

# Condensat de Bose-Einstein et superfluidité en dimension deux

Laurent Longchambon<sup>1</sup> *et al*

Laboratoire de Physique des Lasers, CNRS and Université Paris 13, 99 Avenue J.-B. Clément, F-93430  
Villetaneuse, France

`laurent.longchambon@univ-paris13.fr`

Les atomes ultra-froids permettent d'observer des effets quantiques macroscopiques dans des environnements bien contrôlés qui permettent de tester des systèmes modèles avec une grande précision et d'observer une riche palette de comportements collectifs. La condensation de Bose-Einstein en est l'une des manifestations les plus spectaculaires, avec l'émergence d'une fonction d'onde macroscopique pour l'ensemble des atomes bosoniques d'un nuage ultra froid[1]. Lorsque l'on tient compte des interactions entre les atomes du condensat, l'évolution temporelle de cette fonction d'onde est alors décrite par une équation non linéaire : l'équation de Gross-Pitaevskii. Celle-ci introduit une analogie importante entre la condensation de Bose-Einstein et l'optique non linéaire.

Dans nos travaux nous utilisons les atomes ultra froids comme modèle pour étudier la superfluidité, phénomène complexe mis en évidence à l'origine dans l'hélium liquide. Nous étudions tout particulièrement la nature de la superfluidité pour un condensat confiné en dimension deux. Les phénomènes de condensation de Bose-Einstein et de superfluidité sont reliés, et ils apparaissent simultanément à 3D dans un gaz de bosons en interaction faible. Ce n'est pas le cas en dimension deux et la superfluidité est gouvernée par la physique de la transition de Berezinskii-Kosterlitz-Thouless (BKT), qui met en jeu l'apparition spontanée de paires de vortex/antivortex dans le nuage atomique[2].

Dans notre expérience nous observons les modes d'excitations collectives d'un gaz d'atomes de Rubidium 87 refroidi à des températures inférieures à 100 nanoKelvins. Ces modes correspondent à des modes d'oscillation dans le potentiel piégeant et certains d'entre eux sont caractéristiques de la présence d'une fraction superfluide. Leur fréquence est également modifiée par le confinement à deux dimensions, et par la présence de la fraction thermique non condensée[3].

Une des caractéristiques remarquables d'un superfluide est sa faculté de s'écouler sans dissipation. Alors que les études d'écoulements permanents d'hélium superfluide ou de courants permanents de supraconducteurs datent de plusieurs dizaines d'années, l'analogie atomique d'un gaz en rotation dans un piège annulaire n'en est qu'à ses débuts. Nous allons dans un futur très proche étudier la superfluidité de gaz dégénérés en géométrie annulaire. Dans cette géométrie la circulation de la vitesse du superfluide est quantifiée et nous avons montré que la stabilité de l'écoulement dépend d'une vitesse angulaire critique[4]. Nous nous intéresserons en particulier au cas d'un gaz en dimension 2, ce que nous obtiendrons en rendant les fréquences d'oscillation transverse et radiale très différentes. Le régime 2D est également favorable à l'observation directe de vortex. Le régime 1D pourra être atteint en réduisant le nombre d'atomes et en utilisant la valeur maximale du gradient de champ magnétique. La situation devrait alors être totalement différente, puisque l'existence de vortex dans l'épaisseur de l'anneau n'est pas permise en dimension un.

## Références

1. F. D'Amico *et al*, *Theory of Bose-Einstein condensation in trapped gases*, Rev. Mod. Phys. **71**, 463 (1999).
2. Z. Hadzibabic *et al*, *The trapped two-dimensional Bose gas : from Bose-Einstein condensation to Berezinskii-Kosterlitz-Thouless physics*, New Journal of Physics **10**, 045006 (2008).
3. T. Simula *et al*, *Superfluidity of an interacting trapped quasi-two-dimensional Bose gas*, Physical Review A, **77**, 023618 (2008).
4. R. Dubessy *et al*, *Critical rotation of an annular superfluid Bose-Einstein condensate*, Phys. Rev. A **86** 011602(R) (2012).