

## Étude expérimentale de l'effet des interactions atome-atome dans un interféromètre atomique

### Experimental study of the effect of atom-atom interactions in an atom interferometer

**Porteur(s)** : S. Guellati-Khélifa, P. Cladé (LKB)

**Partenaire(s)** : F. Pereira Dos Santos (SYRTE)

#### Résumé du projet en Français :

Depuis quelques années de nouvelles approches ont été proposées afin de pousser la sensibilité des interféromètres atomiques au-delà de l'état de l'art. Dans ce contexte, l'utilisation d'une source atomique au seuil de la condensation de Bose-Einstein est incontournable, aussi bien pour la réalisation de séparatrices atomiques à large transfert d'impulsions que pour l'interférométrie atomique à grande échelle. Ces concepts expérimentaux sont au cœur de nombreux projets récents et très ambitieux qui visent à détecter les ondes gravitationnelles par interférométrie atomique ou à tester le principe d'équivalence sur des objets quantiques avec une précision inédite.

Ce projet porte sur l'étude expérimentale de l'effet systématique attribué aux interactions atome-atome dans un interféromètre atomique utilisant un condensat de Bose-Einstein. L'objectif est de mesurer précisément cet effet dans deux configurations d'interférométrie atomique : la configuration Ramsey-Bordé utilisée au laboratoire Kastler-Brossel pour mesurer le rapport  $h/M$  entre la constante de Planck et la masse atomique et la configuration Mach-Zehnder utilisée au SYRTE pour réaliser les capteurs inertiels ultra-sensibles. Une étude détaillée du déplacement de la frange centrale induit par les interactions internes en fonction des paramètres expérimentaux, sera menée afin de comprendre les mécanismes physiques sous-jacents et maîtriser la correction de cet effet dans le bilan des incertitudes.

#### Abstract in English:

In recent years new approaches of atom interferometry were proposed to push the sensitivity of such devices beyond the state of the art. The use of an atomic source issued from Bose-Einstein condensate is crucial, both for the realization of large momentum atomic beam splitters and for large-scale atomic interferometers. These experimental concepts are at the hearth of many recent and very ambitious projects which aim to detect gravitational waves by atomic interferometry or to test the equivalence principle on quantum objects with unprecedented accuracy.

This project focuses on the experimental study of the systematic effect due to internal interactions in an atom interferometer based on a Bose-Einstein condensate. The goal is to accurately measure this systematic effect in two configurations: the Ramsey-Bordé interferometer used in the Kastler-Brossel laboratory to measure the ratio  $h/M$  between the Planck constant and the atomic mass and the Mach-Zehnder interferometer used to SYRTE to perform ultra-sensitive inertial sensors. A detailed study of the central fringe shift induces by internal interactions as a function of experimental parameters (the size of the atomic cloud, the parameters of the atom interferometer) will be conducted to understand the physical mechanisms underlying internal interactions. This work will provide a precise correction of this effect in uncertainties budget.

#### Résultats marquants :

Sur ce projet, nous avons recruté S. Bade pour un post-doctorat d'une année. S. Bade a travaillé 6 mois dans l'équipe et par la suite a eu une opportunité d'embauche (CDI). Il a fait le choix d'interrompre son stage post-doctoral. Nous avons utilisé le financement restant pour prolonger le post-doc de Jun Sun. Dans un premier temps, S. Bade a travaillé sur l'optimisation du condensat de Bose-Einstein (BEC). Il a installé un algorithme d'optimisation des paramètres de l'expérience (MOT, évaporation). Ceci nous a permis d'obtenir un Rb-BEC de 150 000 atomes en moins de 3 s. Nous avons ensuite essayé d'observer l'effet du champ moyen sur un interféromètre atomique avec des faisceaux lasers contra-propageants. La sensibilité de l'interféromètre n'était pas suffisante pour observer l'effet. Pendant que L. Morel travaillait avec Jun Sun sur l'amélioration du vide dans

la cellule, j'ai demandé à S. Bade de travailler sur l'ancienne expérience destinée à la mesure du rapport  $h/m$ . Il a en particulier optimisé la sensibilité de l'interféromètre atomique et étudié en détail l'effet systématique induit par les fluctuations locales de l'intensité. Les résultats et la modélisation théorique ont permis de comprendre l'origine de cet effet systématique.

#### Highlights:

On this project, we recruited S. Bade for a one-year post-doctoral position. S. Bade worked for 6 months in the team after which he had a job opportunity (CDI). He decided to interrupt his post-doctoral. We used the remaining funding to extend Jun Sun's post-doc. At first, S. Bade worked on optimization of the Bose-Einstein condensate. He implemented an algorithm for optimizing the parameters of the experimental sequence (MOT, evaporation). This allowed us to obtain a condensate of Rb with 150,000 atoms in less than 3 s. We then tried to observe the effect due to internal interactions using an atomic interferometer (AI) with counter-propagating laser beams. The sensitivity of the interferometer was not enough to observe this effect. While L. Morel, working with Jun Sun on improving the vacuum in the cell, I asked S. Bade to work on the old experiment for measuring the ratio  $h / m$ . In particular, he has optimized the sensitivity of the AI and studied in detail the systematic effect induced by local fluctuations of the laser intensity. The experimental results and the theoretical modeling allowed us to understand the origin of this systematic effect.

#### Publications and communications linked with the funded project:

##### *Peer-reviewed articles:*

S. Bade, L. Djadaojee, M. Andia, P. Cladé and S. Guellati-Khelifa, submitted to Phys. Rev. Lett.

##### *Invited talks:*

S. Bade, L. Djadaojee, M. andia, P. Cladé, 24<sup>ème</sup> Congrès Général de la SFP s'est tenu du 3 au 7 juillet 2017, mini-colloque "**Cohérence et contrôle quantiques: des Fondamentaux aux Applications**"