

Virgo et LIGO révèlent de nouvelles et inattendues populations de trous noirs

Les collaborations Virgo et LIGO annoncent la détection de la fusion d'un système double de trous noirs extraordinairement massif : deux trous noirs pesant respectivement 85 et 66 masses solaires, dont la fusion a formé un trou noir de 142 masses solaires. Ce dernier est l'astre le plus massif jamais détecté en ondes gravitationnelles. Il se situe dans une gamme de masses où aucun trou noir n'avait été observé jusqu'alors – que ce soit avec des ondes gravitationnelles ou des télescopes électromagnétiques – et il pourrait aider à expliquer la formation des trous noirs supermassifs. De plus, le trou noir le plus lourd du système binaire initial a une masse qui se trouve dans un intervalle « interdit » par la théorie actuelle de l'évolution stellaire ; ainsi, sa découverte pourrait remettre en question notre compréhension des dernières étapes de la vie des étoiles massives.

Les scientifiques membres des collaborations internationales en charge du détecteur Advanced Virgo sur le site de l'European Gravitational Observatory (EGO) en Italie et des deux instruments Advanced LIGO situés aux Etats-Unis ont annoncé la détection d'un trou noir de 142 masses solaires, issu de la fusion de deux trous noirs pesant respectivement 85 et 66 masses solaires. Tant les deux trous noirs initiaux que celui issu de leur collision se trouvent dans une gamme de masses qui n'avait encore jamais été rencontrée, que ce soit en ondes gravitationnelles ou via des observations électromagnétiques. Le trou noir final est le plus lourd jamais détecté à l'aide d'ondes gravitationnelles. Cet événement a été enregistré le 21 mai 2019 par les trois détecteurs du réseau global Virgo-LIGO. Le signal, baptisé GW190521, a été analysé par les scientifiques des deux collaborations qui ont estimé sa [distance de luminosité](#) à environ 17 milliards d'années-lumière (décalage vers le rouge, ou *redshift*, estimé à 0,82). Deux articles scientifiques décrivant la découverte et détaillant ses conséquences astrophysiques ont été publiés aujourd'hui, l'un dans la revue *Physical Review Letters*, l'autre dans *Astrophysical Review Letters*.

« L'événement détecté le 21 mai de l'année dernière est très complexe et, comme le système binaire détecté est très massif, le signal d'ondes gravitationnelles n'a été observé que pendant un temps très court, environ 0,1 s », a déclaré Nelson Christensen, directeur de recherche CNRS au laboratoire ARTEMIS à Nice (France) et membre de la Collaboration Virgo. « Le signal ne ressemble pas aux chirps (« gazouillis » en français) que l'on a maintenant l'habitude de détecter lors de fusions de systèmes binaires ; c'était plutôt quelque chose comme un « bang » et le système binaire qui l'a généré est le plus massif détecté par LIGO et Virgo à ce jour. Effectivement, l'analyse détaillée de ce signal, basée sur un ensemble puissant d'outils informatiques et de simulation de pointe, a révélé une grande quantité d'informations sur les différentes étapes de cette fusion unique en son genre.

La détection du système binaire exceptionnel GW190521 est une découverte sans précédent pour de nombreuses raisons et le fait d'avoir établi un nouveau record en masse sur l'ensemble des périodes d'observation Virgo-LIGO n'est que l'une des raisons qui rendent ce signal si spécial. Un élément crucial, qui a particulièrement retenu l'attention des scientifiques, est le fait que le trou noir final produit par la fusion appartient à la classe des trous noirs dits « de masse intermédiaire » qui va d'une centaine à 100 000 masses solaires. L'intérêt pour cette population de trous noirs est relié à l'une des questions ouvertes les plus fascinantes et les plus difficiles pour qui étudie le cosmos : l'origine des trous noirs supermassifs. Ces monstres gigantesques, des millions de fois plus lourds que le Soleil et souvent situés au centre de galaxies, pourraient être issus de fusions successives de trous noirs de masse intermédiaire, plus « petits ».

À ce jour, très peu d'astres candidats susceptibles d'appartenir à la catégorie des trous noirs de masse intermédiaire ont été observés par des télescopes électromagnétiques et le trou noir formé par la fusion GW190521 est le premier trou noir de masse intermédiaire détecté en ondes gravitationnelles. Plus encore, sa masse est comprise entre 100 et 1 000 masses solaires, un intervalle qui s'est apparenté pendant des années à un « désert pour les trous noirs », à cause de la pénurie de possibles trous noirs dans cette gamme de masse.

L'étude des deux astres qui forment le système binaire GW190521 et de la dynamique de ce dernier ouvrent des perspectives scientifiques extraordinaires. En particulier, le trou noir le plus massif met à mal les modèles astrophysiques qui décrivent l'effondrement des étoiles les plus massives en trous noirs à la fin de leur vie. En effet, de tels astres très massifs devraient être complètement disloqués lors de leur explosion en supernova – sous l'effet d'un processus appelé « instabilité de paires » – et ne laisser derrière elles que du gaz et de la poussière cosmique. Ainsi, les scientifiques ne s'attendaient pas à observer de trou noir dans un intervalle de masses compris entre 60 et 120 masses solaires environ, exactement là où se trouve l'astre le plus massif du système GW190521. Cette détection offre donc des perspectives nouvelles pour l'étude des étoiles massives et des mécanismes de supernova – si ces trous noirs en sont issus.

« Plusieurs scénarios alternatifs prédisent la formation de trous noirs dans le « désert associé au processus d'instabilité de paires » ; ces astres pourraient être le résultat de fusions de trous noirs plus légers, ou bien issus de (nombreuses) collisions entre étoiles massives ou encore de processus plus exotiques », souligne Michela Mapelli professeur à l'Université de Padoue (Italie), membre de la section INFN de Padoue et de la Collaboration Virgo. « Cependant, il est aussi possible que nous devions revoir notre compréhension actuelle des étapes finales de la vie d'une étoile et des contraintes qui en résultent sur la masse des trous noirs formés. Dans les deux cas, GW190521 est une contribution majeure à l'étude de la formation des trous noirs. »

En fait, la détection par Virgo et LIGO du signal GW190521 met en lumière l'existence de populations de trous noirs qui n'avaient encore jamais été observées ou sont inattendues. Et, de ce fait, elle pose de nouvelles questions fascinantes sur les mécanismes qui ont formé ces astres. Malgré la durée inhabituellement courte du signal – qui limite au final notre capacité à mesurer les propriétés astrophysiques de sa source – les méthodes d'analyse des données les plus avancées et les modèles actuellement disponibles suggèrent que les deux trous noirs initiaux avaient des « spins », c'est-à-dire qu'ils étaient en rotation rapide sur eux-mêmes.

« Le signal contient également des indices qui pointent vers un mouvement de précession, c'est-à-dire un mouvement de rotation du plan de l'orbite du système, induit par des spins importants et orientés de manière particulière », ajoute Tito Dal Canton, chercheur CNRS à l'IJCLab à Orsay (France) et membre de la Collaboration Virgo. « L'effet reste faible et on ne peut donc pas affirmer qu'il est bien présent mais, si c'était le cas, cela irait dans le sens d'une hypothèse qui verrait les deux trous noirs du système GW190521 naître et évoluer dans un environnement cosmique perturbé et encombré, comme un amas dense d'étoiles ou le disque d'accrétion d'un noyau actif de galaxie. »

De nombreux scénarios théoriques restent compatibles avec ces résultats et même l'hypothèse que les deux trous noirs puissent être des trous noirs primordiaux n'a pas pu être écartée par les

scientifiques. En fait, nous avons estimé l'âge de la fusion à environ sept milliards d'années, c'est-à-dire lorsque l'Univers était encore jeune.

Par rapport aux précédentes détections d'ondes gravitationnelles, GW190521 est un signal très bref et donc plus difficile à analyser. Sa complexité fait que différentes hypothèses, y compris exotiques, ont été considérées pour expliquer son origine : toutes ces possibilités sont décrites dans les articles rendus publics aujourd'hui. Mais elles apparaissent toutes moins probables que le scénario dans lequel GW190521 est dû à la fusion d'un système binaire de trous noirs.

« Les observations faites par Virgo et LIGO nous éclairent sur l'Univers sombre et dessinent un nouveau paysage cosmique », conclut Giovanni Losurdo, porte-parole de la Collaboration Virgo et directeur de recherche à l'INFN en Italie. « Et aujourd'hui nous annonçons une fois de plus une découverte sans précédent. Nous continuons à améliorer nos détecteurs pour repousser leurs limites et observer l'Univers de plus en plus profondément. »

Informations complémentaires sur les Collaborations LIGO et Virgo

La Collaboration Virgo compte actuellement environ 580 membres, appartenant à 109 laboratoires ou équipes dans 13 pays différents – par ordre alphabétique : Allemagne, Belgique, Espagne, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Italie, Japon, Monaco, Pays-Bas, Pologne, Portugal. Le European Gravitational Observatory (EGO) héberge le détecteur Virgo à Cascina, 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 laboratoire Nikhef aux Pays-Bas. La liste des groupes membres de la Collaboration Virgo est disponible à l'adresse <http://public.virgo-gw.eu/the-virgo-collaboration>. Plus d'informations sont disponibles sur le site internet de Virgo : <http://www.virgo-gw.eu>.

LIGO est financé par la National Science Foundation (NSF, Etats-Unis) et piloté par les laboratoires Caltech et MIT qui ont conçu et dirigent ce projet. Le financement du projet Advanced LIGO a été dirigé par la NSF tandis que l'Allemagne (Max Planck Society), le Royaume-Uni (Science and Technology Facilities Council) et l'Australie (Australian Research Council – OzGrav) y ont contribué de manière significative. Environ 1 300 scientifiques du monde entier participent à cet effort via la LIGO Scientific Collaboration qui inclut la Collaboration GEO. La liste des autres partenaires de LIGO est disponible à l'adresse <https://my.ligo.org/census.php>.

Contacts médias 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 médias 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