

Projet LISA

Proposition de thèse - année 2019

Validation expérimentale des performances interférométriques de LISA

Compétences requises et mots-clés : techniques instrumentales, interférométrie laser, simulations numériques et exploitation de données, ingénierie système, astrophysique et astroparticules.

Contact :

Hubert Halloin
Laboratoire APC / Université Paris Diderot
10 rue Alice Domon et Léonie Duquet
75205 Paris Cedex 13
E-mail : halloin@apc.univ-paris7.fr
Tél: 01 57 27 60 76

Description du sujet :

Le projet LISA de détection des ondes gravitationnelles a été sélectionné comme mission 'Large' de l'ESA au printemps 2017, pour un lancement prévu en 2034. Cette mission repose sur la capacité à mesurer, par interférométrie optique, l'amplitude des fluctuations de la distance entre trois satellites distants de 2.5 Mkm avec une précision picométrique sur des périodes de temps de quelques secondes à quelques heures.

LISA est l'objet d'un développement international, la France faisant partie de la collaboration européenne fournissant l'instrument. LISA est actuellement en phase de définition préliminaire (Phase A). Dans ce contexte, le CNES et une quinzaine de laboratoires français étudient leurs contributions au développement du centre de traitement de données de la mission, aux activités d'Intégration, Tests et Validation de l'instrument et au contrôle des performances scientifiques.

La thèse proposée ici porte sur la vérification expérimentale des performances métrologiques de la mission LISA. Deux aspects complémentaires seront abordés :

- les performances de la constellation (c.à.d. combinant les mesures issues des 3 satellites) grâce à un banc interférométrique dédié existant.
- l'évaluation des performances de chaque instrument à partir de caractérisation au sol, grâce au développement d'un nouveau banc de métrologie

Depuis plusieurs années et avec le soutien du CNES, un banc interférométrique de démonstration métrologique (le LOT : LISA On Table) a été mis en place à l'APC. Ce banc a pour objectif de démontrer expérimentalement plusieurs aspects des algorithmes d'interférométrie retardée (TDI), qui doivent réduire les bruits de phase des sources laser de 8 ordres de grandeur et donc cruciaux pour la mission LISA. D'autre part, l'APC est aussi fortement impliqué dans la mise en oeuvre d'outils de simulation 'end-to-end' de LISA, de la description des sources astrophysique aux méthodes d'analyses, en passant par la modélisation instrumentale et des sources de bruit. Le développement et l'exploitation du LOT permettent donc de comparer théorie et expérience et différencier les effets instrumentaux des approximations de modélisation.

Par ailleurs, la collaboration LISA France démarre actuellement le développement d'un banc de métrologie laser. Ce banc reprend, de façon simplifiée dans un premier temps, le principe des mesures d'interférométrie hétérodyne qui seront nécessaires aux caractérisations de l'instrument LISA. Les objectifs principaux de ce banc sont de dimensionner les technologies

et méthodes à mettre en œuvre, ainsi qu'une évaluation de la représentativité des calibrations qui pourront être menées au sol. Dans ce projet, l'APC se propose d'intégrer les différents sous-systèmes (source laser, banc optique, photodiodes, etc.) en provenance des laboratoires partenaire et d'effectuer les réglages et caractérisation (calibrations, niveaux de bruit), dans un environnement de tests bas bruit (thermique, vibrations, vide).

Le travail proposé au futur doctorant porte donc sur la validation expérimentale des performances LISA, via la poursuite de l'exploitation de l'expérience LOT, ainsi que les possibilités de caractérisation des instruments LISA grâce aux bancs de test au sol.

Plus spécifiquement, l'étudiant aura pour tâche de maintenir, mettre en œuvre, améliorer et exploiter le banc optique LOT et d'interpréter les résultats obtenus avec les simulations numériques correspondantes.

L'expérience acquise sur le LOT sera alors mise en œuvre pour participer aux dimensionnements, prototypages et finalement implémentations des mesures optiques de caractérisation du banc de métrologie. L'étudiant s'attachera tout particulièrement à expliciter, démontrer et trouver les limites des méthodes de caractérisations au sol pour l'évaluation des performances en vol. Cela passera notamment par l'identification et la modélisation des différentes sources de bruit de mesures, la proposition de méthodes de caractérisation des performances instrumentales, puis leur validation expérimentale sur des prototypes optiques dédiés et/ou le banc de métrologie en cours de développement.

Pour toutes ces activités expérimentales et leur interprétation en termes de performance instrumentale, le doctorant pourra s'appuyer sur les équipes scientifiques et techniques du groupe LISA au laboratoire APC. Ces travaux s'effectueront également en étroite collaboration avec les autres laboratoires français impliqués dans LISA, le CNES et, plus généralement, avec les autres instituts internationaux impliqués dans le développement de l'instrument LISA.

Cette thèse fait l'objet d'une demande de co-financement CNRS.

LISA Project

PhD thesis proposal – year 2019

Experimental validation of LISA interferometric performances

Required skills and keywords: general instrumentation techniques, laser interferometry, numerical simulations and data analysis, system engineering, astrophysics and astroparticles

Contact:

Hubert Halloin
Laboratoire APC / Université Paris Diderot
10 rue Alice Domon et Léonie Duquet
75205 Paris Cedex 13
E-mail : halloin@apc.univ-paris7.fr
Tél: 01 57 27 60 76

Description of the proposed subject:

The LISA project of gravitational waves detection has been selected in spring 2017 as a 'Large'-class mission of the European Space Agency. This mission relies on the capability to measure, using laser interferometry, the distance fluctuations between satellites 2.5 Mkm apart, with a picometer accuracy on seconds to hours timescales.

LISA is the object of an international development, France being part of the European collaboration providing the instrument. LISA is currently in the preliminary definition phase (Phase A). In this context, CNES and about fifteen French laboratories are studying their contributions to the development of the mission data processing center, to the Integration, Testing and Validation of the instrument and to the scientific performance monitoring.

The thesis proposed here deals with the experimental verification of the metrological performances of the LISA mission. Two complementary aspects will be addressed:

- The constellation performance (ie combining the measurements from the 3 satellites) thanks to an existing dedicated interferometric bench.
- The evaluation of the performance of each instrument from ground characterization, thanks to the development of a new bench of metrology

For several years and with the support of CNES, an interferometric bench for metrology demonstration (the LOT: LISA On Table) has been set up at the APC. This bench aims to experimentally demonstrate several aspects of delayed interferometry (TDI) algorithms, which must reduce the phase noise of laser sources by 8 orders of magnitude and is therefore crucial for the LISA mission.

Moreover, the APC is also deeply involved in the implementation of LISA end-to-end simulation tools, from the description of astrophysical sources to analysis methods, via instrument and noise sources modeling. The development and exploitation of the LOT thus makes it possible to compare theory and experience and to differentiate the instrumental effects from the modeling approximations.

Besides, the LISA France collaboration is currently starting the development of a laser metrology bench. This bench simulates, in a simplified way at first, the principle of heterodyne interferometry measurements which will be necessary for the characterizations of the LISA instrument. The main objectives of this bench are to size the technologies and methods to implement, as well as an evaluation of the representativity of the calibrations that can be conducted on the ground. In this project, the APC proposes to integrate the different subsystems (laser source, optical bench, photodiodes, etc.) from the partner laboratories and to carry out the fine tuning and characterization (calibrations, noise levels), in a low noise test environment (thermal, vibration, vacuum).

The work proposed to the future PhD student is therefore focused on the experimental validation of LISA performances, through the continued exploitation of the LOT experiment, as well as the characterization possibilities of LISA instruments thanks to the ground test benches.

More specifically, the student will be working on maintaining, implementing, improving and operating the LOT optical bench and interpreting the obtained results against the corresponding numerical simulations.

The experience acquired on the LOT will then be used to participate in the sizing, prototyping and finally implementation of the optical measurements characterizing the metrology bench. The student will focus on explaining, demonstrating and finding the limits of ground characterization methods for flight performance evaluation. This will include the identification and modeling of different sources of noise measurements, the proposal of methods of characterization of instrumental performance, and their experimental validation on dedicated optical prototypes and / or the metrology bench under development.

For all these experimental activities and their interpretation in terms of instrumental performance, the doctoral student will be able to rely on the scientific and technical teams of the LISA group at the APC laboratory. This work will also be carried out in close collaboration with the other French laboratories involved in LISA, the CNES and, more generally, with the other international institutes involved in the development of the LISA instrument.

This thesis is the subject of a CNRS co-funding request.