

Résumé de thèse de Pierre-Alexandre Duvergne :

Astronomie Multi-Messagers: de la localisation des sources transitoires d'ondes gravitationnelles au suivi optique

L'astronomie multi-messager combine les informations fournies via différents signaux physiques. Cette dernière a pris son essor le 17 août 2017 lors de la détection conjointe d'une onde gravitationnelle (OG) par les détecteurs LIGO et Virgo et d'émissions couvrant tout le spectre électromagnétique des rayons gamma aux ondes radio. La source identifiée est une coalescence de deux étoiles à neutrons à 40 Mpc. Le sursaut gamma est la première contrepartie observée par l'instrument GBM du satellite Fermi, moins de deux secondes après la détection de l'OG. 11h après la fusion, la contrepartie optique, appelée kilonova, est découverte par le télescope Swope. Et quelques semaines après, les signaux X et radio sont découverts par le satellite Chandra et le radiotélescope VLA respectivement.

Cet événement a véritablement lancé l'astronomie multi-messager basée sur les OG. Elle a notamment eu pour conséquence la création du réseau GRANDMA dont les objectifs sont:

- Gestion des alertes OG
- Suivi optique
- Caractérisation des candidats
- Interprétation astrophysique

Le développement de l'infrastructure est notamment passé par la création de Muphoten, un code d'analyse photométrique capable de créer des données homogènes, malgré l'hétérogénéité des instruments de GRANDMA. Cette analyse a été développée grâce au suivi de la supernova SN2018cow par de nombreux instruments, incluant certains de GRANDMA. En parallèle de ce développement, GRANDMA a été particulièrement actif pendant la campagne d'acquisition de données par LIGO et Virgo O3 en suivant 49 des 53 alertes publiées. Aucune contrepartie, optique ou autre, n'a été découverte par GRANDMA ou un autre groupe. Mais la campagne a démontré le potentiel du réseau pour le suivi de transitoires optiques rapides tels que les kilonovae.

En vue de poursuivre le développement du réseau, et de préparer O4, deux campagnes ont été organisées par GRANDMA. Pour la première, GRANDMA et sa branche amateur, Kilonova-Catcher, ont suivi 12 alertes produites par le relevé ZTF. Cela a permis de développer les capacités de GRANDMA à caractériser et classer des transitoires optiques via une analyse purement photométrique, ce qui est une des contraintes imposées par le suivi d'alertes OG. D'autre part, cette campagne a permis d'utiliser Muphoten ainsi qu'une autre analyse photométrique indépendante, STDpipe permettant d'évaluer la présence de biais systématiques dans l'un ou l'autre des codes et de finalement démontrer que les résultats produits étaient cohérents.

Pour la seconde campagne de GRANDMA, les observateurs ont suivi les alertes du satellite Swift, détectant des sursauts gamma, afin de trouver les émissions optiques associées à l'émission gamma, appelées afterglow. L'analyse de ces observations est toujours en cours. Cependant, la découverte de contreparties électromagnétiques aux émissions d'OG nécessite l'envoi d'informations fiables dans les premières minutes suivant la détection du signal. L'une des plus cruciales pour le suivi par GRANDMA est la localisation spatiale de la source, évaluée par l'algorithme Bayestar. Afin d'évaluer la consistance des résultats produits par Bayestar, des simulations de fusion d'objets compacts ont été produites et utilisées pour faire un test pourcentage-pourcentage. Ce dernier permet d'évaluer si la reconstruction des paramètres de la source, ce qui inclut la position, est biaisée. Ceci a permis d'identifier le paramètre  $\xi$ , codé en dur dans Bayestar, comme pouvant conduire à une surestimation des incertitudes, et in fine, une plus grande aire à couvrir par les instruments de suivi

électromagnétique.

Des simulations additionnelles, incluant des injections de signaux analysées en ligne par PyCBC Live, ont été faites pour déterminer pourquoi ce paramètre était nécessaire à Bayestar. Celles-ci conduisent à penser que  $\xi$  permet de compenser les différences entre les paramètres de la source et ceux du modèle de forme d'onde utilisés pour localiser la source.