

GWTC-3, la troisième édition du catalogue de détections d'ondes gravitationnelles

Daté du 8 novembre 2021, mis à jour le 22 décembre 2023. Retrouvez cet article en ligne et dans d'autres langues à l'adresse <https://www.ligo.org/science/Publication-O3bCatalog/index.php>. Plus d'informations en français : <http://public.virgo-gw.eu/ressources-pedagogiques>.

Introduction

GWTC-3 est la troisième édition du catalogue de signaux transitoires d'ondes gravitationnelles publié par [LIGO](#), [Virgo](#) et [KAGRA](#). GWTC-3 met à jour les catalogues précédents en y ajoutant les ondes gravitationnelles observées lors de la seconde partie de la **prise de données O3** (appelée sans surprise "O3b") qui s'est déroulée entre novembre 2019 et mars 2020. GWTC-3 est actuellement le catalogue de signaux d'ondes gravitationnelles le plus complet. Revenons un instant sur les éditions successives du catalogue GWTC.

- [GWTC-1](#) contenait au total 11 événements détectés lors des prises de données O1 et O2.
- [GWTC-2](#) a ensuite ajouté 39 nouveaux événements à GWTC-1, portant le nombre total de détections à 50 (observées pendant O1, O2 et O3a, la première partie de la prise de données O3).
- Puis [GWTC-2.1](#) a proposé une réanalyse des données de O3, laquelle a trouvé 8 candidats onde gravitationnelle supplémentaires tout en retirant 3 signaux de la liste GWTC-2 car leur **probabilité d'être d'origine astrophysique** (et donc de vraies ondes gravitationnelles) était passé sous le seuil des 50% : voir la partie "Détecter les ondes gravitationnelles" ci-dessous pour plus de détails. On était donc alors à $50 + 8 - 3 = 55$ événements comptabilisés.
- GWTC-3 (la présente publication) ajoute 35 événements supplémentaires issus de O3b, ce qui permet d'atteindre le chiffre conséquent de 90 signaux d'ondes gravitationnelles. La Figure 3 ci-après rend ce total plus concret en représentant l'ensemble des sources détectées depuis septembre 2015.

Après la fin de la campagne O3b pour LIGO et Virgo, KAGRA a pris des données pendant [deux semaines en avril 2020](#) avec le détecteur [GEO 600](#) (situé en Allemagne). Aucun signal n'a été détecté dans ces données (plus d'informations dans [cet article](#), en anglais), mais c'était important de voir KAGRA participer aux recherches d'ondes gravitationnelles pour la première fois !

Toutes les ondes gravitationnelles observées jusqu'à maintenant ont été émises lors de fusions de systèmes binaires composés de **trous noirs** et/ou d'**étoiles à neutrons**, rassemblés sous la dénomination commune "d'**astres compacts**". Nous pensons qu'il s'agit à l'origine de restes d'étoiles massives arrivées en fin de vie. Les trois types de systèmes binaires d'astres compacts possibles avec des trous noirs et des étoiles à neutrons ont été détectés : fusions de **systèmes binaires de trous noirs**, de **systèmes binaires d'étoiles à neutrons** et de **systèmes mixtes étoile**

à **neutron - trou noir**. À mesure que les détecteurs devenaient plus sensibles et que les méthodes d'analyse se sont améliorées, le taux de découvertes a augmenté. Que de chemin parcouru depuis les premières détections de 2015 !

Dans ce résumé de la publication scientifique GWTC-3, vous apprendrez comment les données sont enregistrées, comment les signaux d'ondes gravitationnelles sont détectés, comment nous estimons les propriétés de leurs sources, quels sont les nouveaux événements les plus marquants du nouveau catalogue et enfin quels sont les plans des trois collaborations pour le futur.

Les détecteurs d'ondes gravitationnelles

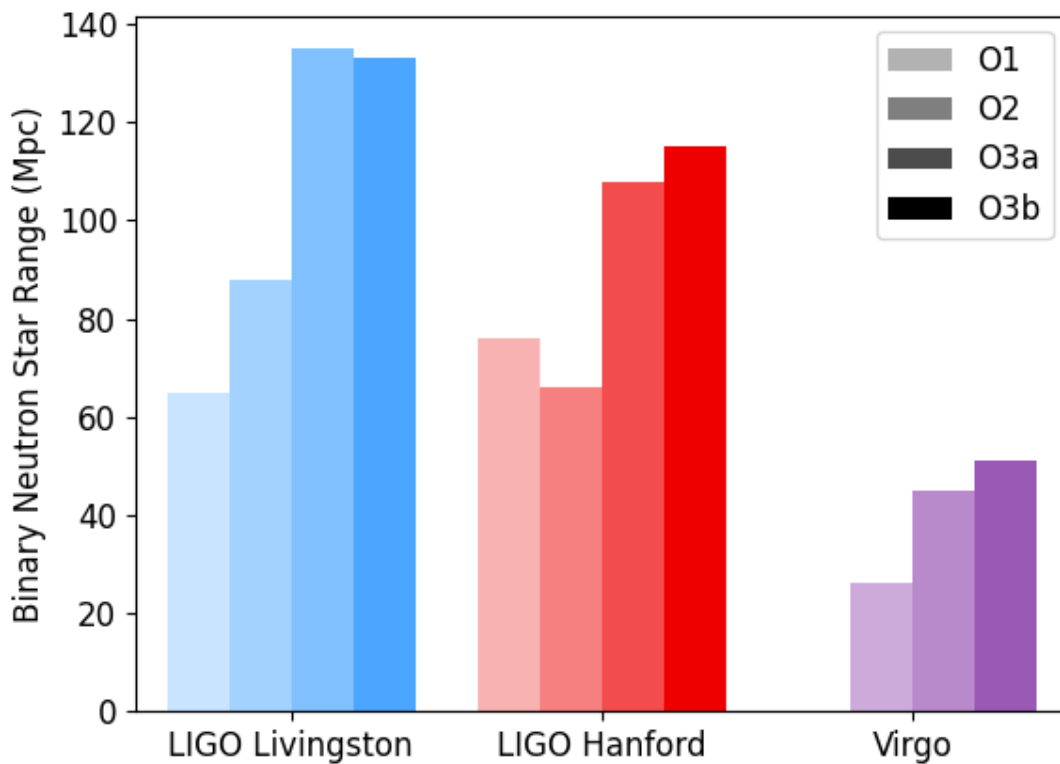


Figure 1 : Évolution de la valeur **médiane** du BNS range pour chaque détecteur au cours des prises de données O1 (seulement les détecteurs LIGO), O2, O3a et O3b. L'unité utilisée est le **mégaparsec**. Crédits : LIGO-Virgo-KAGRA Collaborations/Hannah Middleton/OzGrav.

Au fil des ans, la sensibilité de LIGO et Virgo s'est accrue grâce à une combinaison d'améliorations des détecteurs et de progrès au niveau du contrôle-qualité des données et des techniques d'analyses. Il y a de nombreuses manières de quantifier la sensibilité d'un détecteur d'ondes gravitationnelles. L'une de ces méthodes consiste à estimer la distance jusqu'à laquelle un instrument donné peut détecter le signal typique attendu pour une fusion de deux étoiles à neutrons (le "BNS range" en anglais) : plus cette distance est grande, plus les sources détectables peuvent être éloignées et donc plus le nombre attendu de détections est élevé pour une durée d'observation donnée. La prise de données O3 a été divisée en deux parties (O3a et O3b) séparées

par un mois d'arrêt en octobre 2019. Cette pause a permis de réaliser diverses améliorations et réparations sur les trois instruments, en particulier : le nettoyage de miroirs à LIGO Livingston, le remplacement d'équipements du système de pompes à vide à LIGO Hanford et l'augmentation de la puissance du laser de Virgo. Ces actions, combinées aux périodes régulières de maintenance et de réglages pendant la prise de données, ont permis aux instruments de maintenir leur sensibilité sur une longue période, voire de l'améliorer. Ainsi, la Figure 1 montre comment le BNS range médian a évolué au cours du temps pour chaque détecteur. En comparant O3a et O3b, cette valeur médiane a progressé de 13% pour Virgo, de 7% pour LIGO Hanford et est restée pratiquement stable pour LIGO Livingston (le détecteur le plus sensible des trois) avec une très légère diminution de 2%.

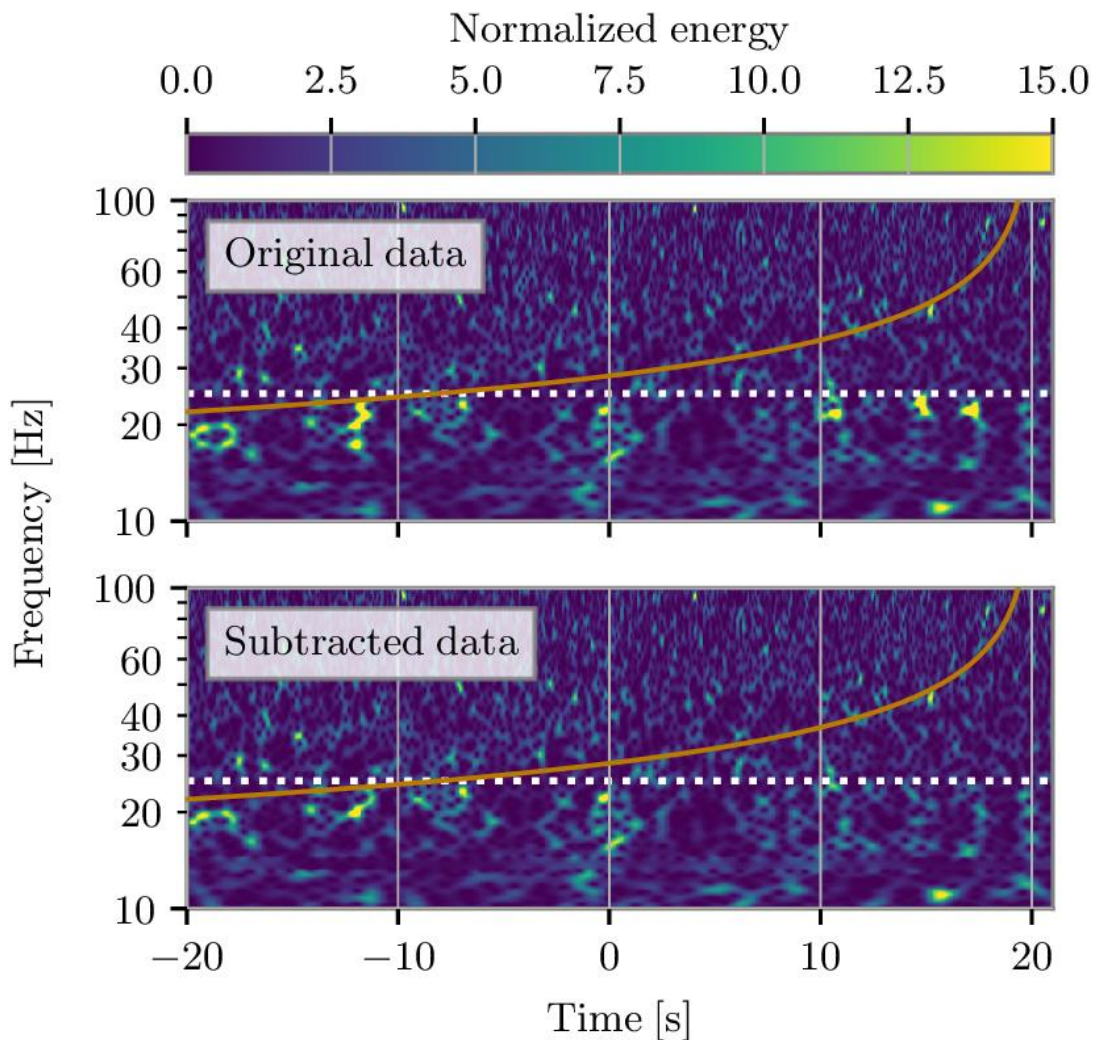


Figure 2 : (Fig. 15 de l'article scientifique original) : Un exemple de soustraction de glitches. Ces deux images comparent les données de l'événement GW200115_042309 avant (en haut) et après (en bas) soustraction des glitches. Les données sont visualisées dans le plan temps-fréquence et le code couleurs reflète l'énergie présente en chaque point de ce plan (c'est-à-dire à un instant et une fréquence donnés). Plus la couleur choisie est chaude et plus l'énergie

présente est importante ; en particulier, les glitches apparaissent sous forme de tâches jaunes dans cette représentation. En comparant les deux images, on voit qu'il y a moins de jaune en bas qu'en haut, signe que certains glitches ont été soustraits, au moins en partie. L'autre élément important à noter est que l'opération de soustraction des glitches n'a eu aucun effet sur le signal lui-même, invisible à l'œil nu mais matérialisé sur les images par la courbe orange : les données le long de celle-ci sont inchangées.

Un détecteur d'ondes gravitationnelles enregistre la variation de l'intensité du faisceau laser mesurée en sortie de l'interféromètre. Ces données brutes doivent être calibrées pour être converties en un signal donnant l'amplitude de l'onde gravitationnelle correspondante. La calibration doit être faite minutieusement. On utilise des lasers auxiliaires pour exercer une force précise sur les miroirs et mesurer la manière dont l'intensité lumineuse détectée en sortie de l'interféromètre change en fonction du déplacement des miroirs. Une première calibration est appliquée en temps réel aux données brutes qui viennent d'être enregistrées. Si nécessaire, les données peuvent être recalibrées plus tard et nettoyées de certains bruits permanents, mesurés par ailleurs. Le but est de fournir aux analyses des données reconstruites aussi sensibles que possible au passage d'une onde gravitationnelle.

Une fois que les données ont été calibrées et les bruits permanents connus soustraits, il faut vérifier leur qualité. Le problème le plus courant lors de la recherche de fusions de systèmes binaires compacts est la présence dans les données de "glitches", c'est-à-dire des bouffées de bruit de courte durée (quelques secondes au plus). On comprend l'origine de certains de ces glitches -- par exemple de la lumière diffusée -- mais souvent leur origine reste un mystère. Il arrive parfois qu'un glitch se superpose à un vrai signal d'onde gravitationnelle : dans ce cas on peut essayer de soustraire le glitch des données, comme le montre l'exemple de la Figure 2. La soustraction de glitch a joué un rôle crucial dans l'analyse des données de la première fusion d'étoiles à neutrons détectée: GW170817. Pour le catalogue GWTC-3, sept événements sur 35 ont nécessité l'application d'une méthode de soustraction de glitch. Pour en savoir plus sur les glitches et pour nous aider à en apprendre plus sur leurs origines, vous pouvez rejoindre le projet de science participative Gravity Spy.

Détecter les ondes gravitationnelles

Tout au long des prises de données O3a et O3b nous avons envoyé des [alertes publiques](#) chaque fois qu'un signal candidat pour être une onde gravitationnelle était détecté en temps réel dans les données des détecteurs. Ces alertes rapides permettent aux astronomes de chercher des contreparties "multi-messagers" à ces événements en utilisant des télescopes électromagnétiques ou des détecteurs de neutrinos. Pendant O3b, les alertes publiques ont été typiquement envoyées avec quelques minutes de latence. Plus tard, les données peuvent être analysées de nouveau et de manière plus approfondie, ce qui permet d'ajouter d'autres événements à la liste ou d'en retirer certains. Les analyses finales dont les résultats sont présentés dans le catalogue GWTC-3 ont bénéficié d'une meilleure calibration et d'améliorations au niveau de l'évaluation de la qualité des données ; elles sont aussi basées sur la totalité de la prise de données, ce qui permet de mieux séparer les vrais signaux -- rares -- des fluctuations du bruit de mesure. Sur les 39 alertes publiques

émises au cours de la prise de données O3b, 18 ont survécu aux réanalyses et les événements correspondants sont inclus dans le catalogue car ils ont une probabilité supérieure à 50% d'être de vrais signaux d'ondes gravitationnelles. 17 événements supplémentaires sont rendus publics pour la première fois dans le nouveau catalogue GWTC-3 (car ils n'avaient pas fait l'objet d'alertes dédiées lors de la prise de données).

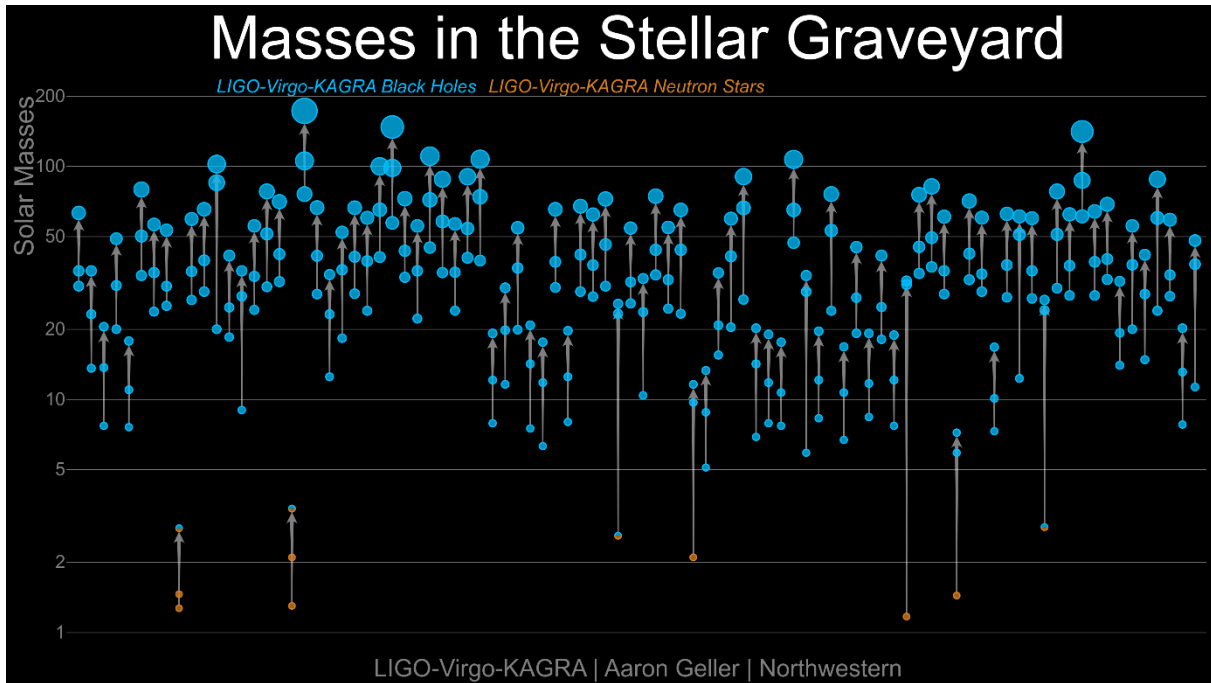


Figure 3 : *Masses des astres compacts des systèmes binaires inclus dans le catalogue GWTC-3 mis à jour avec les résultats de l'analyse de la prise de données O3b. Chaque disque coloré représente un astre compact (trous noirs en bleu et étoiles à neutrons en orange ; les astres dont la classification est incertaine sont bicolores) dont la masse est indiquée à la fois par l'échelle verticale et la surface du disque. Chaque fusion implique trois astres compacts : les deux du système binaire initial et celui produit par ladite fusion. Les flèches montrent cette hiérarchie : elles relient les deux astres initiaux à l'astre final. Crédits : LIGO-Virgo-KAGRA Collaborations/Frank Elavsky, Aaron Geller/Northwestern.*

Deux grands types d'analyses sont utilisés pour détecter des candidats ondes gravitationnelles : l'un est basé sur des modèles détaillés des signaux recherchés, l'autre fait au contraire le moins d'hypothèses possible sur ces signaux. Les recherches avec modèles utilisent une sélection de signaux simulés de fusion de systèmes binaires compacts (les modèles) et les données sont passées au crible pour détecter les signaux qui ressemblent suffisamment à l'un ou l'autre de ces modèles (un peu comme si l'on passait un calque sur un dessin compliqué pour faire ressortir la forme dessinée sur le patron). Les recherches non modélisées ne cherchent pas un type particulier de signal; par contre elles demandent que le même signal soit visible au même moment dans les données de plusieurs détecteurs. Les recherches avec modèles sont meilleures pour trouver des signaux de fusions de systèmes binaires compacts (car nous savons à quoi ces signaux ressemblent) mais l'autre approche est complémentaire : elle permet de s'assurer que nous ne ratons pas d'onde

gravitationnelle faute d'avoir le bon modèle à disposition. Lorsqu'il s'agit de décider si un signal candidat pourrait être un vrai événement, on calcule son taux de fausses alarmes, c'est-à-dire quelle est la probabilité que des fluctuations aléatoires du bruit de mesure puissent ressembler par hasard à ce signal. Normalement, plus les signaux détectés dans les différents instruments sont cohérents et plus nous pouvons être confiants que cet événement est bien une onde gravitationnelle.

Par convention, le catalogue GWTC-3 donne la liste de tous les candidats qui ont plus de 50% de chances d'être réels -- plutôt que du bruit. Ce calcul demande non seulement une bonne compréhension du bruit de mesure mais aussi de savoir à quel taux des ondes gravitationnelles doivent être observées dans les détecteurs. Comme nous commençons juste à accumuler des informations sur les systèmes binaires compacts qui fusionnent, nos estimations actuelles peuvent avoir une incertitude importante. Au fur et à mesure que nous en apprendrons plus sur ces populations grâce aux futures détections, nous pourrons affiner le classement des candidats de ce catalogue dont la nature est incertaine.

De plus, le catalogue GWTC-3 inclut une longue liste de signaux plus faibles dont la probabilité d'être réel est inférieure au seuil de 50%. Tout comme pour GWTC-2.1, la liste d'événements "sous le seuil" inclut tous les candidats dont le taux de fausses alarmes est inférieur à 2 par jour. Il y a 1048 événements de ce type, très probablement en grande majorité des fluctuations du bruit de mesure. Mais cette liste pourrait se révéler utile pour aider les astronomes à identifier de possibles signaux multi-messagers.

Baptiser un signal d'onde gravitationnelle

Le nom donné à un signal d'onde gravitationnelle est construit à partir de la date et de l'heure où il a été observé en utilisant par convention [l'échelle du Temps Universel Coordonné \("UTC" en anglais\)](#). Les noms des premiers événements n'utilisaient que la date mais, avec des détecteurs toujours plus sensibles, il devient probable de détecter plus d'un événement par jour. Aussi, nous appliquons maintenant la même convention que celle déjà en vigueur pour les catalogues GWTC-2 et GWTC-2.1 : l'heure est ajoutée à la date pour potentiellement distinguer les différents événements plus facilement. Par exemple, le signal d'onde gravitationnelle ("GW") GW200208_222617 a été observé le 8 ("08") février ("02") 2020 ("20") à 22h26'17" UTC.

Les propriétés des sources d'ondes gravitationnelles

Les signaux d'ondes gravitationnelles observés contiennent des informations sur les propriétés des systèmes binaires compacts qui les ont produits. Ces propriétés peuvent être *intrinsèques* ou *externes (extrinsèques)*. Les propriétés intrinsèques décrivent la source elle-même : par exemple les masses et **spins** des astres compacts qui forment le système binaire. Les propriétés externes informent sur la manière dont l'événement a été observé sur Terre : elles incluent la position de la source dans le ciel au moment de la détection, sa distance ainsi que l'orientation du plan dans lequel les deux astres compacts tournaient l'un autour de l'autre avant de fusionner.

On remonte aux propriétés intrinsèques des systèmes binaires en appliquant une méthode dite d'**estimation des paramètres**. C'est un outil statistique puissant qui compare beaucoup de modèles de signaux (émis par des sources dont les propriétés sont différentes) aux données enregistrées. Cette comparaison permet de trouver quels ensembles de paramètres sont compatibles avec le signal observé (en supposant que ce dernier est une vraie onde gravitationnelle). Pour chaque paramètre, nous donnons comme résultat de l'analyse un intervalle à 90% de confiance, c'est-à-dire qu'il y a 90% de chance que la vraie valeur dudit paramètre soit dans cet intervalle.

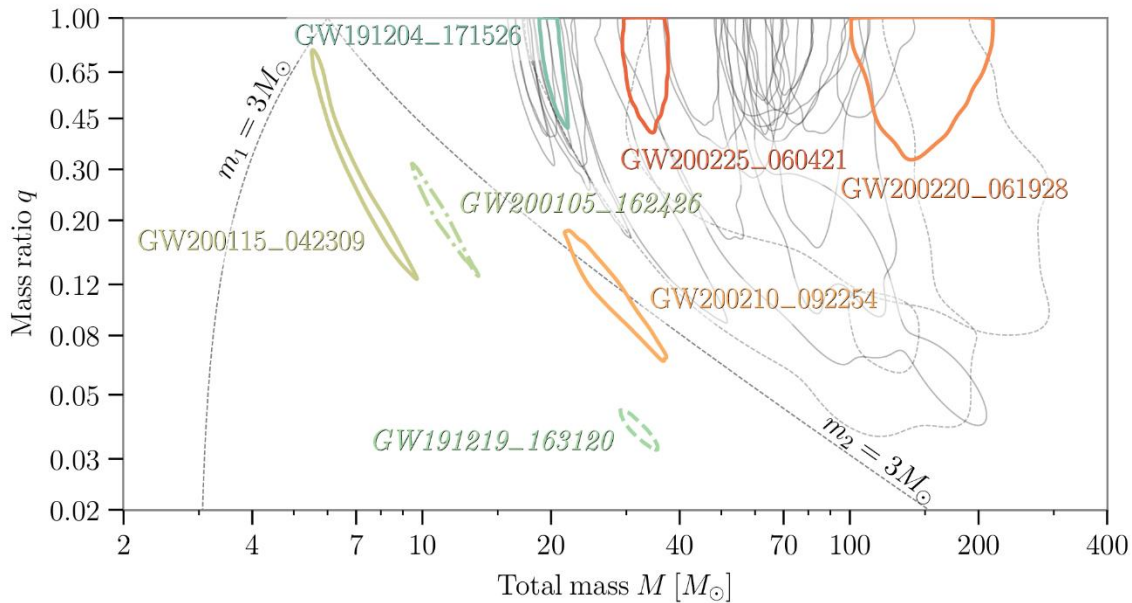


Figure 4 : (Fig. 8 de l'article scientifique original) : Estimations de la masse totale (M) et du rapport de masse (q) pour tous les événements de la prise de données O3b. Chaque contour correspond à un événement différent et délimite la région à 90% de confiance pour ces paramètres, c'est-à-dire la région qui a 90% de chances de contenir les vraies valeurs de M et q . Les événements marquants (voir ce résumé et l'article scientifique original) sont mis en valeur par des contours en couleurs.

Les contours rassemblés sur la Figure 4 montrent ces régions à 90% de confiance pour deux paramètres analysés simultanément : la **masse totale** et le **rapport de masses** du système binaire. La masse totale, mesurée en unité de la **masse du Soleil M_{\odot}** , nous dit si le système binaire était globalement plutôt "lourd" ou "léger". Tandis que le rapport de masses nous dit si le système était plutôt "symétrique" ou "asymétrique" en termes de masses. Un rapport de masse proche de 1 signifie que les deux astres compacts avaient à peu près la même masse.

Étudier les propriétés globales de ces populations nous renseigne sur la manière dont ces systèmes binaires se sont formés. On peut également utiliser ces informations pour tester les prédictions de la théorie de la relativité générale d'Einstein et même pour mesurer le taux d'expansion de

l'Univers. Une sélection des événements marquants du catalogue GWTC-3 est présentée ci-dessous.

Les événements marquants du catalogue GWTC-3

Si on regarde les propriétés estimées des 35 nouveaux événements du catalogue GWTC-3, on voit que 32 sont probablement des fusions de systèmes binaires de trous noirs et que les trois autres sont de possibles fusions étoile à neutrons - trou noir. Cette distinction vient du fait que nous considérons que des astres compacts de moins de $3 M_{\odot}$ sont potentiellement des étoiles à neutrons. Par contre, aucune fusion potentielle de deux étoiles à neutrons n'a été détectée pendant la prise de données O3b. La Figure 5 donne les valeurs les plus probables de trois paramètres clés (décrits dans la légende de l'image) pour huit événements sélectionnés du catalogue O3b.

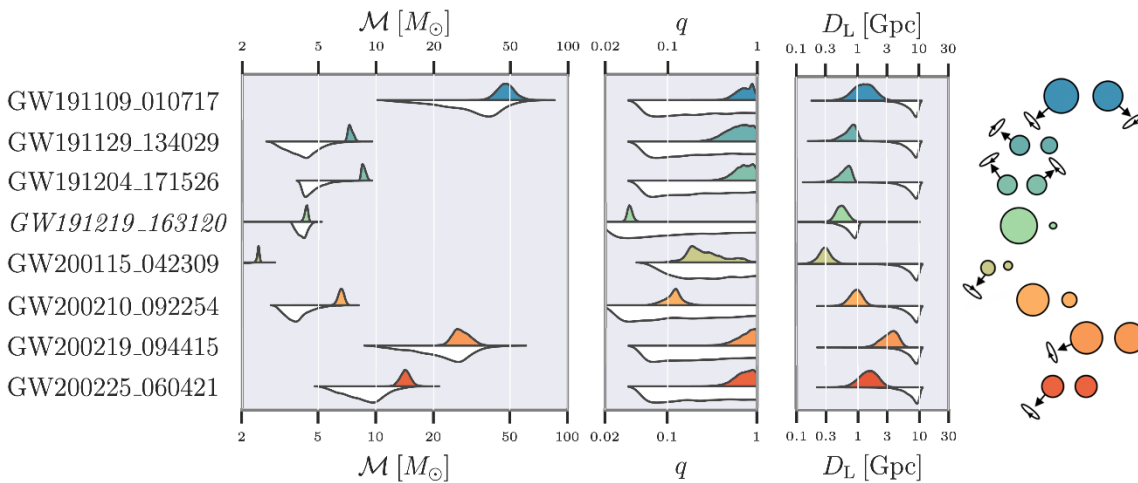


Figure 5 : Ces graphiques montrent les valeurs les plus probables (et leurs incertitudes associées) de trois paramètres importants pour huit événements marquants O3b du catalogue GWTC-3 : la **masse chirp** du système binaire, le rapport de masses et la distance de luminosité de la source (en gigaparsecs, c'est-à-dire en milliers de mégaparsecs). Les régions colorées correspondent aux résultats des analyses (distributions de probabilité « a posteriori »), tandis que les régions blanches montrent les résultats attendus en l'absence de signal (distributions de probabilités « a priori »). Chacun des systèmes binaires est représenté par un schéma (pas à l'échelle) sur la droite de l'image : la surface des disques représente la masse des astres compacts et les flèches leurs spins. Crédits : LIGO-Virgo-KAGRA Collaborations/Isobel Romero-Shaw/OzGrav.

Fusions étoile à neutrons - trou noir

Les trois fusions possibles étoile à neutrons - trou noir sont les événements suivants.

- GW191219_163120 est une fusion étoile à neutrons - trou noir très asymétrique. En effet, le trou noir a une masse d'environ $31 M_{\odot}$ tandis que l'étoile à neutrons pèse à peine $1,2 M_{\odot}$. Cette étoile à neutrons est l'une des plus légères jamais observée.
- GW200115_042309 est une fusion étoile à neutrons - trou noir très nette dont l'observation a fait l'objet d'une [précédente publication](#). Les masses de ce système sont estimées à environ $6 M_{\odot}$ pour le trou noir et $1.4 M_{\odot}$ pour l'étoile à neutrons.
- GW200210_092254 est peut-être un système binaire étoile à neutrons - trou noir. L'astre le plus lourd, dont la masse est $24 M_{\odot}$, est certainement un trou noir. Par contre, l'astre le plus léger a une masse de $2.8 M_{\odot}$: il pourrait donc s'agir soit d'une étoile à neutrons lourde, soit d'un trou noir léger. Cet événement est similaire au signal [GW190814](#) observé pendant le run O3a. Étant donné ce que nous savons des étoiles à neutrons, la source du signal GW200210_092254 est plus probablement une fusion d'un système de deux trous noirs mais nous ne pouvons pas en être sûrs.

Les amateurs éclairés des ondes gravitationnelles auront remarqué l'absence dans cette liste de l'événement **GW200105_162426**, pourtant publié avec GW200115_042309. Lorsque l'on prend en compte tous les événements de la prise de données O3b, le calcul donne une probabilité de seulement 36% que GW200105_162426 soit un vrai signal astrophysique, une valeur inférieure au seuil de 50% qui donne accès au catalogue GWTC-3 -- pour en savoir plus, merci de consulter l'entrée dédiée du glossaire à la fin de cet article. Bien que ce signal ne remplisse pas les critères pour figurer dans la liste GWTC-3, il se démarque clairement du bruit de fond donc cet événement conserve tout son intérêt ! S'il s'agit bien d'une onde gravitationnelle, le système binaire à l'origine du signal GW200105_162426 comprend un trou noir de $9 M_{\odot}$ et une étoile à neutrons de $1.9 M_{\odot}$.

Fusions de systèmes binaires de trous noirs

Les coalescences de systèmes binaires de trous noirs les plus marquantes sont les suivantes.

- GW200220_061928 est probablement le système binaire de trous noirs le plus massif sur l'ensemble de la prise de données O3b (il est toutefois plus léger que les événements [GW190521](#) et GW190426_190642 de O3a). La masse combinée des deux trous noirs est $148 M_{\odot}$ ($87 M_{\odot}$ et $61 M_{\odot}$ pour chaque trou noir). Le trou noir final formé par la fusion a une masse de $141 M_{\odot}$, au-delà de la limite des $100 M_{\odot}$ où commence la catégorie des [trous noirs intermédiaires](#).
- GW191204_171526 est une fusion d'un système binaire de trous noirs dont le **paramètre de spin effectif** est très probablement positif. Cette quantité est directement mesurable à partir du signal d'onde gravitationnelle. Si sa valeur est positive, cela signifie qu'au moins un des trous noirs tournait sur lui-même et que, globalement, les deux astres tournaient sur eux-mêmes dans le même sens que leur mouvement orbital au sein du système binaire. Cette information de spin est un indice de la manière dont ce système s'est formé. En 2015, [GW151226](#) fut le premier système binaire de trous noirs à présenter un paramètre de spin effectif positif. Pour GW191204_171526, les masses des deux trous noirs qui ont fusionné valent environ $12 M_{\odot}$ et $8 M_{\odot}$ tandis que le trou noir formé par la fusion a une masse de $19 M_{\odot}$.

- GW191129_134029 a la masse totale la plus faible de tous les événements O3b classés sans ambiguïté dans la catégorie des systèmes binaires de trous noirs. Sa masse totale est environ $17,5 M_{\odot}$ (environ $10,7 M_{\odot}$ et $6,7 M_{\odot}$ pour chaque trou noir). Le trou noir issu de la cette fusion a lui une masse d'environ $16,8 M_{\odot}$.
- GW191109_010717 est un système binaire de trous noirs qui semble avoir un paramètre de spin effectif négatif. Cela voudrait dire que les spins des trous noirs sont globalement opposés à leur moment orbital angulaire -- dit plus simplement : les deux astres tournent sur eux-mêmes dans le sens contraire de leur mouvement orbital au sein du système binaire. La probabilité que le spin soit négatif est de 90%. Les systèmes avec un paramètre de spin effectif négatif semblent plus rares que ceux avec un spin positif dans notre catalogue d'ondes gravitationnelles. GW191109_010717 est également un des systèmes binaires les plus massifs observés : environ $65 M_{\odot}$ et $47 M_{\odot}$ pour les trous noirs initiaux et environ $107 M_{\odot}$ pour le trou noir final. Comme sa masse est proche de celle du système GW200220_061928, les graphiques mettent plutôt en valeur l'événement GW200225_06042 qui est l'autre système qui a une bonne probabilité (environ 85%) d'avoir un paramètre de spin effectif négatif.

Perspectives

Les Collaborations LIGO et Virgo ont révélé un univers riche en sources d'ondes gravitationnelles. À ce jour, 90 événements ont été observés et le catalogue GWTC-3 en a ajouté 35 nouveaux, dont les meilleurs candidats pour être des fusions étoile à neutrons - trou noir. L'observation de nouveaux signaux nous permettra d'en apprendre toujours plus sur les astres qui les produisent et les propriétés de leurs populations ; nous les utiliserons également pour continuer à tester la relativité générale. Et plus nous détecterons d'événements, plus nous aurons de chance de tomber sur des membres inattendus de ces populations.

Après O3, les détecteurs LIGO et Virgo ont été arrêtés pour pouvoir bénéficier d'une nouvelle campagne d'améliorations avant la quatrième prise de données commune, O4, qui a démarré le [24 mai 2023](#). Le détecteur KAGRA construit au Japon rejoindra également O4. Ajouter des détecteurs au réseau améliore sa capacité à localiser la source d'un signal d'onde gravitationnelle dans le ciel.

En attendant, nous continuerons à analyser les données disponibles, à en apprendre plus sur les astres compacts que nous observons, ainsi qu'à chercher des sources potentielles d'ondes gravitationnelles que nous n'avons pas encore découvertes comme les sources continues ou le fond stochastique d'ondes gravitationnelles. L'avenir nous réservera peut-être d'autres surprises !

Glossaire

- **Estimation des paramètres** : une technique statistique pour estimer les paramètres astrophysique de la source d'un signal d'onde gravitationnelle détecté.
- **Étoile à neutrons** : Un vestige d'une étoile massive. Lorsqu'une étoile massive a épuisé son combustible nucléaire, elle meurt lors d'une explosion catastrophique -- une supernova

-- qui peut conduire à la formation d'une étoile à neutrons, un astre si massif et dense (moins qu'un trou noir néanmoins) que les atomes ne peuvent pas conserver leur structure que nous connaissons sur Terre : le noyau et les électrons se combinent pour ne former que des neutrons. Une étoile à neutrons a une masse de l'ordre de celle du Soleil mais un rayon d'environ une dizaine de kilomètres.

- **GW200105_162426** : une possible fusion entre une étoile à neutrons et un trou noir [publiée précédemment](#) et la probabilité d'être un vrai signal d'origine astrophysique n'est que de 36% une fois pris en compte tous les événements détectés pendant O3b. Ce signal est très difficile à analyser pour deux raisons majeures.
 - La première est qu'il s'agit d'une observation basée sur les données d'un seul détecteur, LIGO Livingston. Au moment où cet événement a été détecté LIGO Hanford ne prenait pas de données ; Virgo, lui, fonctionnait mais aucun signal significatif n'a pu être identifié dans ses données. Il peut arriver qu'une onde gravitationnelle soit visible dans un instrument mais pas dans un autre : cela dépend des sensibilités relatives des deux détecteurs et de la position de la source dans le ciel -- c'est par exemple ce qui s'est passé pour [GW170817](#). Et c'est toujours délicat d'estimer la signification statistique d'un signal (c'est-à-dire la manière dont il se démarque du bruit de fond) lorsque les données d'un seul détecteur sont disponibles.
 - La seconde raison est qu'on sait encore peu de choses sur la population des systèmes binaires étoile à neutrons - trou noir puisqu'on ne dispose pas de beaucoup d'observations de telles sources. Cela rend difficile la classification des candidats de ce type. Au fur et à mesure que nous observerons plus de systèmes binaires étoile à neutrons - trou noir, nous apprendrons plus de choses sur cette population et nous pourrons réanalyser les candidats passés comme GW200105_162426.
- **Latence** : Le temps écoulé entre l'enregistrement des données du candidat ondes gravitationnelles par les différents détecteurs et le moment où l'alerte correspondante est rendue public. Cette durée inclut le temps de transfert des données vers les centres de calcul où les analyses ont lieu, l'analyse des données proprement dite, la décision automatique de poursuivre l'étude d'un candidat qui semble intéressant, le contact également automatique des équipes d'astreinte, enfin la validation par ces personnes de l'intérêt scientifique dudit candidat.
- **Lumière diffusée** : Lorsqu'un faisceau laser rencontre un composant optique, une petite fraction de sa lumière peut être diffusée (c'est-à-dire réfléchi dans une direction aléatoire). Cette lumière diffusée peut ensuite être réfléchi sur d'autres surfaces avant de finalement se recombiner avec le faisceau laser principal et de provoquer des glitches. Pour en savoir plus sur les glitches et les différentes catégories dans lesquelles ils sont classés, vous pouvez consulter le projet [Gravity Spy](#).
- **Masse "chirp"** (ce mot se traduit par "gazouillis" en français) : Une fonction des masses des deux astres compacts du système binaire (voir [ici](#) pour la formule mathématique). La masse chirp définit l'augmentation caractéristique de la fréquence instantanée du signal d'onde gravitationnelle en fonction du temps pour les systèmes binaires légers.
- **Masse solaire (M_{\odot})** : La masse du Soleil (environ 2×10^{30} kilogrammes). La masse solaire est une unité de masse commune en astronomie.
- **Masse totale** : La somme des masses des deux astres compacts du système binaire.

- **Médiane** : La valeur qui se trouve exactement au milieu d'une distribution (par exemple celle de la taille des Français adultes) ; la moitié de la distribution est au-dessous de la médiane ; l'autre moitié est au-dessus.
- **Mégaparsec** : Une unité de distance. Un mégaparsec (1 Mpc) vaut environ 3,26 millions d'années-lumière.
- **Modèle d'onde gravitationnelle** : une représentation de l'évolution d'un signal d'onde gravitationnelle en fonction du temps.
- **Objet compact** : Un astre qui concentre une grande masse dans un petit volume, trou noir, étoile à neutrons ou [naine blanche](#).
- **Paramètre de spin effectif** : Le paramètre le mieux mesuré expérimentalement parmi ceux du signal d'onde gravitationnelle qui contiennent de l'information sur les mouvements de rotation au sein du système binaire. Il quantifie l'accord entre les mouvements de rotation propre des deux astres et leur mouvement de rotation orbital au sein du système binaire (par exemple si ces mouvements sont tous dans le sens horaire ou bien tous dans le sens anti-horaire).
- **Prise de données** : Une période (quelques semaines, quelques mois voire plus) pendant laquelle les détecteurs d'ondes gravitationnelles prennent des données en continu pour réaliser des observations astrophysiques.
- **Probabilité d'être astrophysique** : Il s'agit de la probabilité qu'un signal soit une vraie onde gravitationnelle. Cette quantité dépend à la fois de la force du signal par rapport au bruit de fond et de notre compréhension de la population à laquelle la source appartient. Ainsi, le fait d'avoir déjà observé beaucoup de systèmes binaires de trous noirs nous permet de mieux connaître la population de ces systèmes et nous aide à calculer la probabilité qu'un nouveau candidat de ce type soit effectivement d'origine astrophysique. Au contraire, comme nous avons peu d'observations de systèmes étoile à neutrons - trou noir, cette quantité est difficile à évaluer pour les candidats actuels et nous pourrions la recalculer plus tard, lorsque nous aurons plus d'événements de ce type.
- **Rapport de masses** : Le rapport entre la masse de l'astre compact le plus léger et celle de l'astre compact le plus lourd ; c'est donc un nombre toujours compris entre 0 et 1.
- **Spin** : La vitesse et le sens de rotation propre (c'est-à-dire le moment angulaire) d'un trou noir autour de son centre de masse.
- **Système binaire d'étoiles à neutrons** : Un système constitué de deux étoiles à neutrons en orbite l'une autour de l'autre (voir [ici](#))
- **Système binaire de trous noirs** : Un système constitué de deux trous noirs en orbite l'un autour de l'autre (voir [ici](#)).
- **Système binaire étoile à neutrons - trou noir** : un système constitué d'une étoile à neutrons et d'un trou noir en orbite l'un autour de l'autre.
- **Taux de fausse alarme** : Ce taux donne la fréquence avec laquelle une fluctuation aléatoire du bruit de mesure dans un détecteur peut produire un signal similaire à celui de l'événement candidat étudié. Plus ce taux de fausse alarme est faible et plus le signal a de chance d'avoir une origine astrophysique.
- **Trou noir** : une région de l'espace-temps très déformée, causée par la présence d'une masse très compacte en son sein et où la gravitation est si intense qu'elle empêche tout, y compris la lumière, de s'échapper de cette région.

Pour en savoir plus

- Visitez nos sites internet
 - [LIGO](#)
 - [Virgo](#)
 - [KAGRA](#)



- Lisez l'annonce de cette découverte sur les sites internet de
 - Virgo : https://www.virgo-gw.eu/#news_gwtc3
(cliquez sur le drapeau tricolore pour la version française)
 - LIGO : <https://www.ligo.org/news/index.php#GWTC3>
 - KAGRA : <https://gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/archives/1577>
- L'article scientifique complet est accessible gratuitement via l'un des liens suivants :
 - [Serveur de pré-publications arXiv](#) ;
 - [Version finale publiée dans la revue PhysRevX](#).
- Autres articles scientifiques associés :
 - [Cosmologie](#)
 - [Populations d'astres compacts](#)
 - [Recherche de coïncidence avec des sursauts gamma](#)
- Les données de O3b rendues publiques sont disponibles via le portail internet du [Gravitational Wave Open Science Center](#). Vous pouvez en apprendre davantage sur nos données publiques en lisant [cet article](#) (en anglais).