

**PhD Offer - ULTRACOLD ATOM GRAVIMETER**<https://syрте.obsрm.fr/spip/science/iaci/projets-en-cours/gravimetre/>Laboratory : **Systèmes de Référence Temps-Espace (SYRTE)**, UMR8630Advisors : **Sébastien Merlet** and **Franck Pereira dos Santos**Email : [sebastien.merlet@obsрm.fr](mailto:sebastien.merlet@obsрm.fr) and [franck.pereira@obsрm.fr](mailto:franck.pereira@obsрm.fr) phone : 01 40 51 23 93 and 23 86Website : <https://syрте.obsрm.fr/spip/science/iaci/projets-en-cours/gravimetre/article/gravimetrie>

Address : Observatoire de Paris, 61 Avenue de l'Observatoire, 75014 Paris

Our team develops inertial sensors (accelerometers, gyrometers, ...) based on atom interferometry technics. The development of this technology is linked to the use of cold atoms and laser beamsplitters, namely two photon transitions and more specifically stimulated Raman transitions. These methods allow now for the development of commercial products with applications in geophysics on the field.

We have developed a state-of-the-art cold atom gravimeter (CAG), based on these techniques. It uses free-falling  $^{87}\text{Rb}$  atoms, which experience a sequence of Raman pulses driven by counter-propagating vertical lasers. The atom interferometer phase shift is proportional to  $g$ , the Earth gravity acceleration that we measure with a sensitivity better than conventional state of the art absolute gravimeters ( $5.7\text{ng}@1\text{s}$ ) [1] and more accurately ( $2\text{ng}$ ) [2].

**Limits have been identified and several improvements will be made to reach the  $10^{-10}$  range both in term of accuracy and stability.**

The vacuum chamber will be modified to allow to use a new crossed dipole trap with a 50W laser at  $1.1\mu\text{m}$ . We will take advantage of the reopening of the vacuum chamber to install a tip-tilt retro-reflexion mirror for the Raman lasers. This will improve our control of the laser alignment and allow to compensate Coriolis acceleration. In order to improve our control on the initial position of the atoms, new MOT collimators will be installed, as well as an innovative fiber splitter system for the control of the powers in each MOT beam.

*The PhD will integrate the team and the project as it progresses. The thesis will range from (i) the implementation and optimization of the optical trap to (ii) the characterization and optimization of the reflexion system and/or (iii) the implementation and tests of the locked MOT source.*

The ultimate aim is to improve the evaluation of Coriolis acceleration and wavefront distortions effects even further, by performing measurements at very low temperature, and with more atoms. This will require to optimize the evaporation sequence, by increasing the capture volume of the trap using modulation techniques. Yet, a drawback when using dense samples of ultracold atoms, eventually Bose-Einstein condensed, instead of a more dilute laser cooled source, arises from the effect of interatomic interactions, which we will investigate. The obtained uncertainty budget and sensitivity performances will finally be tested during comparisons with superconducting gravimeter [3] and with absolute gravimeters of different classes at national and European level.

[1] P. Gillot, O. Francis, A. Landragin, F. Pereira dos Santos and S. Merlet, Stability comparison of two absolute gravimeters: optical versus atomic interferometers, *Metrologia* **51** (2014) L15-L17

[2] R. Karcher, A. Imanaliev, S. Merlet and F. Pereira dos Santos, Improving the accuracy of atom interferometers with ultracold atoms, *New J. of Phys.* **20** (2018) 113041

[3] S. Merlet, P. Gillot, B. Cheng, R. Karcher, A. Imanaliev, L. Timmen and F. Pereira dos Santos, Calibration of a superconducting gravimeter with an absolute atom gravimeter, *J. Geod* **95**, (2021) 62

PhD type of funding

EDPIF, own ressources

**Proposition de thèse – Gravimètre avec des atomes Ultra-Froids**<https://syрте.obsрm.fr/spip/science/iaci/projets-en-cours/gravimetre/>Laboratoire : **SYstèmes de Référence Temps-Espace (SYRTE)**, UMR8630Superviseurs : **Sébastien Merlet** and **Franck Pereira dos Santos**Email : [sebastien.merlet@obsрm.fr](mailto:sebastien.merlet@obsрm.fr) and [franck.pereira@obsрm.fr](mailto:franck.pereira@obsрm.fr) phone : 01 40 51 23 93 and 23 86Site : <https://syрте.obsрm.fr/spip/science/iaci/projets-en-cours/gravimetre/article/gravimetrie>

Adresse : Observatoire de Paris, 61 Avenue de l'Observatoire, 75014 Paris

Notre équipe développe des capteurs inertiels (accéléromètres, gyromètres, ...) basés sur des techniques d'interférométrie atomique. Le développement de cette technologie est lié à l'utilisation d'atomes froids et de séparatrices laser à deux photons : les transitions Raman stimulées. Ces méthodes permettent maintenant le développement de produits commerciaux avec des applications en géophysique sur le terrain.

Nous avons mis au point un gravimètre à atomes froids (CAG) de pointe, basé sur ces techniques. Il utilise des atomes de  $^{87}\text{Rb}$  en chute libre, qui subissent une séquence d'impulsions Raman pilotées par des lasers verticaux contre-propageants. Le déphasage de l'interféromètre atomique est proportionnel à  $g$ , l'accélération de la pesanteur terrestre que nous mesurons avec une sensibilité supérieure à celle des gravimètres absolus conventionnels ( $5.7\text{ng}@1\text{s}$ ) [1] et avec une plus grande exactitude (2ng) [2].

Des limites ont été identifiées et plusieurs améliorations seront apportées pour atteindre la plage de  $10^{-10}$  en termes d'exactitude et de stabilité.

La chambre à vide sera modifiée pour permettre l'utilisation d'un nouveau piège dipolaire croisé avec un laser de 50W à  $1.1\mu\text{m}$ . Nous profiterons de la réouverture de la chambre à vide pour installer un miroir de réflexion rotatif pour les lasers Raman. Cela améliorera notre contrôle de l'alignement des lasers et permettra de compenser l'accélération de Coriolis. Afin d'améliorer notre contrôle sur la position initiale des atomes, de nouveaux collimateurs du PMO seront réalisés et installés, ainsi qu'un système innovant automatisé de séparateur de faisceaux pour le contrôle des puissances dans chaque faisceau du PMO.

*Le stagiaire intégrera l'équipe et le projet en l'état de son avancement. Le stage peut aller de (i) l'implémentation et l'optimisation du piège optique à (ii) la caractérisation et l'optimisation du système de réflexion et/ou (iii) l'implémentation et les tests de la source PMO.*

Le but ultime est d'améliorer plus encore l'évaluation des effets de l'accélération de Coriolis et des distorsions du front d'onde, en effectuant des mesures à très basse température et avec davantage d'atomes. Pour ce faire, il faudra optimiser la séquence d'évaporation en augmentant le volume de capture du piège. Cependant, l'utilisation d'échantillons denses d'atomes ultra-froids, éventuellement condensés, au lieu d'une source plus diluée refroidie par lasers, présente un inconvénient lié à l'effet des interactions interatomiques, que nous étudierons. Le bilan d'incertitude et les performances obtenues seront finalement testés lors de comparaison avec un gravimètre supraconducteurs [3] et des gravimètres absolus de différent type, au niveau national et européen.

[1] P. Gillot, O. Francis, A. Landragin, F. Pereira dos Santos and S. Merlet, Stability comparison of two absolute gravimeters: optical versus atomic interferometers, *Metrologia* **51** (2014) L15-L17

[2] R. Karcher, A. Imanaliev, S. Merlet and F. Pereira dos Santos, Improving the accuracy of atom interferometers with ultracold atoms, *New J. of Phys.* **20** (2018) 113041

[3] S. Merlet, P. Gillot, B. Cheng, R. Karcher, A. Imanaliev, L. Timmen and F. Pereira dos Santos, Calibration of a superconducting gravimeter with an absolute atom gravimeter, *J. Geod* **95**, (2021) 62

PhD type of funding

EDPIF, own ressources