

Il y a bien longtemps, dans une galaxie lointaine, très lointaine, deux trous noirs ont entamé une danse cosmique d'abord lente et à distance, puis de plus en plus rapide et rapprochée. Ils ont spiralé l'un autour de l'autre pendant une période qui pourrait avoir duré jusqu'à des milliards d'années. Puis la chorégraphie s'est achevée brutalement avec la collision des deux corps, qui ont fusionné en un trou noir plus massif.

Au cours de ce ballet, et surtout pendant l'ultime fraction de seconde, le tissu de l'espace-temps a fortement vibré, et ces vibrations se sont propagées à la vitesse de la lumière à travers le cosmos. Environ 1,3 milliard d'années plus tard, le 11 février 2016, les équipes des collaborations *LIGO* et *Virgo* ont annoncé avoir détecté ces « ondes gravitationnelles » dont l'existence a été prédite en 1916 par Albert Einstein. « Gravitationnelles », parce que la théorie de la relativité générale, dont on vient de fêter les cent ans, décrit la gravitation comme une manifestation de la déformation de l'espace-temps.

Une prédiction centenaire

L'événement est historique. Un siècle a été nécessaire pour relever les défis aussi bien théoriques qu'expérimentaux que posaient les ondes gravitationnelles. Dès 1905, en étudiant un modèle incomplet de gravitation incluant l'invariance de la vitesse de la lumière, Henri Poincaré évoquait déjà la notion d'« onde gravifique ». Mais c'est bien dans le cadre de la relativité générale qu'Einstein a émis l'hypothèse la plus convaincante des ondes gravitationnelles. Les physiciens ont mis plusieurs décennies à développer les outils mathématiques pour étudier ces ondes et comprendre qu'il était en principe possible de les détecter.

En 1974, les Américains Joseph Taylor et Russell Hulse ont donné la première preuve indirecte de l'existence des ondes gravitationnelles. Ils ont découvert le système binaire PSR B1913+16, qui contient un pulsar (une étoile à neutrons qui émet des ondes électromagnétiques de façon régulière, un signal utile pour effectuer des mesures précises), puis ils ont montré que la période de révolution du système diminuait lentement (les deux corps se rapprochaient l'un de l'autre) car ce dernier perdait

de l'énergie en accord avec les calculs de relativité générale où l'énergie est dissipée sous la forme d'ondes gravitationnelles. Les deux chercheurs ont reçu le prix Nobel de physique en 1993 pour ces travaux.

Il restait à détecter directement les ondes gravitationnelles. La piste la plus prometteuse était d'utiliser un interféromètre géant, concept imaginé dans les années 1960 et qui a connu une amélioration décisive dans les années 1970 sous l'impulsion de Rainer Weiss, du MIT (Institut de technologie du Massachusetts), aux États-Unis. Une première génération de ces dispositifs a été mise en service dans les années 2000 avec *TAMA300* au Japon, *GEO600* en Allemagne, *LIGO* aux États-Unis (situé sur deux sites séparés de plusieurs milliers de kilomètres, l'un à Livingston, en Louisiane, et l'autre à Hanford, dans l'État de Washington, voir les figures page 32) et *Virgo*, une expérience franco-italienne installée près de Pise.

Ces expériences n'ont pas observé d'ondes, mais elles ont ouvert la voie à des améliorations techniques qui ont permis d'augmenter la sensibilité des détecteurs *Advanced LIGO* (*Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory*), opérationnel depuis septembre 2015, et *Advanced Virgo*, qui prendra des données à partir de 2016.

Le signal tant attendu a été détecté le 14 septembre 2015 à 11 h 51 (heure de Paris) par les deux détecteurs jumeaux de l'expérience *Advanced LIGO*. Ce signal entre dans l'histoire sous le nom GW150914, forgé avec la date et l'abréviation de *Gravitational Wave*. L'analyse des données étant assurée conjointement par les équipes de *LIGO* et de *Virgo*, la découverte est attribuée aux deux collaborations.

Le signal GW150914 est en réalité une double découverte : c'est la première détection directe d'ondes gravitationnelles, mais aussi la confirmation de l'existence de systèmes binaires de trous noirs (voir la figure à page ci-contre). Ces objets d'une densité extrême courbent l'espace-temps environnant de sorte que rien ne peut s'en échapper, pas même la lumière. Ainsi, les systèmes binaires de trous noirs isolés n'émettent aucun rayonnement et ne peuvent donc être détectés que par l'émission d'ondes gravitationnelles.

■ L'AUTEUR



Sean BAILY est docteur en cosmologie et journaliste à *Pour la Science*.

Des ondes émises
il y a 1,3 milliard
d'années
ont été enregistrées par
les interféromètres de *LIGO*
le 14 septembre 2015