

Interactive Visualization of Gravitational Wave Sky Map

(1). The LIGO-Virgo-KAGRA collaboration has cataloged nearly a hundred gravitational-wave (GW) detections from various compact object mergers [1]. These discoveries have motivated the search for other types of GW sources, including the **Gravitational-Wave Background (GWB)**—a potential signal arising from the superposition of individually undetectable cosmological and/or astrophysical sources. Ground-based GW observatories aim to detect this background in the coming years. Currently, we are capable of producing GWB sky maps across all sensitive frequency bins of the detectors [2,3]. However, visualizing these results in a single two-dimensional plot poses challenges. Therefore, an **interactive tool** is desirable—allowing users to explore these results dynamically and retrieve specific information as needed.

Internship Objectives (for ground-based detectors): In this project, the student will develop a **web-based interactive platform** to display GWB sky maps using publicly available GWB datasets [4]. The envisioned webpage will enable users to:

- **Select different map types**, such as signal-to-noise ratio maps or upper limits.
- **Perform basic data manipulations on the fly** for enhanced interactivity.
- **Toggle between** different GWB models.
- **Choose between various map projections and coordinate systems** for flexible data visualization.
- **Interact with the map using intuitive controls** for navigation and exploration.

(2). In parallel, the **Laser Interferometer Space Antenna (LISA)** project [5] is in the development phase of its final products, particularly focusing on building a **pipeline for catalog construction**. A key aspect of this development is the creation of **interactive visualization tools** (e.g., sky maps, posterior corner plots) to facilitate the identification of common sources across different parameter estimation pipelines applied to the detected signals. The ability to interactively explore and compare sources across multiple pipelines will be crucial for the validation, interpretation, and usability of LISA data. The interactive visualization tools developed in **(1)** will later be adapted to the LISA scenario.

Internship Objectives (for space-based detectors): The student will contribute to the LISA mission by developing interactive visualization tools for the analysis and validation of LISA-detected sources. The goal is to incorporate visualization tools in the catalog construction pipelines:

- **Generation of interactive, clickable sky maps** with access to verification tools. (Integration of corner plots and posterior distributions for detailed statistical analysis.)
- **Customizable information display**, allowing users to load and compare different datasets.
- **Support for multiple map projections**, enabling flexible visualization of sky positions.
- **Overlay options for scatter plots or confidence ellipses**, to visualize position uncertainties in the sky.

Prerequisites

- Experience with **Python or Java** for data processing and visualization.
- Familiarity with **web development frameworks and libraries**.
- Basic knowledge of gravitational-wave data analysis is a plus but not required.

This internship offers an opportunity to work at the intersection of **GW astrophysics and data visualization**, contributing to developing tools that enhance the accessibility and interpretation of GWB data.

Contact: Jishnu Suresh (jishnu.suresh@oca.eu) and Guillaume Boileau (guillaume.boileau@oca.eu)

Duration: 4-6 months

Lab: ARTEMIS lab, Observatoire de la Côte d'Azur, Nice

(Version-FR)

Visualisation interactive de cartes du ciel d'ondes gravitationnelles

(1). La collaboration **LIGO-Virgo-KAGRA** à déjà produit un catalogue de près d'une centaine de détections d'ondes gravitationnelles (OG) provenant de fusions de divers objets compact [1]. Ces découvertes ont motivé la recherche d'autre type de sources d'OG, notamment le **fond d'ondes gravitationnelles (GWB:Gravitational-Wave Background)**, ce signal potentiel proviendrait de la superposition de sources astrophysiques et/ou cosmologiques individuellement indétectables. Les observatoires terrestres d'ondes gravitationnelles visent à détecter ce fond dans les années à venir. Actuellement, nous sommes capables de produire des cartes du ciel du GWB sur toutes les bandes de fréquences sensibles des détecteurs [2,3]. Cependant, la visualisation de ces résultats dans un unique graphique bidimensionnel pose des défis. Un **outil interactif** est donc souhaitable, permettant aux utilisateurs d'explorer ces résultats de manière dynamique et d'accéder à des informations spécifiques selon leurs besoins.

Objectifs du stage (pour les détecteurs au sol): Dans ce projet, le stagiaire développera une **plateforme interactive en ligne** permettant d'afficher les cartes du ciel du GWB en exploitant des **données publiques disponibles** [4]. La plateforme envisagée offrira les fonctionnalités suivantes :

- **Sélectionner différents types de cartes**, telles que les cartes du rapport signal-sur-bruit ou des limites supérieures.
- **Effectuer des manipulations des données en temps réel**, pour une interactivité améliorée.
- **Basculer** entre différentes GWB modèle.
- **Choisir entre plusieurs projections de cartes et de système de coordonnées**, pour une visualisation flexible des données.
- **Interagir avec la carte de manière intuitive**, grâce à des commandes de navigation et d'exploration dynamiques

(2). En parallèle, le projet **Laser Interferometer Space Antenna (LISA)** [5] est actuellement en phase de développement de ses produits finaux, avec un accent particulier sur la construction d'un **pipeline de catalogage**. Un élément clé de ce développement est la création d'**outils interactifs de visualisation** (ex: cartes du ciel, diagrammes en coins pour les postérieurs) pour faciliter l'**identification des sources communes** entre les différents pipelines d'estimation des paramètres appliquées aux signaux détectés. La capacité d'explorer et de comparer **de manière interactive** les sources issues de plusieurs pipelines sera essentielle pour la **validation, l'interprétation et l'exploitation** des données LISA. Les outils de visualisation interactive développés dans (1) seront ensuite adaptés au cadre spécifique de LISA.

Objectifs du stage (pour les détecteurs spatiaux): Le stagiaire contribuera à la mission **LISA** en développant des outils interactifs de visualisation pour l'analyse et la visualisation des sources détectées. L'objectif est d'intégrer ces outils dans le pipeline de constructions de catalogues :

- **Génération de cartes du ciel interactives et cliquables** avec accès à des outils de vérification. (Intégration de diagrammes en coins et de distributions posteriors pour une analyse statistique)
- **Affichage d'informations personnalisables**, permettant aux utilisateurs de charger et de comparer différents ensembles de données
- **Support pour plusieurs projections de carte**, offrant une visualisation flexible des positions dans le ciel.
- **Options de superposition pour des nuages de points ou des ellipses de confiance**, afin de visualiser les incertitudes sur les positions dans le ciel.

Prérequis

- Expérience in **Python ou Java** pour le traitement et la visualisation des données.
- Familiarité avec les **structures et bibliothèques de développement web**.
- Connaissance de base de l'**analyse des données d'ondes gravitationnelles** est un plus, mais **non requise**.

Ce stage offre une opportunité de travailler à l'intersection de l'**astrophysique des ondes gravitationnelles et de visualisation des données**, en contribuant au développement d'outils améliorant l'accessibilité et l'interprétation des données du GWB.

Contact: Jishnu Suresh (jishnu.suresh@oca.eu) and Guillaume Boileau (guillaume.boileau@oca.eu)

Durée: 4-6 months

Laboratoire: ARTEMIS lab, Observatoire de la Côte d'Azur, Nice

Reference

1. R. Abbott et al. (LVK collaboration), GWTC-3: Compact Binary Coalescences Observed by LIGO and Virgo during the Second Part of the Third Observing Run, *arXiv: 2111.03606*.
2. R. Abbott et al. (LVK collaboration), All-sky, all-frequency directional search for persistent gravitational-waves from Advanced LIGO's and Advanced Virgo's first three observing runs, *arXiv:2110.09834*.
3. S. Mitra et al., Gravitational wave radiometry: Mapping a stochastic gravitational wave background, *arXiv:0708.2728*.
4. <https://dcc.ligo.org/LIGO-G2102029/public>
5. Colpi, M., Danzmann, K., Hewitson, M., Holley-Bockelmann, K., Jetzer, P., Nelemans, G., ... & Zwick, L. (2024). LISA definition study report. *arXiv:2402.07571*.