

étoile voisine ou avec un troisième trou noir issu d'une autre collision galactique.

Quand les deux trous noirs sont assez proches, la perte d'énergie par émission d'ondes gravitationnelles devient dominante et conduit finalement à la fusion des deux corps. C'est dans cette phase que le système est observable par un réseau de pulsars. Les émissions gravitationnelles des différents systèmes binaires de trous noirs massifs se cumulent pour former un «fond d'ondes stochastique» dont on pourra caractériser l'amplitude et la distribution spectrale d'énergie avec les réseaux de pulsars. On s'attend aussi à détecter ponctuellement quelques systèmes doubles, très massifs ou très proches, émerger de ce fond et produire ici et là, dans le spectre, des signaux individuels à des fréquences précises.

La forme du fond stochastique est difficile à prévoir, car de nombreux paramètres entrent en compte : la distribution statistique de la masse des galaxies, le taux de fusion de celles-ci, la relation entre la masse du trou noir central et celle des étoiles de la galaxie hôte, les densités centrales des étoiles et du gaz susceptibles d'accélérer le rapprochement des composantes du système binaire, et enfin la distribution statistique de l'excentricité des orbites des trous noirs. Ces paramètres ne sont pas tous bien connus. En outre, ils ont évolué au cours de l'histoire cosmique.

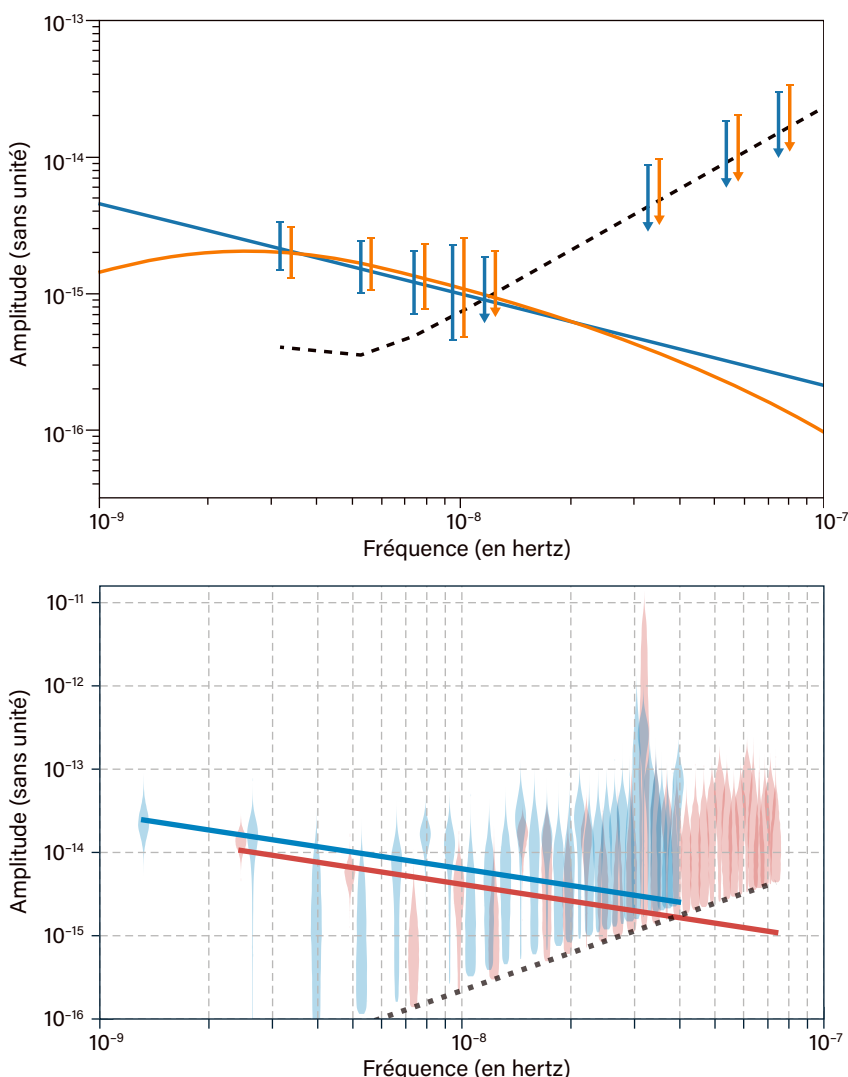
Dans le cas le plus simple d'une population de trous noirs binaires à orbites circulaires et n'interagissant que faiblement avec leur environnement, les simulations indiquent que la distribution spectrale du fond stochastique est décrite par une loi de puissance de la forme $A f^{-2/3}$, dont l'amplitude A se situe entre 10^{-16} et 10^{-14} , et où f est la fréquence de l'onde gravitationnelle (exprimée en années⁻¹). Il est fort probable que la forme du spectre réel s'écarte de cette vue idéalisée.

DE PREMIERS INDICES PROMETTEURS

Nous pouvons tester différentes hypothèses grâce aux données observationnelles. On sait par exemple que la friction dynamique avec les étoiles et le gaz ou bien la présence systématique de plus grandes excentricités initiales des orbites accélèrent la coalescence des deux trous noirs et donc dépeuplent la zone des plus basses fréquences gravitationnelles, en créant un «coude» dans la distribution spectrale détectable par les réseaux de chronométrie de pulsars (voir la figure du haut ci-contre). Dit autrement, il y aurait moins de systèmes binaires en rotation très lente que prévu par le cas simple. Nous nous attendons aussi à une inflexion aux hautes fréquences avec une chute d'intensité qui reflète un nombre plus faible de sources très massives contribuant au fond stochastique.

L'amplitude moyenne A mesurée nous renseignera sur le taux de fusions des galaxies et sur le rapport de masse entre le trou noir central et la galaxie hôte.

Depuis la fin des années 2000, trois consortiums internationaux (européen EPTA, australien PPTA et américain NANOGrav) travaillent sur la détection des ondes gravitationnelles en collectant des données de chronométrie de pulsars sur le long terme, en améliorant l'instrumentation et la sensibilité des radiotélescopes et en développant des modèles d'analyse de plus en plus complexes, qui intègrent un maximum d'informations sur les effets systématiques et les biais potentiels.



Le spectre (en haut) indique l'amplitude du signal des ondes gravitationnelles en fonction de la fréquence de ces dernières. Le modèle le plus simple conduit à une droite (en bleu), tandis qu'un autre modèle prenant en compte divers effets physiques mène à une forme plus complexe (en orange). La ligne pointillée noire (sur les deux figures) représente le seuil de détection d'un réseau de pulsars millisecondes qui atteint une sensibilité de 4×10^{-16} . Lorsque cette ligne passe sous le spectre, il est alors possible de détecter le signal et d'estimer les paramètres du spectre. Sur la figure du bas sont représentées les données actuelles des expériences NANOGrav (en rouge) et EPTA (en bleu). Au-dessous d'une fréquence de 6×10^{-9} hertz, les points de mesure se détachent de la ligne pointillée (à gauche de la figure), comme attendu dans le cas de la détection d'un signal gravitationnel à basse fréquence. À des fréquences plus élevées, les instruments ont enregistré surtout du bruit.