

GWTC-3 : 35 nouvelles secousses de l'espace-temps découvertes par Virgo et LIGO

Lundi 8 novembre 2021

35 nouveaux événements détectés par LIGO et Virgo lors de leur dernière prise de données portent à 90 le nombre de signaux gravitationnels détectés à ce jour. Ces événements sont des secousses de l'espace-temps générées par les fusions soit de deux trous noirs ou de deux étoiles à neutrons, soit de paires constituées d'un trou noir et d'une étoile à neutrons. Ces résultats, publiés aujourd'hui dans le troisième catalogue de sources transitoires d'ondes gravitationnelles, GWTC-3, brossent le portrait de nouvelles populations de trous noirs dont les masses, associées à celles des étoiles à neutrons observées, pourraient fournir des informations sur la manière dont les étoiles vivent et meurent, ce qui élargit encore le champ de l'astronomie gravitationnelle.

Les 35 nouveaux événements détectés entre novembre 2019 et mars 2020, durant la seconde partie de la dernière campagne de prise de données de LIGO et Virgo (O3b) portent à 90 le nombre total de signaux d'ondes gravitationnelles détectés à ce jour par le réseau global constitué par les trois interféromètres.

La plupart de ces nouveaux signaux ont été produits lors de fusions de deux trous noirs : chacun de ces cataclysmes cosmiques fait vibrer l'espace-temps et génère une bouffée puissante d'ondes gravitationnelles. Deux autres événements, [dont l'un avait déjà été publié au mois de juin dernier](#), ont été par contre identifiés comme des fusions entre une étoile à neutrons et un trou noir, une source d'ondes gravitationnelles d'un type nouveau, observée pour la première fois lors de cette dernière prise de données LIGO-Virgo O3. Un autre signal de fusion, détecté en février 2020, pourrait provenir soit d'un système de deux trous noirs, soit d'une paire mixte constituée d'une étoile à neutrons et d'un trou noir. En effet, la masse de l'astre le moins massif tombe à l'intérieur d'un intervalle particulier- appelé « mass gap » en anglais - dans lequel, avant les observations récentes d'ondes gravitationnelles, on pensait ne trouver aucun trou noir ni étoile à neutrons. L'existence d'astres dans cette gamme de masses reste une énigme pour les scientifiques.

Ces nouvelles détections ont été publiées aujourd'hui 8 novembre 2021 par les collaborations scientifiques Virgo, LIGO et KAGRA (LVK), dans le troisième catalogue de sources transitoires d'ondes gravitationnelles (GWTC-3), sur le site de prépublication arXiv. Le Catalogue est accompagné de trois autres publications, qui se focalisent sur les conséquences astrophysiques et cosmologiques de ces nouvelles observations et présentent une recherche d'ondes gravitationnelles en coïncidence avec des sursauts gamma détectés pendant O3b.

Dès qu'un signal est considéré comme un possible événement astrophysique par le système d'analyse de données des détecteurs et que ce diagnostic a été vérifié par des scientifiques, des informations préliminaires sur la localisation dans le ciel de la source d'ondes gravitationnelles et sur sa nature (c'est-à-dire une paire de trous noirs, une paire d'étoiles à neutrons ou un système mixte étoile à neutrons – trou noir) sont rendues publiques, presque

en temps réel. Ces « alertes à faible latence » permettent un suivi multi-messagers, c'est-à-dire la recherche par des télescopes ou des observatoires sur Terre ou dans l'espace de signaux de différents types (par exemple des signaux électromagnétiques ou la détection de neutrinos) émis par la même source que celle à l'origine des ondes gravitationnelles.

Durant la dernière campagne d'observations, les collaborations LIGO et Virgo ont rendu publiques 39 alertes en temps réel vers la communauté scientifique pour de potentiels signaux d'ondes gravitationnelles. 18 de ces événements-candidats ont été confirmés et 17 autres ont été ajoutés par des analyses ultérieures. Les résultats de ces analyses, plus complètes et affinées, sont ceux publiés aujourd'hui dans le Catalogue GWTC-3. Aucune contrepartie multi-messagers confirmée n'a néanmoins été annoncée.

« L'analyse hors-ligne des données a continué pendant de nombreux mois après la fin de la prise de données, car elle nécessitait un travail long et complexe de calibration et d'analyse par différentes équipes de chercheurs, travaillant en parallèle avec des méthodes différentes », commente Viola Sordini, chercheuse CNRS à l'Institut de Physique des deux Infinis de Lyon. « En effet, dans certains cas, nous cherchons dans les données des signaux qui ressemblent autant que possible aux formes prédites par les modèles théoriques. D'autres groupes analysent au contraire en détail toutes les caractéristiques du signal qui émerge du bruit du détecteur, sans s'appuyer sur aucune forme de référence. C'est un travail extrêmement intense, pour lequel des centaines de chercheurs du monde entier se coordonnent. »

En parallèle, les collaborations LIGO, Virgo et KAGRA ont publié aujourd'hui toutes les données calibrées enregistrées par les détecteurs LIGO et Virgo entre novembre 2019 et mars 2020. Cela permet à l'ensemble de la communauté scientifique de les analyser de manière indépendante et de tester les résultats obtenus, afin d'exploiter au mieux ces données scientifiques uniques.

Le nouvel horizon de l'astronomie gravitationnelle

Le Catalogue GWTC-3 et les articles publiés aujourd'hui qui l'accompagnent offrent une vue sans précédent sur de nouveaux événements astrophysiques extrêmes et mettent en lumière les caractéristiques des populations de trous noirs, établissant de nouveaux records et de nouvelles limites sur les masses de trous noirs et d'étoiles à neutrons.

Plusieurs des trous noirs formés à partir de ces fusions ont des masses qui excèdent 100 fois la masse du soleil, et sont considérés comme des « trous noirs de masse intermédiaire ». Ce type de trous noirs est de grand intérêt, puisqu'il est susceptible de jouer un grand rôle dans la formation des trous noirs supermassifs trouvés au centre des galaxies. Ces trous noirs ont été envisagés théoriquement depuis longtemps par les astrophysiciens, et ont été détectés directement pour la première fois par les signaux d'ondes gravitationnelles observés par la collaboration LVK.

De plus, une des fusions implique un trou noir (de masse environ 33 fois celle du soleil) avec une étoile à neutrons très légère (à peine 1,2 masse solaire). C'est une des étoiles à neutrons les moins massives jamais détectée, aussi bien en utilisant des ondes gravitationnelles que des ondes électromagnétiques.

Enfin, on trouve aussi dans le catalogue un système binaire pour lequel les scientifiques ne peuvent définir avec certitude si l'astre ayant la plus faible masse est une étoile à neutrons ou un trou noir. Sa masse, de 2,8 fois celle du soleil, est déconcertante, car les scientifiques s'attendent à une masse maximale pour une étoile à neutrons d'environ 2,5 fois celle du soleil. Néanmoins, aucun trou noir avec une masse inférieure à 5 masses solaires n'a jamais été détecté par des observations électromagnétiques.

En général, la distribution observée des masses des trous noirs et des étoiles à neutrons met en tension les modèles astrophysiques qui décrivent l'évolution et la mort des étoiles dont ils émanent. De plus, les propriétés physiques des sources détectées offrent de nouveaux indices sur les environnements astrophysiques dans lesquels les événements astrophysiques extrêmes étudiés ont le plus de chance de s'être produits : des environnements stellaires denses, tels que des amas globulaires, de jeunes amas ou même des disques d'accrétion de noyaux actifs de galaxie.

« J'ai toujours de vifs souvenirs de notre enthousiasme à nous scientifiques au moment de l'annonce publique de la première découverte d'ondes gravitationnelles au début de 2016 », nous a dit Edoardo Milotti, membre de la collaboration Virgo Collaboration à l'Université de Trieste et à l'INFN. « Maintenant, moins de six ans après, les découvertes publiées dans le Catalogue GWTC-3 ajoutent de nouvelles informations précieuses au domaine nouveau, et en croissance rapide, de l'astronomie gravitationnelle, et fournissent une nouvelle perspective sur de nombreux aspects de l'Univers, comme par exemple les populations de systèmes binaires de trous noirs ou d'étoiles à neutrons. »

Grâce aux données de cette dernière campagne d'observations, les chercheurs de LIGO, Virgo et KAGRA ont également été capables d'utiliser les signaux d'ondes gravitationnelles pour augmenter encore la précision de la mesure de la constante de Hubble (c'est-à-dire du taux d'expansion de l'Univers). Cette méthode est une alternative aux estimations basées uniquement sur des signaux électromagnétiques ou sur le fond cosmologique micro-ondes. La méthode la plus directe, qui nécessite des événements d'ondes gravitationnelles avec des contreparties électromagnétiques, n'a pas été possible, étant donné l'absence de détection de telles contreparties. Mais le grand nombre de signaux observés a permis d'utiliser une approche statistique pour estimer néanmoins le taux d'expansion.

Le futur

Les progrès obtenus en quelques années dans le domaine des ondes gravitationnelles ont été incroyables, des premières détections à l'observation de plusieurs signaux par mois. Ils ont été rendus possibles par les programmes réguliers d'améliorations techniques qui ont transformé les premiers instruments pionniers en des détecteurs efficaces dont la sensibilité s'améliore régulièrement. Cette progression est évidente si l'on remarque que, sur les 90 détections publiées à ce jour, 79 viennent de la seule prise de données LIGO-Virgo la plus récente, O3, entre avril 2019 et mars 2020.

Une nouvelle phase d'améliorations est en cours pour les détecteurs LIGO et Virgo. La prochaine prise de données commune (O4) est prévue pour le second semestre 2022 et

devrait se caractériser par une sensibilité encore accrue, laquelle permettrait d'observer un volume d'Univers près de 10 fois plus grand que précédemment et donc de détecter encore plus de signaux d'ondes gravitationnelles.

« L'un des changements principaux au niveau du détecteur Virgo consiste en l'ajout d'une cavité optique supplémentaire (appelée cavité de recyclage du signal) qui permet d'améliorer la sensibilité du détecteur à hautes fréquences » explique Sebastian Steinlechner, maître de conférences à l'Université de Maastricht et membre du laboratoire Nikhef. « Cela se traduira par une capacité accrue de l'instrument pour « écouter » les derniers instants avant la fusion d'un système binaire de trous noirs ou d'étoiles à neutrons. »

Pendant ce temps, le réglage et la préparation du détecteur KAGRA au Japon sont en cours ; KAGRA devrait rejoindre LIGO et Virgo au cours de la prise de données O4. Augmenter la taille du réseau global de détecteurs d'ondes gravitationnelles permettra d'améliorer la localisation des sources des signaux dans le ciel, une étape capitale pour les développements futurs de l'astronomie multi-messagers avec ondes gravitationnelles.

« Les nouveaux articles montrent comment Virgo, LIGO et KAGRA progressent rapidement vers une nouvelle phase », déclare Giovanni Losurdo, porte-parole de Virgo et chercheur à l'INFN. « De la découverte et de l'observation d'événements isolés à des études sur leurs populations, une manière performante d'étudier la nature de l'univers sombre. Ce changement apparaîtra encore plus lors des prochaines campagnes de prise de données, quand, avec les dernières améliorations, nous nous attendons à détecter jusqu'à un événement par jour. »

Images et multimédia : <https://tinyurl.com/gwtc3>.

Observatoires d'ondes gravitationnelles

La Collaboration Virgo est actuellement composée d'environ 700 membres, venant de 126 institutions dans 15 pays (principalement européens). L'observatoire Gravitational Européen (European Gravitational Observatory – EGO) accueille le détecteur Virgo près de Pise, en Italie, et est financé par le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) en France, l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) en Italie et le National Institute for Subatomic Physics (Nikhef) aux Pays-Bas. Une liste des groupes de la Collaboration Virgo peut être trouvée sur <http://public.virgo-gw.eu/the-virgo-collaboration>.

Plus d'information est disponible sur le site web de Virgo, <http://www.virgo-gw.eu>

LIGO est financé par la National Science Foundation (NSF) et géré par Caltech et le MIT, qui ont conçu LIGO et dirigé le projet. Le soutien financier du projet Advanced LIGO a été assuré par la NSF, avec un soutien et des contributions significatives de l'Allemagne (Société Max Planck), du Royaume-Uni (Science and Technology Facilities Council) et de l'Australie (Australian Research Council-OzGrav). Environ 1 300 scientifiques du monde entier participent à cet effort à travers la LIGO Scientific Collaboration, qui inclut la Collaboration GEO. Une liste des autres partenaires est disponible à l'adresse <https://my.ligo.org/census.php>.

L'interféromètre laser KAGRA, avec des bras de 3 kilomètres, est situé à Kamioka, Gifu, au Japon. L'institut hôte est l'Institute of Cosmic Ray Researches (ICRR) à l'Université de Tokyo, et le projet est également géré par le National Astronomical Observatory du Japon (NAOJ) et la High Energy Accelerator Research Organization (KEK). KAGRA a terminé sa construction en 2019 et a ensuite rejoint le réseau international de détecteurs d'ondes gravitationnelles constitué par LIGO et Virgo. La prise de données a commencé en février 2020, durant la dernière partie de la campagne O3b. Le KAGRA Scientific Congress est composé de plus de 470 membres, venant de 115 instituts dans 14 pays ou régions. La liste des chercheurs est disponible à l'adresse <http://gwwiki.icrr.u-tokyo.ac.jp/JGWwiki/KAGRA/KSC/Researchers>.

Des informations sur KAGRA sont disponibles sur le site :

<https://gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en>.

Contacts media en Europe

EGO

Vincenzo Napolano napolano@ego-gw.it +393472994985

Virgo

Livia Conti livia.conti@pd.infn.it

CNRS, France

Véronique Etienne veronique.etienne@cnrs.fr +33 1 44 96 51 37

INFN, Italie

Antonella Varaschin antonella.varaschin@presid.infn.it

Nikhef, Pays-Bas

Martijn van Calmthout martijn.van.calmthout@nikhef.nl +31 6 46637876

Contacts media aux Etats-Unis

Caltech

Whitney Clavin wclavin@caltech.edu 626-390-9601

MIT

Abigail Abazorius abbya@mit.edu 617-253-2709

NSF

Josh Chamot jchamot@nsf.gov 703-292-4489