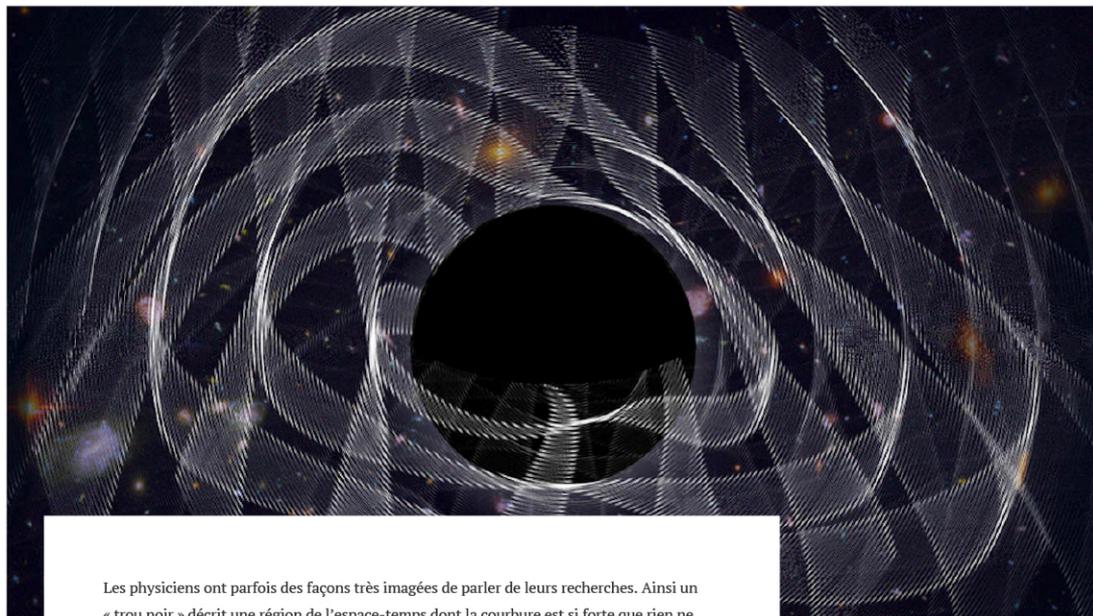


Les trous noirs seraient bien chauves

En analysant les ondes gravitationnelles émises par un trou noir en vibration, une équipe a montré que l'astre pourrait bel et bien être uniquement caractérisé par sa masse, son moment cinétique et sa charge électrique.

SEAN BAILLY | 11 octobre 2019



Les physiciens ont parfois des façons très imagées de parler de leurs recherches. Ainsi un « trou noir » décrit une région de l'espace-temps dont la courbure est si forte que rien ne peut s'en échapper, pas même la lumière. Et le théorème du « trou noir sans cheveux », proposé dans les années 1960, stipule qu'un trou noir n'est décrit que par trois paramètres : sa masse, sa charge électrique et son moment cinétique (lié à sa vitesse de rotation). L'astre « efface » ainsi toutes les caractéristiques de la matière qui tombe dedans. Maximiliano Isi, de l'institut de technologie du Massachusetts et de la collaboration *Ligo*, et des collègues ont apporté des indices qu'un trou noir est bien chauve grâce à une nouvelle analyse de signaux d'ondes gravitationnelles issus de la coalescence de deux trous noirs.

Le 14 septembre 2015, l'interféromètre laser géant *Ligo*, aux États-Unis, enregistrait pour la première fois le signal d'ondes gravitationnelles, ces vibrations de l'espace-temps prévues par la théorie de la relativité générale d'Albert Einstein. La collaboration internationale *Ligo-Virgo* a montré que ce signal, d'une durée de 0,2 seconde et noté GW150914, provenait de la fusion de deux trous noirs qui ont donné naissance à un nouveau trou noir plus massif. Les deux trous noirs précurseurs formaient un système binaire, tournant l'un autour de l'autre et se rapprochant progressivement. Ils ont fini par entrer en collision. Le trou noir nouvellement formé, très déformé, s'est mis à vibrer pendant une brève phase avant de revenir à l'équilibre.

A lire aussi : [La détection des ondes gravitationnelles : une nouvelle fenêtre sur l'Univers](#)

Pendant tout le processus de coalescence, le système binaire émet des ondes gravitationnelles. La fréquence et l'amplitude des ondes augmentent durant la phase d'approche jusqu'à la fusion. On parle de signal en forme de « pépiement » (*chirp*, en anglais). Grâce à la forme du signal de GW150914 enregistré par *Ligo*, les chercheurs ont montré que les deux trous noirs précurseurs avaient une masse de 29 et 36 fois celle du Soleil, et le trou noir final, 62 masses solaires. La différence, d'environ 3 masses solaires, a été convertie en énergie pure sous forme d'ondes gravitationnelles. L'observation historique de GW150914 a été une confirmation brillante de la théorie de la relativité générale, proposée un siècle plus tôt par Albert Einstein.

A lire aussi : [D'où viennent les trous noirs à l'origine des premières ondes gravitationnelles détectées ?](#)

Lors de la phase pendant laquelle le trou noir nouvellement formé vibre (*ringdown*, en anglais), l'astre émet aussi des ondes gravitationnelles, à l'image d'une cloche qui émet un son quand on la frappe. Ces ondes sont émises à différentes fréquences (chacune correspondant à un mode de vibration du trou noir) et s'amortissent de façon spécifique (on parle de « modes quasi normaux »). L'analyse du spectre et de l'amortissement de ces ondes permet de déterminer les caractéristiques du trou noir, c'est-à-dire sa masse et son moment cinétique (pour des objets astrophysiques, la charge électrique est *a priori* négligeable). Un trou noir avec une masse et un moment cinétique donnés possède une signature spécifique. On parle même de « spectroscopie des trous noirs », par analogie avec l'analyse spectroscopique des atomes, qui permet de déterminer leurs propriétés.

Des physiciens ont détecté pour la première fois les ondes gravitationnelles émises par un trou noir en vibration, comme sur cette vue d'artiste.

MIT

Auteur



Sean Bailly

Sean Bailly est rédacteur et responsable des actualités à Pour la Science.

Grâce à cette approche, il est en théorie possible de retrouver par une méthode indépendante les caractéristiques du trou noir résultant de la fusion obtenues par la collaboration *Virgo-Ligo*. Cette technique est aussi un laboratoire unique pour tester la relativité générale et en particulier le théorème du trou noir sans cheveux.

Lors de la détection de GW150914, la collaboration *Ligo-Virgo* avait présenté des indices de la détection du mode quasi normal fondamental, le plus intense. Mais on pensait que les harmoniques (les autres fréquences, ou *overtones*, en anglais) étaient trop faibles pour être détectés.

Par ailleurs, l'analyse du signal posait problème car les physiciens ne savaient pas comment en extraire la partie liée au *ringdown*. Les équations de la relativité générale sont non linéaires et la contribution de la collision

devrait se mêler de façon complexe aux vibrations du *ringdown*. La collaboration *Ligo-Virgo* avait donc opté pour examiner la partie du signal située assez longtemps après le pic de la collision pour avoir un signal non contaminé par celle-ci et ne contenant que les seuls modes quasi normaux. Mais ces derniers sont alors déjà bien amortis et donc difficiles à mesurer.

Maximiliano Isi et ses collègues ont repris les données de GW150914 et ont développé une nouvelle technique pour isoler les modes quasi normaux juste après le pic. Ils ont montré qu'une description linéaire à proximité du pic est possible, ce qui permet d'isoler la contribution de la vibration du trou noir. En détectant ainsi le mode fondamental et une harmonique, ils ont réussi à reconstruire une partie du signal de cette vibration pour l'analyser. Ils en ont alors déduit les propriétés du trou noir.

Les résultats sont en accord avec ceux de *Ligo-Virgo* et la relativité générale. Ils apportent en outre un indice en faveur du théorème des trous noirs sans cheveux. En effet, si d'autres paramètres caractérisaient un trou noir, ils auraient contribué au spectre de vibration et auraient faussé l'analyse, si bien que les résultats n'auraient pas été cohérents.

Maximiliano Isi et ses collègues n'ont identifié qu'une seule harmonique. D'autres seront nécessaires pour affiner les calculs. Si, d'une part, on peut espérer détecter un signal de fusion de trous noirs encore plus fort (et avec moins de bruit) que celui de GW150914, qui reste à ce jour le plus net de la dizaine d'événements observés depuis, la mise en ligne de nouveaux interféromètres augure une riche moisson de données.

« Sans pour autant minimiser l'importance des travaux antérieurs, je crois que l'on peut dire que cette étude marque réellement la naissance de la spectroscopie expérimentale des trous noirs. C'est très enthousiasmant, car nous attendons de plus en plus de signaux dans un avenir proche, et de meilleure qualité », souligne Olivier Minazzoli, du centre scientifique de Monaco et de l'observatoire de la Côte d'Azur, mais aussi membre de la collaboration *Virgo*.

Dans la chasse aux ondes gravitationnelles, l'interféromètre *Virgo*, près de Pise, en Italie, a rejoint *Ligo*, depuis fin 2015. Les deux instruments ont depuis gagné en sensibilité grâce à des mises à jour, et ils seront encore améliorés dans les années à venir. Et d'autres devraient bientôt s'ajouter, comme *Kagra*, au Japon. Il devrait alors être possible d'enregistrer des fusions de trous noirs avec plus de détails et d'observer des modes de vibration plus faibles. Et il n'est pas impossible que certains de ceux-ci dévient des prédictions de la théorie d'Einstein. Une perspective enthousiasmante pour traquer la théorie de la gravitation quantique...

— Sur le même sujet —

N°75 - Avril 2012
Les trous noirs