

**Title :** Detecting gravitational waves emitted by magnetars

**Context :**

In 2015, the first observation of the merger of two stellar mass black holes in the data of Advanced LIGO has opened up a new era in astrophysics. Gravitational waves (GW), predicted by general relativity provide a new and unique way to study our Universe and especially compact objects such as black holes and neutron stars that are created during the most extreme phenomena ever observed. In 2017 the European detector Advanced Virgo has started operations and, together, LIGO and Virgo detectors have now discovered more than 50 compact binary coalescence (CBC) sources

Since 2015, the Advanced LIGO and Advanced Virgo detectors are interlacing periods of observing runs with detectors' upgrades. The detectors Advanced LIGO and Advanced Virgo are currently getting upgraded in order to gain sensitivity. The 1-year long fourth observing run (O4) will start end of 2022. The more recently commissioned Japanese detector KAGRA will join the O4 run. These detectors are expected to reach their design sensitivity circa 2026 (O5 run).

In addition to the discovery in real-time of CBC sources, their characterization and population studies, the next challenge of the LIGO-Virgo-KAGRA collaboration is to discover new sources of GWs. Among them, magnetars, highly magnetized young neutron stars with surface fields often surpassing  $10^{14}\text{G}$ , are known to exhibit rare extraordinary flares characterized by micro-to-millisecond gamma-ray flashes of energies  $10^{44}\text{--}10^{47}\text{erg}$ . Despite the exact mechanism is unknown, GWs are expected to be emitted when magnetars flare. Recent observations are indicating that actually magnetar giant flares may be a distinct class of short gamma-ray bursts. Their volumetric rate would be several orders of magnitude higher than compact object mergers, making galactic magnetars a very exciting potential sources of GWs. We have also shown that direct GW searches targeting magnetars will be sensitive to GW emission from a galactic magnetar in O4/O5 runs. This also means that the contribution of GWs emitted by magnetars might also be detected in the GW stochastic background during the next observing campaign.

The PhD thesis will focus on searching for GW signals from targeted magnetars flares as well in the resulting stochastic background of GW from these sources.

**Thesis workplan :**

Starting in Fall 2021, the PhD student will develop within the pystampas pipeline a stacking algorithm to enhance the GW signal associated with quasi periodic oscillation magnetar flare tails. The student will also work with magnetar source experts to estimate the contributions of magnetars to the GW stochastic background using the most recent information about magnetars. The student will develop a method to estimate the contribution of the different GW sources to the GW stochastic background. When the LIGO-Virgo-KAGRA observing run O4 starts (december 2022), the student will participate to the study will apply his/her algorithms to search for signals in the data.

**The Virgo Team at ARTEMIS**

The ARTEMIS laboratory currently hosts ~22 permanent personnel (2 faculty, 19 CNRS, 2 CNAP) 3 post-docs and on average ~ 5 PhD students. Concerning Advanced Virgo, the group has the responsibility for the upgrade of the laser system. Concerning data analysis, the

ARTEMIS group is recognized as specialists for the search for a stochastic GW background, transient signals in association with GRBs, magnetars, multi-messenger analyses, unmodelled transient searches and compact object binary astrophysics.

**Contact :**

Marie Anne Bizouard ([marianne.bizouard@oca.eu](mailto:marianne.bizouard@oca.eu))

**Titre :** Detection des ondes gravitationnelles émises par des magnétars.

**Contexte :**

En 2015, l'observation de la fusion de deux trous noirs de masse stellaire dans les données d'Advanced LIGO a ouvert une nouvelle ère en astrophysique. Les ondes gravitationnelles (OGs), prédites par la relativité générale, offrent une manière nouvelle et unique d'étudier notre Univers et en particulier les objets compacts tels que les trous noirs et les étoiles à neutrons qui sont créés lors des phénomènes les plus extrêmes jamais observés. En 2017, le détecteur européen Advanced Virgo a commencé ses opérations et, ensemble, les détecteurs LIGO et Virgo ont maintenant découvert plus de 50 sources de coalescence de systèmes binaires d'objets compacts (CBC).

Depuis 2015, les détecteurs Advanced LIGO et Advanced Virgo entrelacent des périodes d'observation avec les mises à niveau des détecteurs. Les détecteurs Advanced LIGO et Advanced Virgo sont actuellement en cours de mise à niveau. La quatrième période d'observation (O4), d'une durée d'un an, débutera fin 2022. Le détecteur japonais KAGRA, plus récemment mis en service, rejoindra aussi O4. On s'attend à ce que ces détecteurs atteignent leur sensibilité nominale vers 2026 (run O5).

Outre la découverte en temps réel des sources CBC, leur caractérisation et les études de population, le prochain défi de la collaboration LIGO-Virgo-KAGRA est de découvrir de nouvelles sources de GW. Parmi eux, les magnétars, de jeunes étoiles à neutrons hautement magnétisées avec des champs de surface dépassant souvent  $10^{14}$ G, sont connus pour présenter de rares éruptions extraordinaires caractérisées par des flashes gamma pouvant atteindre les énergies  $10^{44}$ – $10^{47}$ erg. Bien que le mécanisme exact soit inconnu, on s'attend à ce que des OGs soient émises lorsque les magnétars émettent des flares. Des observations récentes indiquent qu'en réalité les éruptions géantes de magnétars pourraient former une classe distincte de sursauts gamma courts. Leur taux volumétrique serait de plusieurs ordres de grandeur plus élevé que les fusions d'objets compacts, faisant des magnétars galactiques une source potentielle très excitante d'OGs. Nous avons également montré que les recherches directes d'OG ciblant les magnétars seront capables de détecter un signal d'un magnétar dans la galaxie pendant O4 / O5. Cela signifie également que la contribution des OGs émises par les magnétars pourrait également être détectée dans le fond stochastique d'OGs lors de la prochaine campagne d'observation.

La thèse de doctorat se concentrera sur la recherche de signaux d'OGs émises lors des bouffées gamma de magnétars ainsi que dans le fond stochastique résultant des OGs émises par ces sources.

**Travail de thèse :**

En démarrant à l'automne 2021, le doctorant/la doctorante développera au sein du pipeline « pystampas » un algorithme d'empilement pour améliorer la détection du signal GW associé aux oscillations quasi périodiques observées dans la distribution du rayonnement gamma des magnétars. L'étudiant/étudiante travaillera également sur l'estimation de la contribution des magnétars au fond stochastique d'OGs en utilisant les informations les plus récentes sur les magnétars. L'étudiant développera une méthode pour estimer la contribution des différentes sources d'OGs au fond stochastique. Lorsque la période d'observation O4 de LIGO-Virgo-

KAGRA démarre (décembre 2022), l'étudiant appliquera ses algorithmes pour rechercher des signaux dans les données.

### **L'équipe Virgo d'ARTEMIS**

Le laboratoire ARTEMIS est composé de 22 membres permanents (2 maîtres de conférence, 19 chercheurs/ingénieurs CNRS et 1 astronome), 3 post-docs et en moyenne 5 étudiants en thèse. Pour Advanced Virgo le groupe a la responsabilité de la mise à jour du laser. En ce qui concerne l'analyse de données, le groupe est reconnu pour ses contributions dans la recherche du bruit de fond stochastique d'ondes gravitationnelles, des signaux transitoires associés aux GRBs et magnetars, à l'analyse multi-messagers ainsi qu'à la recherche des sources transitoires non modélisée et l'astrophysique des systèmes binaires.

### **Contact :**

Marie Anne Bizouard (marianne.bizouard@oca.eu)