

**AVIS DE SOUTENANCE**

**Joel Aleix GOMES BAPTISTA KAMANGO**

**Physique**

Soutiendra publiquement ses travaux de thèse intitulés

*Optimisation des séparatrices d'un gradiomètre atomique dans le régime de quasi-Bragg: contrôle optimal et ingénierie optique*

Soutenance prévue le **10 mars 2026 à 14h00**

Lieu : Salle Denisse

LTE, 61 avenue de l'Observatoire, 75014, Paris

**Composition du jury proposé**

M. Franck PEREIRA	Directeur de recherche	Observatoire de Paris	Directeur de these
M. ANDREA BERTOLDI	Ingénieur de recherche	Institut d'Optique Graduate School	Rapporteur du jury
M. Yvan SORTAIS	Professeur des universités	Institut d'Optique Graduate School	Rapporteur du jury
M. Jérôme BEUGNON	Professeur des universités	Collège de France	Membre du jury
Mme Adèle HILICO	Maître de conférences	Université Sorbonne Paris Nord	Membre du jury
M. Sébastien MERLET	Ingénieur de recherche	Observatoire de Paris	Co-encadrant de these

**Mots-clés :** Interférométrie atomique, Faisceau plat, Diffraction de Bragg, Gradiomètre atomique,

**Keywords :** Atom Interferometry, Top-hat beam, Bragg diffraction, Atom gradiometer,

**Résumé :**

Ce travail de thèse s'inscrit dans le cadre de l'amélioration des performances d'un gradiomètre atomique à atomes froids. L'objectif principal était d'accroître la sensibilité de l'instrument en augmentant le transfert d'impulsion via des transitions de Bragg d'ordre élevé, tout en s'affranchissant des limites imposées par les inhomogénéités du faisceau d'interrogation. Nous avons d'abord étudié les transitions de Bragg dans le régime de quasi-Bragg, nécessaire pour réaliser des séparatrices à grand transfert d'impulsion (LMT) en un temps raisonnable. L'augmentation de l'ordre de diffraction (passage de  $n=1$  à  $n=3$ ) s'accompagne d'effets délétères : une baisse significative du contraste et l'apparition d'interféromètres parasites dû au peuplement d'états de moment indésirables. La dynamique du système devient alors multimodale et ne peut plus être décrite par un simple système à deux niveaux. Pour pallier ces effets, nous avons implémenté des impulsions optimisées via l'algorithme de contrôle optimal GRAPE. En modulant la phase des lasers par un modulateur électro-optique, nous avons démontré un gain relatif de contraste d'environ 20% à court temps d'interrogation ( $T=1$  ms) et une amélioration notable de la pureté spectrale. Cependant, nous avons observé une décroissance exponentielle du contraste avec l'allongement de la durée d'interrogation, limitant l'efficacité du contrôle optimal. Cette limitation a été identifiée comme provenant

très certainement des inhomogénéités spatiales de couplage (déplacement lumineux et fréquence de Rabi) venant du profil gaussien du faisceau d'interrogation. Pour surmonter cet obstacle, nous avons conçu et caractérisé un nouveau système de collimation générant un faisceau à profil d'intensité plat (top-hat). L'intégration du collimateur top-hat sur l'expérience a permis de réduire d'un facteur 2 la dispersion des déplacements lumineux vus par les atomes. En configuration de référence ( $T=130\text{ms}$ , 110 oscillations de Bloch), nous avons mesuré une sensibilité au gradient de gravité de  $\sigma_{\gamma_{zz}}(1\text{s}) = 157\text{ pm } 18\text{ E}$ . Ce résultat surpasse l'état de l'art historique de l'instrument ( $287\text{ E}$ ) et améliore d'un facteur  $\approx 2$  la performance par rapport au collimateur gaussien standard ( $304\text{ E}$ ).

### Summary :

This thesis is part of an effort to improve the performance of a cold-atom gravity gradiometer. The main objective was to increase the instrument sensitivity by enhancing the momentum transfer through high-order Bragg transitions, while overcoming the limitations imposed by inhomogeneities in the interrogation beam. We first investigated Bragg transitions in the quasi-Bragg regime, which is required to implement large momentum transfer (LMT) beamsplitters within a reasonable interaction time. Increasing the diffraction order (from  $n=1$  to  $n=3$ ) is accompanied by deleterious effects: a significant reduction of the interferometric contrast and the appearance of parasitic interferometers due to the population of unwanted momentum states. The system dynamics then becomes multimodal and can no longer be described by a simple two-level system. To mitigate these effects, we implemented optimized pulses using the GRAPE optimal control algorithm. By modulating the laser phase with an electro-optic modulator, we demonstrated a relative contrast gain of approximately  $20\%$  at short interrogation times ( $T=1\text{ms}$ ), together with a noticeable improvement in spectral purity. However, we observed an exponential decay of the contrast as the interrogation time was increased, which limits the effectiveness of optimal control. This limitation was identified as most likely originating from spatial inhomogeneities of the coupling (light shift and Rabi frequency) induced by the Gaussian profile of the interrogation beam. To overcome this limitation, we designed and characterized a new collimation system generating a flat-top (top-hat) intensity profile. The integration of the top-hat collimator into the experiment reduced the dispersion of light shifts experienced by the atoms by a factor of two. In the reference configuration ( $T=130\text{ms}$ , 110 Bloch oscillations), we measured a gravity-gradient sensitivity of  $\sigma_{\gamma_{zz}}(1\text{s}) = 157\text{ pm } 18\text{ E}$ . This result surpasses the historical state of the art of the instrument ( $287\text{ E}$ ) and improves the performance by a factor of approximately  $\times 2$  compared to the standard Gaussian collimator ( $304\text{ E}$ ).