



INSTITUT DE FRANCE  
Académie des sciences

Inria



VILLE DE NICE

UNIVERSITÉ  
CÔTE D'AZUR 

## Académie en région à Nice et Sophia Antipolis

### La détection des ondes gravitationnelles : une nouvelle fenêtre pour l'univers

Nelson Christensen  
Artemis,

Albert Einstein a publié sa théorie de la relativité générale en 1915, ce qui a remplacé la gravité newtonienne. En 1916, il a dérivé de nombreuses solutions approximatives pour la relativité générale, y compris les ondes gravitationnelles. Einstein a reconnu que l'effet physique des ondes gravitationnelles serait très faible. Il croyait qu'ils seraient trop petits pour être mesurés. Il aura fallu pas moins d'un siècle pour mesurer les ondes gravitationnelles.

La gravitation n'est pas une force mais une déformation de l'espace-temps. La masse déforme l'espace-temps. Les masses en accélération créent des ondes gravitationnelles. Les ondes sont très petites et l'espace résiste aux déformations. De nombreuses sources astrophysiques se trouvent dans la bande de fréquences audio.

Il y a deux objets importants dans l'univers pour la production d'ondes gravitationnelles : les étoiles à neutrons et les trous noirs. Une étoile à neutrons se forme à la mort d'une étoile, par exemple après une supernova. Ces sphères de neutrons ont typiquement une masse de 1,4 fois celle de notre soleil mais un rayon de seulement 12 km, soit environ la taille de Nice ! Une étoile à neutrons est si dense qu'une cuillère à café (5 mm) de son matériau aurait une masse environ 900 fois la masse de la Grande Pyramide de Gizeh. Un trou noir est un objet tellement dense que son effet sur la courbure de l'espace est extrême ; rien ne peut s'en échapper, pas même la lumière. Les étoiles mortes peuvent devenir des trous noirs. Si une étoile à neutrons devient trop massive, elle s'effondrera en un trou noir.

Virgo est un détecteur d'ondes gravitationnelles construit par la France et l'Italie. Virgo est un interféromètre en forme de L, avec des bras de 3 km de longueur. Il est situé aux abords de Pise en Italie. Les États-Unis ont construit deux détecteurs d'ondes gravitationnelles appelés LIGO, avec 4 km de bras et situés en Louisiane et dans l'État de Washington. Après de nombreuses années de travail acharné dont résultent les améliorations techniques par les fortes contributions d'Artemis, Virgo opère en mode science pour rechercher des ondes gravitationnelles avec LIGO. Virgo et LIGO ont commencé leur troisième période

d'observation en avril 2019 et les détections des ondes gravitationnelles arrivent à un rythme d'environ une fois par semaine.

Depuis les deux premières périodes d'observation, Virgo et LIGO ont annoncé la détection de onze événements d'ondes gravitationnelles. Virgo a maintenant participé à quelques observations très importantes. L'un des événements a été la fusion d'un système de trous noirs binaires qui a été observé avec les détecteurs américains, LIGO. Il s'agissait de la première observation d'ondes gravitationnelles réalisée avec trois détecteurs, ce qui a permis d'améliorer considérablement la détermination de la position de la source dans le ciel. Une autre observation a été la détection d'ondes gravitationnelles issues de la fusion d'un système d'étoiles à neutrons binaires. Cet événement a également été observé avec le rayonnement électromagnétique, des rayons gamma à la radio. Un kilonova a été observé. C'était l'une des observations les plus importantes de l'histoire de l'astrophysique. En Nice, les membres d'Artemis ont participé à la construction du détecteur Virgo, à l'observation des ondes gravitationnelles, à l'observation des rayons gamma et des rayonnements optiques (y compris le réseau de télescopes TAROT hébergé chez Artemis) et à l'interprétation des résultats.



L'Agence spatiale européenne a accepté le projet pour un détecteur d'ondes gravitationnelles dans l'espace, LISA (Laser Interferometer Space Antenna) et ce projet est devenu une des priorités pour Artemis. LISA sera lancé dans l'espace en 2034 pour une mission de 4 à 10 ans. LISA aura la forme d'un triangle avec 3 interféromètres et des bras de 2,5 millions de kilomètres. Ce projet implique de nombreux chercheurs à travers la France et l'Europe et également aux États-Unis grâce à l'implication de la NASA.

En résumé, des ondes gravitationnelles ont été observées par Virgo et LIGO : des trous noirs et des étoiles à neutrons. L'univers a plus de trous noirs de masse stellaire que prévu. La fusion d'étoiles à neutrons binaires produit des sursauts gamma et forme les éléments lourds de l'univers. Depuis avril 2019, LIGO et Virgo observent un événement chaque semaine. Les détecteurs d'ondes gravitationnelles KAGRA (Japon) and LIGO-India se joindront dans les années à venir. La mission LISA progresse rapidement. L'avenir est prometteur pour l'observation de l'univers avec des ondes gravitationnelles.

## Références

Nobel Lecture: LIGO and the discovery of gravitational waves I  
Rainer Weiss, Reviews of Modern Physics Vol. 90, 040501 (2018)  
<https://doi.org/10.1103/RevModPhys.90.040501>

Virgo et la quête des ondes gravitationnelles  
Fabien Cavalier, Patrice Hello, Nicolas Leroy (2013)  
[http://www.cnrs.fr/publications/imagesdelaphysique/couv-PDF/IdP2010/03\\_Virgo\\_Laser.pdf](http://www.cnrs.fr/publications/imagesdelaphysique/couv-PDF/IdP2010/03_Virgo_Laser.pdf)

Les Ondes Gravitationnelles : Une Nouvelle Astronomie  
Luc Blanchet (2018)  
[http://www2.iap.fr/users/blanchet/images/Dunod\\_OG.pdf](http://www2.iap.fr/users/blanchet/images/Dunod_OG.pdf)

Laser Interferometer Space Antenna  
Pau Amaro-Seoane et al. (2017)  
<https://arxiv.org/abs/1702.00786>