

## Processus nonlinéaires dans les fluides quantiques

laboratoire: [LPTMS](#), Bâtiment Pascal n° 530  
rue André Rivière – Université Paris-Saclay  
91405 Orsay CEDEX

encadrant: Nicolas Pavloff  
site web: [www.lptms.universite-paris-saclay.fr/nicolas\\_pavloff/](http://www.lptms.universite-paris-saclay.fr/nicolas_pavloff/)  
email : [nicolas.pavloff@universite-paris-saclay.fr](mailto:nicolas.pavloff@universite-paris-saclay.fr)

### Sujet :

Divers fluides quantiques, des vapeurs atomiques ultra-froides à l'hélium superfluide, hébergent des structures non linéaires complexes, telles que des solitons, des tourbillons quantique et des ondes de choc dispersives. Ce projet de stage vise à explorer l'interaction entre la non-linéarité et les effets quantiques, en se concentrant particulièrement (i) sur la dynamique de bosons interagissant dans une géométrie uni-dimensionnelle et (ii) la formation de paires vortex-antivortex dans des condensats Bose-Einstein bi-dimensionnels.

Le stage est axé sur un projet de physique théorique. Il est conçu pour être suivi d'un doctorat, où l'on visera à rester en contact étroit avec les questions expérimentales.

Après une période consacrée à l'apprentissage des outils théoriques nécessaires (méthode de Riemann pour les équations aux dérivées partielles hyperboliques), l'étudiant.e étudiera la propagation non linéaire de une tranche de bosons en interaction dans une configuration uni-dimensionnelle. L'idée étant de reproduire la configuration étudiée lors d'une expérience récemment réalisée à l'IOGS.

Un autre aspect de ce projet de doctorat porte sur la formation des tourbillons dans les superfluides bidimensionnels. Dans ces systèmes, les tourbillons sont appelés vortex et possèdent une charge topologique quantique appelée vorticité. La conservation de cette charge nécessite que les vortex apparaissent par paires de vorticités opposées, appelées paires vortex/antivortex. De plus, les vortex sont caractérisés par un autre indice topologique: l'indice de Poincaré. La conservation de la vorticité et de l'indice de Poincaré implique que la création d'une paire vortex/antivortex s'accompagne de l'émergence d'autres points critiques, tels que les extréma de la phase ou des points selles. Un objectif de ce projet de doctorat est l'étude de différents scénarios de formation de vortex/antivortex dans un condensat Bose-Einstein à deux composants. On prévoit que de nouvelles charges topologiques devront être prises en compte, menant à de nouveaux processus de bifurcation pour la formation des paires de vortex. Étant donné que la turbulence est associée à la formation d'un grand nombre de vortex, la compréhension de ces nouvelles contraintes topologiques pourrait également éclairer les voies menant à la turbulence quantique dans les superfluides à deux composants.

### English version :

Various quantum fluids, from ultracold atomic vapors to superfluid helium and superconductors, exhibit rich nonlinear structures such as solitons, vortices and shock waves, which provide insights

into complex quantum behaviors. This internship project aims to explore the interplay between nonlinearity and quantum effects, particularly focusing (i) on the dynamics of interacting bosons in one dimension and (ii) the formation of vortex-antivortex pairs in two-component Bose-Einstein condensates.

The internship corresponds to a theoretical physics project and is intended to be followed by a PhD, during which one will aim to stay in close contact with experimental issues.

After a period dedicated to getting acquaintance with the necessary theoretical tools (Riemann method for hyperbolic partial differential equations), the student will study the nonlinear spreading of a slice of interacting bosons in one dimension. The idea being to reproduce the configuration studied in an experiment recently performed at IOGS.

Another aspect of this PhD project focuses on the formation of vortices in two-dimensional superfluids. In these systems, vortices possess a quantal topological charge known as vorticity. The conservation of this charge necessitates that vortices typically appear in pairs with opposite vorticity, referred to as vortex/antivortex pairs. Additionally, vortices are characterized by another topological index: the Poincaré index. The conservation of both vorticity and the Poincaré index implies that the creation of a vortex/antivortex pair is accompanied by the emergence of other critical points, such as phase extrema or saddles. A key objective of this PhD project is to investigate various scenarios of vortex/antivortex formation in a two-component Bose-Einstein condensate. It is anticipated that new topological charges will need to be considered, potentially leading to novel bifurcation processes for the formation of vortex pairs. Given that the onset of turbulence is associated to the formation of a large number of vortices, understanding these newly identified topological constraints may also illuminate the pathways to quantum turbulence in two-component superfluids.