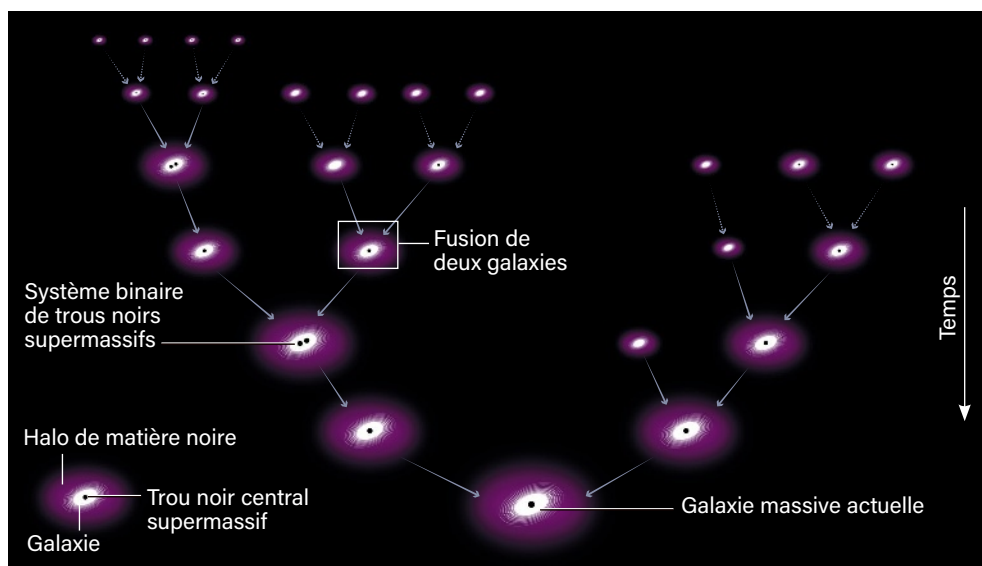




Scénario de la formation hiérarchique des galaxies. Contenues dans des halos de matière noire qui fusionnent, les galaxies primordiales entrent en collision et produisent des structures de plus en plus massives. Les trous noirs qui occupent leur centre forment des systèmes binaires, sources d'ondes gravitationnelles jusqu'au moment de leur coalescence.

Jusqu'à présent, les études s'accordaient sur le fait que l'amplitude du fond stochastique d'ondes gravitationnelles ne dépassait pas 3×10^{-15} . Elles avaient ainsi établi des limites supérieures, mais pas encore enregistré de détections. En 2021, ces trois groupes ont annoncé des résultats concernant une possible première détection, sous la forme d'un signal commun à l'ensemble des pulsars utilisés, avec une amplitude comprise entre $2,2$ et $3,0 \times 10^{-15}$ et un spectre parfaitement cohérent avec celui attendu pour une population de trous noirs binaires supermassifs (voir la figure du bas page 43).

Ces résultats sont préliminaires et sont à prendre avec précaution. En effet, aucune des trois collaborations n'a encore mis en évidence la signature spatiale (la courbe de Hellings et Downs), preuve décisive d'un signal gravitationnel. Cependant, la concordance des résultats obtenus avec trois jeux de données indépendants, issus de radiotélescopes différents et avec des méthodes d'analyse concurrentes, permet d'exclure que ce signal soit d'origine purement instrumentale ou résulte par exemple d'un mauvais traitement de l'empreinte du milieu interstellaire.

D'éventuels effets systématiques dus aux références utilisées, le temps atomique international ou les éphémérides planétaires, ont aussi été écartés de façon robuste. Enfin, la mise en commun de toutes les données en un échantillon mondial unique dans le cadre de l'IPTA montre que la vraisemblance du signal augmente de façon importante, ce qui est encore un signe de sa cohérence. Les astronomes ont donc très envie d'y croire, mais restent prudents quant à la détection proprement dite d'un tel signal gravitationnel à basse fréquence.

En effet, la question ne pourra être tranchée qu'une fois que l'on aura détecté de façon convaincante cette fameuse signature spatiale.

Chaque collaboration espère fournir sa propre preuve indépendante d'ici à un an, soit pour l'été 2022. Pour le groupe européen, il s'agira de passer d'un échantillon constitué actuellement des 6 pulsars les plus stables (observés sur vingt-cinq ans avec cinq radiotélescopes différents) à un échantillon des 25 meilleurs pulsars sélectionnés de façon à offrir une couverture spatiale optimale. Avec un tel échantillon, si la détection d'un signal gravitationnel à environ $2,5 \times 10^{-15}$ devait être confirmée, il sera possible d'identifier la signature spatiale tant attendue avec un haut niveau de confiance.

Si cette première mesure du fond d'ondes gravitationnelles se confirme, que nous apprendra-t-elle? Avant tout, elle ouvrira un nouveau champ d'investigation pour l'astrophysique des trous noirs binaires supermassifs. Comme nous l'avons vu, la forme du spectre dépend de nombreuses caractéristiques astrophysiques. Elle apportera donc des contraintes importantes sur les scénarios de formation et d'évolution des galaxies et des grandes structures de l'Univers. Les premiers chiffres donnent déjà potentiellement des limites sur le taux de fusion des trous noirs binaires, taux qui serait compris entre 10^{-5} et 2×10^{-4} événements par mégaparsec cube et par an (1 mégaparsec est égal à environ 3,3 millions d'années-lumière), en accord avec d'autres observations. Cela correspondrait à une fusion tous les 100 000 ans dans un volume comparable à celui du Groupe local, l'amas de galaxies où se trouve la Voie lactée.

L'astronomie des ondes gravitationnelles a fait ses premières découvertes il y a à peine six ans et a déjà montré sa richesse pour explorer l'Univers. Elle devrait bientôt franchir une nouvelle étape en ouvrant la voie à l'étude de processus aussi vertigineux que la fusion de trous noirs supermassifs lors de la collision de galaxies. ■

BIBLIOGRAPHIE

S. Chen *et al.*, **Common-red-signal analysis with 24-yr high-precision timing of the European Pulsar Timing Array : Inferences in the stochastic gravitational-wave background search**, *MNRAS*, en cours de publication, 2021.

H. Middleton *et al.*, **Massive black hole binary systems and the NANOGrav 12.5 yr results**, *MNRAS Letters*, vol. 502(1), pp. L99-L103, 2021.

Z. Arzoumanian *et al.*, **The NANOGrav 12.5 yr Data Set : Search for an Isotropic Stochastic Gravitational-wave Background**, *The Astrophysical Journal Letters*, vol. 905, article L34, 2020.

S. Bailly, **La détection des ondes gravitationnelles : une nouvelle fenêtre sur l'Univers**, *Pour la Science*, n° 462, avril 2016.