

GW231123 : LE TROU NOIR BINAIRE LE PLUS MASSIF DÉTECTÉ GRÂCE AUX ONDES GRAVITATIONNELLES

Le 23 novembre 2023 à 13h54:30 UTC, la collaboration LIGO-Virgo-KAGRA (LVK) a détecté GW231123, un signal d'ondes gravitationnelles probablement dû à la fusion de deux trous noirs dont la masse combinée était la plus élevée jamais observée par la collaboration LVK. Ces trous noirs auraient tourné à une vitesse incroyable, et leurs masses individuelles semblent se situer dans une fourchette qui remet en question les théories existantes sur l'évolution et la fin de vie des étoiles massives.

DETECTION DU SIGNAL

Cette onde gravitationnelle a été observée par les deux détecteurs Advanced LIGO de Hanford et Livingston lors de la première partie de la quatrième campagne d'observation LVK (O4a). Comme le montre la figure 1, le signal a duré environ dixième de seconde, mais il est ressorti clairement, environ 20 fois plus fort que le bruit typique d'un détecteur. Pour nous assurer qu'il ne s'agissait pas d'une anomalie aléatoire dans les données, nous avons effectué des vérifications statistiques minutieuses. Grâce à des techniques simulant des milliers d'années de fausses données, nous avons constaté que la probabilité qu'un bruit aléatoire imite GW231123 est inférieure à une fois tous les 10 000 ans ! Cela nous confère une confiance absolue dans l'origine non terrestre du signal, et donc dans la réalité de ce signal d'onde gravitationnelle.

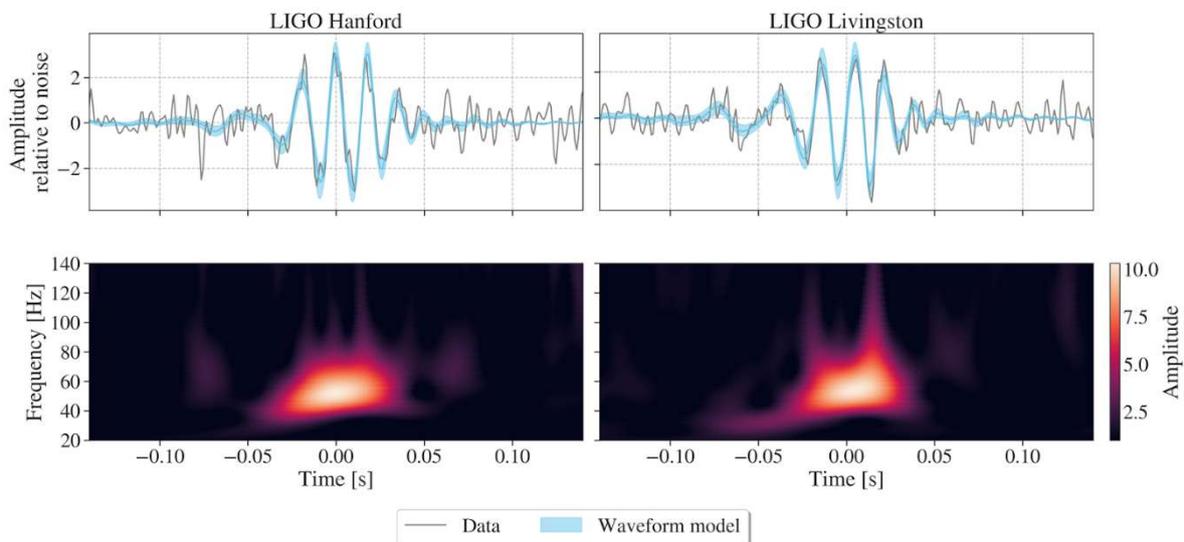


Figure 1: Signal GW231123 dans les données des détecteurs LIGO Hanford (à gauche) et Livingston (à droite). Les panneaux supérieurs montrent les signaux temporels associés (traces grises). La bande bleue ombrée indique notre estimation du signal réel. Les panneaux inférieurs sont des spectrogrammes, également appelés cartes temps-fréquence, qui montrent l'amplitude du signal au fil du temps (axe horizontal) et selon les fréquences (axe vertical). Les couleurs plus vives représentent un signal plus fort.

LA SOURCE A L'ORIGINE DU SIGNAL

Les données suggèrent fortement que ce signal provient de la fusion de deux trous noirs. Pour en savoir plus sur ces trous noirs, notamment leur masse et leur vitesse de rotation, nous avons utilisé plusieurs modèles basés sur la théorie de la relativité générale d'Einstein pour simuler un tel signal pour différentes paires de trous noirs.

En comparant les données à ces modèles, nous avons estimé que ces trous noirs pesaient respectivement environ 137 et 103 fois la masse du Soleil. Compte tenu de toutes les incertitudes, leur masse totale se situait probablement entre 190 et 265 masses solaires, détrônant GW190521 comme le système binaire de trous noirs le plus massif observé à ce jour.

EN SAVOIR PLUS

Visitez nos www.ligo.org
sites web: www.virgo-gw.eu
gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/



Comme si cela n'était pas déjà assez impressionnant, les deux trous noirs tournaient probablement presque aussi vite que la vitesse théorique des trous noirs, **faisant de GW231123 non seulement le système binaire de trous noirs le plus massif, mais aussi celui dont la rotation est la plus rapide jamais détecté avec certitude par ondes gravitationnelles.**

La fusion a produit un trou noir dont la masse se situe probablement entre 182 et 251 masses solaires. Cela le place dans une catégorie rare de trous noirs appelés [trous noirs de masse intermédiaire](#) - plus massifs que ceux issus de l'effondrement d'une étoile, mais beaucoup plus légers que les trous noirs supermassifs qui se cachent au centre des galaxies. Les vestiges de la fusion de GW231123 et GW190521 se distinguent comme les détectations d'ondes gravitationnelles les plus claires de ces trous noirs insaisissables de taille moyenne.

POURQUOI CES PROPRIETES SONT-ELLES SI INTERESSANTES ?

Les théories actuelles sur l'évolution stellaire suggèrent que les trous noirs dont la masse est comprise entre 60 et 130 masses solaires environ devraient être rares, voire inexistants. Cette plage de masse « interdite », appelée « [écart de masse entre les trous noirs](#) », résulterait de types particuliers d'explosions qui déchirent les étoiles lourdes ([supernovae à instabilité de paires](#)) ou éjectent une partie importante de leur masse avant leur effondrement ([supernovae à instabilité de paires pulsationnelle](#)), empêchant ainsi la formation d'un trou noir lourd.

GW231123 remet cependant en question cette conclusion. Le trou noir le moins massif se situe presque certainement dans la zone de masse interdite, avec 83 % de chances d'y figurer, tandis que le trou noir le plus massif a 26 % de chances. Cela suggère que l'évolution stellaire traditionnelle pourrait ne pas expliquer entièrement leurs origines.

Une possibilité fascinante est que l'un de ces trous noirs, ou les deux, se soient formés suite à de précédentes fusions. Cela expliquerait leurs masses et spins élevés et suggérerait qu'ils vivaient dans un environnement astrophysique extrêmement dense, tel qu'un [amas d'étoiles](#) ou un [noyau galactique actif](#), où les trous noirs sont plus susceptibles d'entrer en collision. Ces environnements denses peuvent également conduire à des orbites de trous noirs plus allongées ou [excentriques](#). Cependant, pour limiter leur complexité, nos modèles supposent actuellement que les trous noirs gravitent en spirale vers l'intérieur sur des orbites quasi sphériques qui se rétrécissent progressivement à mesure qu'ils émettent des ondes gravitationnelles. Cependant, si les orbites sont fortement excentriques, notamment juste avant la fusion, cela pourrait affecter les formes d'ondes émises d'une manière que nos modèles ne prennent pas en compte. Pour GW231123, cette possibilité reste ouverte et nécessite des modèles plus avancés pour être testée.

D'autres scénarios astrophysiques qui auraient pu produire un signal comme celui-ci, comme les [lentilles gravitationnelles](#), les [trous noirs primordiaux](#), les [supernovae à effondrement de cœur](#), les [fusions d'étoiles à bosons](#) et les [cordes cosmiques](#), sont moins probables que ceux évoqués ci-dessus.

LES DERNIERS INSTANTS DE LA FUSION

Pour la plupart des fusions de trous noirs observées par le LVK – près de 300 au moment de la rédaction de ce résumé scientifique – les détecteurs sont plus sensibles aux premières phases du signal, lorsque les trous noirs s'entrecroisent en spirale avant de finalement fusionner. Cependant, grâce à sa masse importante, GW231123 nous a fourni la vision la plus claire de son apogée : la fusion et la [phase de décroissance](#), lorsque le trou noir nouvellement formé rayonne de l'énergie par ondes gravitationnelles, vibre et finit par se stabiliser, un peu comme une cloche dont l'amplitude de vibration décroît au cours du temps.

Nous avons comparé cette dernière partie du signal aux prédictions de la relativité générale sur la décroissance d'un trou noir, et avons constaté une forte concordance entre la théorie et nos données. Cependant, les propriétés extrêmes de GW231123 repoussent nos modèles à leurs limites, laissant certaines caractéristiques subtiles inexplicées et indiquant des domaines dans lesquels nos formes d'onde peuvent être améliorées.

CONCLUSION

Il y a quelques années, dans notre [résumé de GW190521](#), nous disions que les records étaient faits pour être battus, et c'est exactement ce que GW231123 a fait. Avec des propriétés qui pourraient inclure des trous noirs dans la zone de masse interdite et des spins proches de la limite théorique, cet événement est à la fois extraordinaire et difficile à interpréter. Il nous pousse à explorer d'autres voies de formation des trous noirs au-delà de la seule évolution stellaire traditionnelle, et met en lumière les limites de nos modèles actuels de formes d'ondes. Alors que nous continuons d'écouter l'univers à travers les ondes gravitationnelles, GW231123 nous rappelle avec force que le cosmos nous réserve encore bien des surprises, et que nous commençons seulement à les découvrir.

EN SAVOIR PLUS :

Visitez nos sites web :

www.ligo.org

www.virgo-gw.eu

gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/

Lisez le preprint gratuit de l'article scientifique (en anglais) [ici](#)

Les données de GW231123 sont mises en ligne par le Gravitational-Wave Open Science Centre [ici](#)