l'hélium cryogénique qui permet d'obtenir des panaches turbulents.

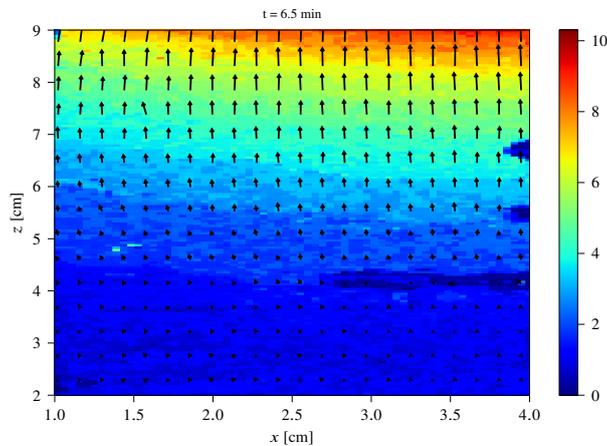


Figure 1: Mesure du champ de gradient de densité dans un bain d'hélium liquide stratifié stable à l'aide de strioscopie synthétique.

L'hélium cryogénique permet également de se placer dans le cas d'un fond stratifié stable (voir Figure 1). Dans ce cas, le panache s'élève jusqu'à atteindre une hauteur de flottabilité neutre. À cette hauteur, il forme un chapeau et s'étale horizontalement. Cette dynamique est très courante dans la nature: formation de nuages ou fumeurs noirs dans l'océan. Les conditions contrôlées en laboratoire permettent d'étudier cette assemblée de panaches de façon reproductible. Lorsque le panache dépasse transitoirement la hauteur de flottabilité neutre, cela conduit à la production d'ondes de gravité interne qui interagissent avec le panache et qui contribuent au transport d'énergie à plus grande échelle.

Le gradient de densité stable obtenu en laissant le bain sur-refroidi se réchauffer lentement est de l'ordre de 15 mK/mm, ce qui correspond à une fréquence de flottabilité,  $N$ ,

$$N = \sqrt{g\alpha \frac{\delta T}{\delta z}} \quad (1)$$

de l'ordre de 3.8 rad/s.

Dans un bain stratifié de ce type, les ondes de gravité interne peuvent être produites, directement en faisant osciller un cylindre, ou par le ou les panaches thermiques (voir figure 2). L'avantage par rapport à une expérience similaire en eau salée<sup>1</sup> est que le nombre de Reynolds est nettement plus élevé grâce à la viscosité faible de l'hélium cryogénique. Cela permet d'atteindre des régimes plus proches de celui des panaches thermiques dans l'océan<sup>2</sup>, et cela favorise les effets non-linéaires comme la déstabilisation des ondes internes en ondes secondaires, ou le mélange par les ondes sur des points chauds<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Mowbray and Rarity, J. Fluid Mech. (1967)

<sup>2</sup>Lemaréchal et al, Submitted to Journal of Geophysical Research: Oceans, <https://doi.org/10.22541/essoar.173557611.16248412/v1>

<sup>3</sup>Scolan, et al, Phys. Rev. Lett. (2013)

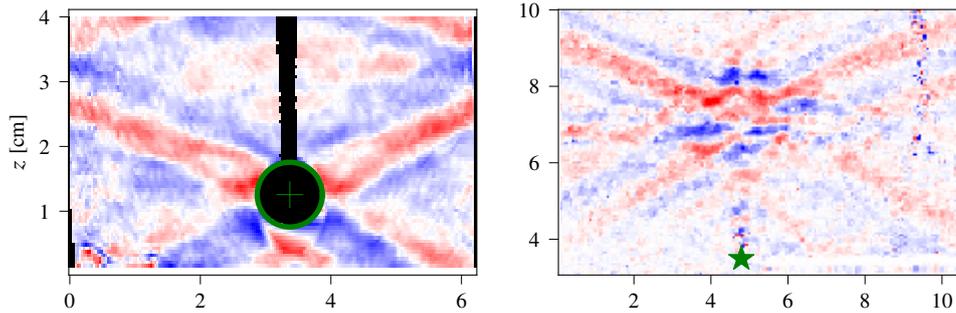


Figure 2: Observation d'ondes de gravité internes dans l'hélium liquide. Les couleurs bleu à rouge représentent le gradient vertical obtenu par strioscopie. À gauche: expérience de cylindre oscillant. À droite: exemple de panache thermique turbulent.

Le système expérimental nouvellement mis en place au laboratoire permet d'émettre un ou plusieurs panaches pour étudier leur interaction et le rôle de l'extension spatiale de la source jusqu'à la limite d'une plaque semblable à celle d'une cellule de Rayleigh-Bénard. Le nouveau cryostat en verre, de diamètre intérieur 30 cm permettra d'étudier à la fois le cas d'un fluide ambiant homogène et d'un fluide ambiant stratifié en densité, et des panaches et thermals du régime laminaire au régime turbulent.

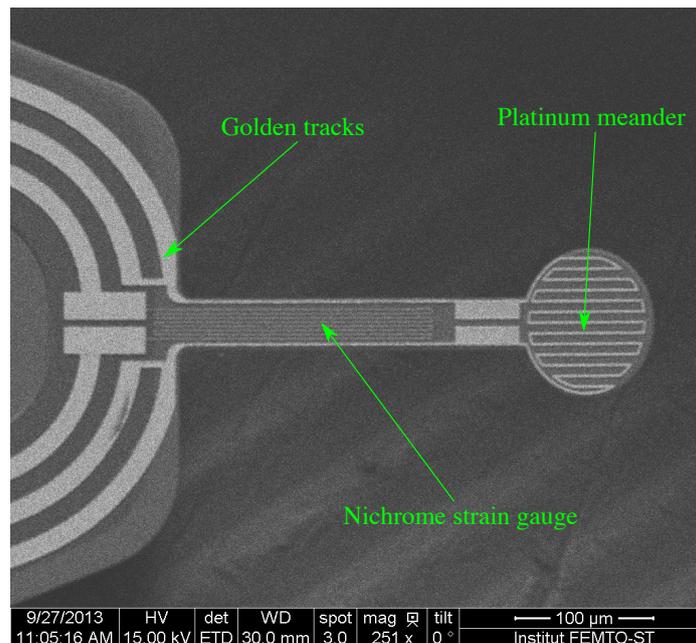


Figure 3: Image au microscope électronique à balayage d'un capteur à micro-levier, conçu pour la mesure conjointe de température et de vitesse, et micro-fabriquée dans la salle blanche Femto-ST à Besançon.

Il sera possible également de développer en thèse une instrumentation adaptée pour la mesure de vitesse du fluide dans ces conditions cryogéniques. En effet, nous avons montré précédemment qu'un capteur microfabriqué basé sur un micro-levier (voir Figure 3) était adapté pour la mesure de vitesse dans l'hélium liquide<sup>4</sup>. Un tel capteur pourra être adapté au cas particulier de l'étude du panache et donner accès aux statistiques locales de vitesse dans le panache turbulent, et dans le champ d'ondes internes.

<sup>4</sup>Salort, et al, *Rev. Sci. Instrum.*, **89**:015005 (2018); Salort, et al, *New J. Phys.*, **23**:063005 (2021)