



HAL
open science

Le gravimètre à ondes de matière : une instrumentation innovante pour Résif

Sylvain Bonvalot, Bruno Desruelle

► **To cite this version:**

Sylvain Bonvalot, Bruno Desruelle. Le gravimètre à ondes de matière : une instrumentation innovante pour Résif. 2012, pp.6-8. hal-04196184

HAL Id: hal-04196184

<https://hal.science/hal-04196184>

Submitted on 5 Sep 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Le gravimètre à ondes de matière : une instrumentation innovante pour RESIF

par Sylvain Bonvalot et Bruno Desruelle

Un renouvellement de l'instrumentation gravimétrique nationale est prévu dans le cadre du projet RESIF-CORE afin de mettre à disposition des équipes de recherche des moyens de mesures permanents et mobiles pour l'étude des variations spatiales et temporelles du champ de pesanteur terrestre. Parmi ceux-ci, un instrument innovant, l'AQG (Absolute Quantum Gravimeter) verra prochainement le jour en France. Cet instrument appartient à une nouvelle génération de gravimètres « à ondes de matière » qui a fait l'objet de nombreux développements théoriques et expérimentaux dans plusieurs pays dans la dernière décennie. Depuis une quinzaine d'année, les mesures absolues de la pesanteur sont en effet obtenues au moyen de gravimètres balistiques dont le principe basé sur la chute libre d'un objet (coin cube) dans le vide permet de déduire par des mesures précises de temps (horloges atomiques) et de distance (interférométrie laser), l'accélération de la pesanteur en un point donné. Les récentes recherches dans ce domaine d'instrumentation se sont développées autour de l'utilisation d'atomes pour parvenir à des instruments précis, fiables et à terme utilisables à la fois en laboratoire et sur le terrain. Ce nouveau gravimètre devrait compléter la gamme des observations terrestres et spatiales.

Le gravimètre quantique absolu (Absolute Quantum Gravimeter, AQG) développé par la société μ QuanS est le premier gravimètre à ondes de matière commercial au monde. Cet instrument est le résultat d'un transfert de technologie depuis 2 laboratoires académiques français, le SYRTE (Systèmes de Références Temps-Espace, UMR 8630 CNRS – Observatoire de Paris – Université Pierre et Marie Curie) et le LP2N (Laboratoire Photonique Numérique et Nanosciences, UMR 5298 CNRS – Institut d'Optique – Université de Bordeaux).

L'AQG s'appuie sur une technologie unique, basée sur l'utilisation d'atomes piégés et refroidis par laser. Ces techniques permettent de créer un état de la matière offrant des propriétés remarquables, notamment pour la réalisation de mesures inertielles de très haute précision. Ces caractéristiques permettent ainsi d'aboutir à un instrument capable de réaliser des mesures absolues de gravité avec une sensibilité proche de $1 \mu\text{Gal}$ ($= 10^{-9} g$ où $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ représente l'accélération de la pesanteur). Par ailleurs, l'utilisation d'atomes froids permet d'éliminer complètement la présence de pièces mécaniques mobiles dans l'instrument, ce qui permet de relâcher les contraintes de maintenance et ouvre la voie à la possibilité de réaliser des mesures sur de très longues durées. Enfin, cette approche permet d'aboutir à un niveau d'intégration remarquable et l'AQG se révèle particulièrement compact pour un instrument de ce type (75 l, 50 kg), ce qui devrait simplifier considérablement la réalisation de mesures de terrain.

Principe général de fonctionnement

Le gravimètre à ondes de matière s'appuie sur un principe de fonctionnement très similaire à celui utilisé dans les gravimètres à coin de cube. Avec cet instrument, la mesure de gravité est effectuée en caractérisant l'accélération subie par un nuage d'atomes froids au cours d'une chute libre. Elle fait donc partie des méthodes balistiques de chute libre considérée officiellement par le BIPM (Bureau International des Poids et Mesures) comme une méthode primaire pour la mesure de la gravité.

Une séquence typique de mesure s'organise de la façon suivante :

- Tout d'abord, les atomes sont piégés par laser dans une enceinte à vide et refroidis jusqu'à une température de quelques μK , soit à peine au dessus du zéro absolu.
- On coupe ensuite les faisceaux laser de manière à laisser tomber le nuage d'atomes en chute libre.
- Au cours de cette chute, on caractérise l'accélération verticale subie par les atomes grâce à une technique d'interférométrie à ondes de matière. On exploite ici le caractère ondulatoire de la matière pour faire interférer les ondes de matières associées aux atomes.

La durée typique de cette séquence de mesure est de 500 ms.

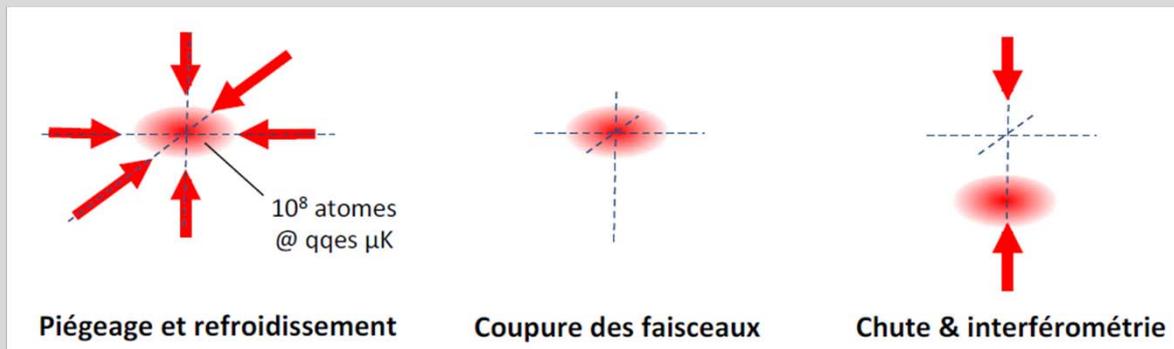


Fig. 1 : Description de la séquence de mesure

Technologie :

Le design de l'AQG repose principalement sur 2 innovations technologiques :

- un réflecteur pyramidal, qui permet de réaliser la mesure de gravité avec un unique faisceau laser (contre une petite dizaine dans des architectures standards), ce qui réduit considérablement la complexité, le volume et la masse de l'instrument.
- Un système laser entièrement fibré basé sur l'utilisation d'une approche « télécom + doublage en fréquence ». L'idée générale consiste à réaliser toutes les opérations de contrôle de fréquence des lasers à 1560 nm, puis à réaliser un doublage de fréquence pour générer le 780 nm nécessaire à la manipulation des atomes de rubidium.

Performances et fonctionnalités

Les caractéristiques principales de l'AQG sont les suivantes :

- Mesure gravimétrique absolue avec une sensibilité de l'ordre de 40 $\mu\text{Gal}/\text{VHz}$, et une sensibilité limite proche de 1 μGal .
- Acquisition de données continue sur des durées pouvant aller de quelques secondes à quelques années.
- Facilité de mise en œuvre et d'utilisation: acquisition automatique des données, mise en œuvre simple et rapide (pas d'assemblage à réaliser, un unique réglage de verticalité), interface utilisateur ergonomique facilitant l'acquisition et l'archivage des données.
- Compensation temps-réel des phénomènes de marée, des charges océaniques...
- Système actif de compensation des vibrations.

Conclusion

Près de 10 mois après le lancement du programme de R&D, le développement de l'AQG est bien avancé : la conception instrumentale est maintenant complètement terminée et les phases d'intégration des différentes briques technologiques sont en cours. Les premiers résultats expérimentaux sont attendus pour le mois d'octobre 2012. La société μQuanS , en collaboration avec les équipes RESIF, procéderont à une phase de validation des performances, avant de lancer la fabrication de la première unité qui sera livrée à RESIF en début d'année 2013.

Contacts

Sylvain Bonvalot, Sylvain.Bonvalot@ird.fr

Bruno Desruelle, bruno.desruelle@muquans.com

Références et sites web

- F. Pereira dos Santos and Arnaud Landragin. Getting the measure of atom interferometry, Physics world, November 2007
- Muquans : <http://www.muquans.com/>
- Gmob – Parc de gravimètres mobiles : <https://gmob.dt.insu.cnrs.fr>
- BGI : Bureau Gravimétrique International : <http://bgi.obs-mip.fr/>

EQUIPE DE RÉDACTION : René CRUSEM, Président du Consortium-RESIF, Lydie GUILLEROT (CNRS-INSU), Tony MONFRET, membre du Bureau de RESIF, Helle PEDERSEN, Directrice de RESIF
Adresse courriel : comm@resif.fr

Inscription à la Newsletter RESIF : <http://www.resif.fr/newsletter.php>