

# GWTC-5.0 : MISE À JOUR DU CATALOGUE AVEC LES OBSERVATIONS DE LA DEUXIÈME PARTIE DE LA QUATRIÈME CAMPAGNE D'OBSERVATION LIGO-VIRGO-KAGRA

En mai 2026, les collaborations LIGO-Virgo-KAGRA (LVK) publient les données interférométriques de la deuxième partie de la quatrième campagne d'observation (O4b), qui s'est déroulée d'avril 2024 à janvier 2025 — une période d'environ neuf mois consacrée à la recherche d'ondes gravitationnelles (OG) émises par des objets compacts en fusion, tels que des étoiles à neutrons et des trous noirs. Dans ces données, nous avons découvert avec certitude 161 nouveaux signaux d'ondes gravitationnelles (OG) tous compatibles avec une fusion de trous noirs binaires. (Contrairement à la publication précédente du catalogue, aucun nouvel événement impliquant des étoiles à neutrons n'a été identifié pendant O4b.)

Parallèlement à la publication de ces données, nous publions la version 5.0 du Catalogue d'Ondes Gravitationnelles Transitoires (GWTC-5.0), qui contient la liste des candidats OG ainsi que les mesures de leurs propriétés. GWTC-5.0 inclut également une analyse affinée de certains candidats publiés précédemment. Un ensemble d'articles scientifiques accompagne le catalogue. Nous résumons ici les trois premiers d'entre eux, qui portent sur la production et les résultats de GWTC-5.0 lui-même.

## INTRODUCTION

Le premier article, intitulé « GWTC-5.0 : une introduction à la version 5.0 du Catalogue des Ondes Gravitationnelles Transitoires », offre une vue d'ensemble du catalogue. Il comprend des informations sur la nomenclature, des détails sur la publication du catalogue, et un résumé des articles compagnons qui l'accompagnent. Il est destiné à aider les nouveaux lecteurs à s'orienter dans le catalogue sans leur imposer de lire ses versions antérieures.

### Nommer les événements

Nous dénommons les événements OG en utilisant la date et l'heure à laquelle nous les détectons, en Temps Universel Coordonné (UTC). Par exemple, l'événement GW200105\_162426 a été détecté le 5 janvier 2020 à 16:24:26 UTC. (Certains événements, comme GW150914 ou GW250114, sont suffisamment exceptionnels pour que nous omettions l'horodatage afin d'améliorer leur lisibilité.) Nous ajoutons le préfixe GW à tous les signaux candidats détectés, même s'il existe une chance qu'ils ne soient pas d'origine astrophysique. Pour être inclus dans le catalogue, les événements doivent avoir une probabilité élevée (au moins 50 %) d'être d'origine astrophysique et doivent satisfaire tous nos critères de qualité des données et de cohérence du signal.

### Un pour tous (les catalogues)

Conformément aux mises à jour passées du GWTC, le contenu de GWTC-5.0 est cumulatif : chaque nouveau catalogue inclut non seulement les nouveaux candidats

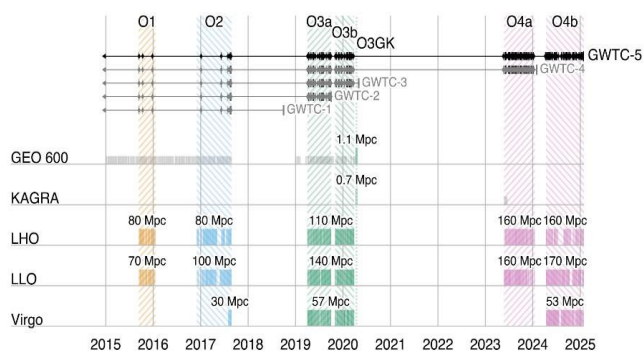


Figure 1 : Chronologie des campagnes d'observation montrant les périodes de collecte de données pour les observatoires d'OG GEO 600, KAGRA, LIGO-Hanford (LHO), LIGO-Livingston (LLO) et Virgo. Les chiffres au-dessus des blocs colorés correspondent à la distance approximative (en mégaparsecs, Mpc) à laquelle le détecteur peut détecter une fusion standard d'étoiles à neutrons binaires. En haut, des marqueurs indiquent les détections, et des barres horizontales montrent la plage de données de chaque catalogue.

identifiés dans les données inédites (O4b cette fois), mais également tous les candidats des campagnes précédentes. Autrement dit, GWTC-5.0 remplace toutes les versions antérieures du catalogue. De plus, le GWTC-5.0 inclut des résultats de recherche actualisés et des propriétés astrophysiques estimées pour des événements supplémentaires issus de la première partie d'O4 (O4a). Ce sous-ensemble du catalogue est nommé GWTC-4.1, en accord avec la convention de nommage introduite avec la version précédente du catalogue.

## EN SAVOIR PLUS :

Visitez nos sites web : [www.ligo.org](http://www.ligo.org), [www.virgo-gw.eu](http://www.virgo-gw.eu), <https://gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/>



Cela signifie que GWTC-5.0 contient tous les candidats transitoires OG détectés avec certitude depuis la première campagne d'observation (O1, débutée en septembre 2015) jusqu'à la deuxième partie de la quatrième campagne d'observation (O4b), en passant par toutes les périodes intermédiaires. Au fil du temps, nos détecteurs sont devenus progressivement plus sensibles. Vous pouvez observer l'historique des améliorations de sensibilité dans la chronologie des campagnes d'observation présentée à la Figure 1.

On notera également sur la Figure 1 que le détecteur Virgo a rejoint la campagne O4 lors de O4b avec des sensibilités comparables à celles démontrées lors de la troisième campagne d'observation. Cela est notable non seulement parce que cela augmente la sensibilité globale du réseau de détecteurs, mais aussi parce que cela améliore considérablement la capacité du réseau à localiser précisément chaque événement sur la sphère céleste.

### Explorer l'Univers un hypervolume à la fois

La meilleure résolution angulaire dans le ciel, combinée à une sensibilité en distance améliorée, fait d'O4b la période de recherche d'OG la plus sensible à ce jour. Nous quantifions ceci en calculant le volume à 4 dimensions (à la fois dans le temps et dans l'espace) observé par les détecteurs. Conformément aux publications précédentes du catalogue, nous appelons cela un « hypervolume » car c'est un volume en quatre dimensions. Nous simulons à quoi devraient ressembler les signaux OG dans nos détecteurs s'ils se produisaient à différentes distances astrophysiques et positions dans le ciel.

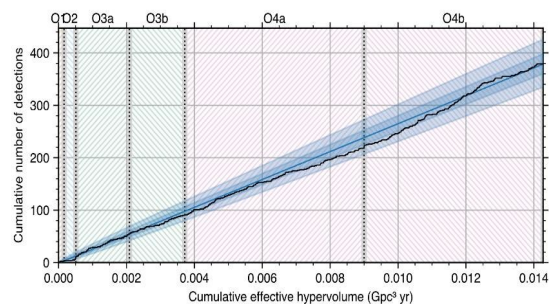


Figure 2 : Nombre cumulé de détections tracé en fonction de l'hypervolume espace-temps approximatif exploré par les détecteurs, montrant à la fois l'augmentation du nombre d'événements OG détectés et l'étendue de notre exploration de l'univers local. La ligne noire représente les événements détectés, et les bandes bleues ombrées autour d'elle indiquent l'incertitude de cette mesure.

Figure 2, nous représentons la mise à jour de cet hypervolume en fonction du nombre cumulé de détections. Elle montre combien de signaux ont été détectés lors de chaque campagne d'observation et illustre qu'au cours d'O4b, nous avons à nouveau presque doublé le nombre de signaux observés !

En témoignage de la sensibilité de recherche accrue, lorsque l'on compare les deux premières parties d'O4 (O4a + O4b) aux campagnes antérieures, on constate que les résultats d'O4 représentent environ 75 % du nombre total de détections d'OG à ce jour. (La Figure 3 offre une autre manière de visualiser ceci.)

## MÉTHODES

Le deuxième article, intitulé « GWTC-5.0 : Méthodes pour identifier et caractériser les transitoires d'ondes gravitationnelles », fournit les détails de la méthodologie utilisée pour produire GWTC-5.0. Il couvre les techniques utilisées pour modéliser les signaux OG recherchés, ainsi que les logiciels d'analyse utilisés pour les détecter dans les données. Il décrit ensuite la manière dont nous traitons les fluctuations de bruit pouvant affecter la qualité de nos données. L'article se conclut par un aperçu des outils utilisés pour estimer les paramètres astrophysiques de chaque système (comme les masses des objets compacts qui ont fusionné), vérifier la cohérence de nos résultats, et gérer les structures de données complexes nécessaires à ce travail ambitieux.

### La pratique mène à la perfection

La majeure partie de la méthodologie centrale de GWTC-5.0 reste largement inchangée par rapport à l'analyse GWTC-4.0 des événements O4a. Nous avons cependant identifié et corrigé plusieurs bugs mineurs, dont un affectant la calibration de nos données, et un autre concernant les techniques d'estimation des propriétés astrophysiques de chaque événement. Dans tous les cas, les effets de ces bugs se situent bien en deçà des incertitudes statistiques des événements individuels, et aucune des conclusions scientifiques des publications précédentes du catalogue n'est affectée.

### Se souvenir de nos racines tout en continuant de grandir

Conformément aux conventions des mises à jour précédentes du catalogue, l'article sur les méthodes contient également des descriptions historiques des algorithmes utilisés dès la première campagne d'observation. Ceci est essentiel car GWTC est un catalogue cumulatif — il inclut tous les résultats antérieurs, même si nous ne les avons pas réanalysés. Ainsi, si quelqu'un souhaite comprendre un événement de la première campagne d'observation (par exemple, GW150914, la première détection), tout en consultant le catalogue GWTC-5.0, il aurait besoin du contexte complet des outils d'analyse utilisés à l'époque. L'objectif est de s'assurer que les nouveaux lecteurs du catalogue n'aient pas à consulter les versions antérieures des articles pour être pleinement informés de son état actuel.

Parallèlement à ce contexte historique, nous nous efforçons aussi d'intégrer de nouvelles techniques puissantes pour améliorer continuellement nos analyses. Pour GWTC-5.0, nous avons ajouté des analyses assistées par apprentissage automatique comme forme de validation croisée. Ces nouvelles approches entraînent des réseaux de neurones sur de grandes bibliothèques de signaux simulés afin d'estimer les propriétés d'un nouveau signal en une fraction du temps requis par nos méthodes traditionnelles. Une étape de repondération ultérieure corrige les éventuels petits écarts entre l'approximation rapide du réseau de neurones et un calcul plus rigoureux.

## RÉSULTATS

Le troisième article, intitulé « GWTC-5.0 : Observations de la deuxième partie de la quatrième campagne d'observation LIGO-Virgo-KAGRA et mises à jour du Catalogue des Ondes Gravitationnelles Transitoires », fournit un résumé des résultats astrophysiques pour les nouveaux candidats ajoutés dans GWTC-5.0. Il se concentre sur les propriétés essentielles de chaque événement (notamment les masses, les spins et la distance). Des analyses supplémentaires couvrant des interprétations plus larges des résultats seront incluses dans plusieurs articles compagnons qui paraîtront conjointement ou peu après la publication des données du GWTC-5.0.

### En route vers les 400

Nous avons trouvé 161 nouveaux candidats survenus durant O4b qui sont vraisemblablement d'origine astrophysique. Tous ces événements semblent être des fusions de trous noirs binaires d'après ce que nous avons pu déduire pour leurs masses à partir des signaux OG détectés. Contrairement aux données antérieures de la publication précédente du catalogue, aucun nouvel événement impliquant des étoiles à neutrons n'a été identifié pendant O4b.

Ces nouveaux événements portent le nombre total de candidats dans le GWTC à 390 (voir Figure 4). Parmi les 161 nouveaux candidats, nous fournissons également une analyse de suivi détaillée pour les 104 événements les plus significatifs. La significativité est mesurée par le « taux de fausses alarmes » — une mesure de la fréquence à laquelle des fluctuations aléatoires de bruit pourraient produire quelque chose mimant un signal OG. L'analyse de suivi est réalisée sur les événements ayant un taux de fausses alarmes inférieur à un par an.

### Événements exceptionnels

Plusieurs événements exceptionnellement remarquables — dont certains ont été annoncés précédemment — sont inclus dans le catalogue. Parmi ceux-ci figurent GW250114, le signal OG le plus puissant jamais enregistré ; GW241011 et GW241110, qui ont fourni des preuves convaincantes de l'existence de fusions de trous noirs « hiérarchiques » ; GW240925, l'un des deux événements utilisés dans la première calibration astrophysique. Chacun de ces résultats a fait l'objet d'une publication dédiée, mais mérite néanmoins d'être mis en avant dans le catalogue en tant qu'observation remarquable. Nous résumons chacun de ces événements exceptionnels dans le panneau ci-contre, avec des liens vers leurs résumés scientifiques pour les lecteurs curieux.

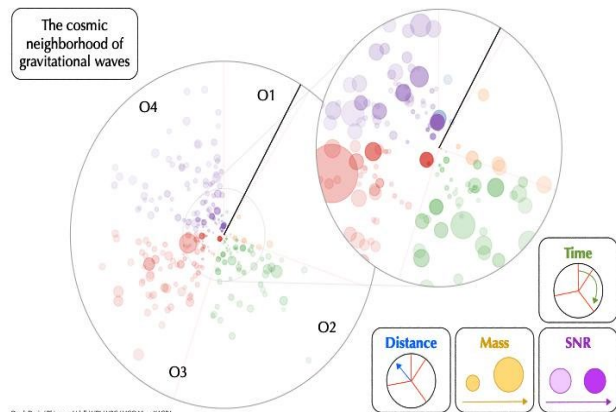


Figure 3 : Bien que la quatrième campagne d'observation représente moins de la moitié du temps total d'observation, elle représente environ 75 % de toutes les détections d'OG à ce jour. Dans ce diagramme, chaque événement OG est représenté par un cercle. La taille du cercle représente la masse totale de la fusion. L'ombrage du cercle indique la « puissance » de l'événement dans notre détecteur (mesurée par le rapport signal sur bruit, SNR). La distance du cercle au centre représente la distance à laquelle la fusion s'est produite depuis la Terre. Chaque tranche représente une des campagnes d'observation (O1 à O4b).

### Notre résolution (angulaire) comme seule limite !

Le GWTC-5.0 établit également un nouveau record de précision en astronomie d'OG avec des localisations considérablement améliorées pour plusieurs événements. Pour comprendre pourquoi ceci est notable, il faut d'abord comprendre comment les détecteurs OG localisent les événements. Un seul détecteur OG peut vous dire si un événement OG s'est produit, mais ne peut pas nécessairement le localiser sur la voûte céleste (au mieux il peut dire où il n'était pas, en éliminant les directions dans les quelles le détecteur est aveugle).

## ÉVÉNEMENTS EXCEPTIONNELS

### GW250114 – le signal OG le plus puissant à ce jour

GW250114 est un signal OG d'une puissance record issu d'une coalescence de trous noirs binaires. Nous mesurons la « puissance » des événements OG via le rapport signal sur bruit (SNR). Le précédent détenteur du record, GW230814, avait un SNR de 42,4. GW250114 a été observé avec un SNR de 76,9 (presque deux fois plus puissant), ce qui nous a permis d'effectuer des tests rigoureux de la relativité générale et de confirmer la validité du théorème des aires de Hawking. Les deux trous noirs qui ont fusionné (avec des masses d'environ 34 et 32 fois la masse de notre Soleil) sont presque identiques aux trous noirs de ~36 et ~29 masses solaires de GW150914, la toute première détection d'OG. Ces événements se sont produits à peu près à la même distance de la Terre — 1,3 et 1,4 milliards d'années-lumière, pour GW250114 et GW150914 respectivement. L'amélioration massive du SNR est presque entièrement due aux améliorations des détecteurs eux-mêmes.

### GW241011 et GW241110 – preuves de fusions hiérarchiques

Lorsque deux trous noirs naissent d'une paire d'étoiles qui ont passé leur vie ensemble, on s'attend à ce que leur « spin » (rotation intrinsèque, distincte de leur mouvement orbital) soit au moins partiellement aligné avec la rotation de l'orbite. Mais GW241011 et GW241110 ont tous deux montré des spins bien mesurés qui ne s'alignent pas comme prévu, ainsi que des masses distinctement inégales. Ces indices suggèrent que les systèmes se sont probablement formés dans un environnement dense comme un amas stellaire compact, où les trous noirs peuvent se rencontrer et se capturer dynamiquement — et où l'un des trous noirs en fusion peut lui-même être le vestige d'une fusion antérieure. Ces événements constituent notre meilleure preuve à ce jour de telles « fusions hiérarchiques ».

### GW240925 – première utilisation informative de la calibration astrophysique

La détection des OG nécessite une calibration soignée et rigoureuse de nos détecteurs au moment de chaque événement. Dans la plupart des cas, cela est bien compris, mais l'état de calibration peut parfois être inconnu. Dans le cas de GW240925, c'est exactement ce qui s'est passé. L'événement lui-même était typique en apparence — la fusion de deux trous noirs d'environ 9 et 7 fois la masse de notre Soleil — mais il est survenu à un moment où le détecteur LIGO Hanford était mal calibré. Heureusement, le signal était assez puissant (SNR de 31,9), et parce que les OG émises par des trous noirs en fusion sont bien comprises, nous avons pu comparer nos données mal calibrées à des modèles théoriques. Cela nous a permis d'utiliser le signal lui-même pour rétro-ingénierer la calibration du détecteur. C'est la première fois que des événements astronomiques ont été directement utilisés pour calibrer nos détecteurs.

Lorsque deux détecteurs captent le même signal, nous pouvons comparer les temps précis auxquels il est apparu dans chaque détecteur et — sachant que les OG voyagent à la vitesse de la lumière — trianguler la provenance probable du signal, de manière très similaire à la façon dont votre téléphone utilise le timing des signaux GPS pour vous localiser. Lorsque trois détecteurs (ou plus) sont en service simultanément, cette triangulation peut être réalisée plusieurs fois (en prenant les détecteurs deux à deux), ce qui améliore de façon décisive notre capacité à déterminer la direction de l'événement dans le ciel.

Lors d'O4a, seuls les deux détecteurs LIGO fonctionnaient, ce qui limitait notre capacité à localiser les événements OG. Mais Virgo a rejoint la campagne pour O4b, ajoutant un troisième détecteur dans le réseau. Cela a massivement amélioré notre précision, comme le montre GW240615\_113620 — la source OG la mieux localisée à ce jour — avec une surface sur le ciel de seulement 6 degrés carrés. Par comparaison, la meilleure localisation obtenue dans GWTC-4.0 était près de vingt fois moins précise (110 degrés carrés).

## Vers GWTC-5.0 et au-delà !

GWTC-5.0 marque une nouvelle étape significative dans notre exploration de l'univers des ondes gravitationnelles. En un peu plus d'une décennie depuis la première détection de GW150914, nous sommes passés d'un seul signal confirmé à un catalogue de près de 400 événements. À chaque campagne d'observation, nous élargissons notre connaissance des populations de trous noirs et d'étoiles à neutrons cachées dans le cosmos.

## POUR EN SAVOIR PLUS :

Visitez nos sites web :

[www.ligo.org](http://www.ligo.org)

[www.virgo-gw.eu](http://www.virgo-gw.eu)

[gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/](http://gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/) (KAGRA)

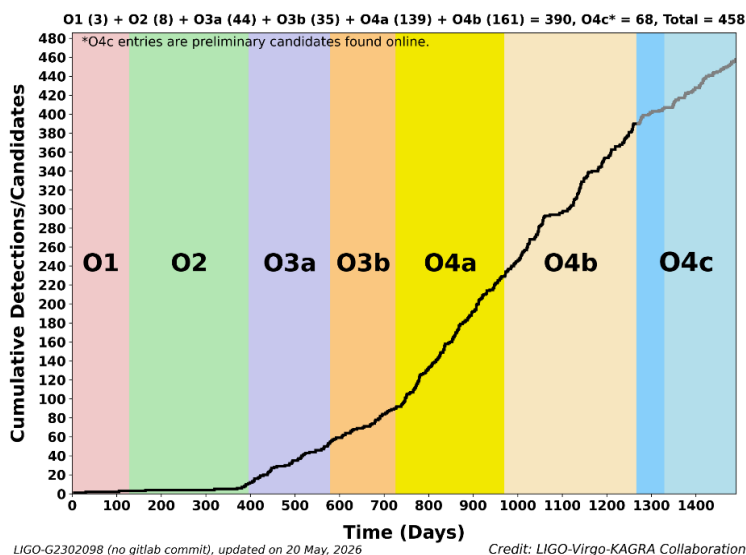
Lisez les prépublications gratuites des articles scientifiques du GWTC-5.0 :

- Introduction : <https://dcc.ligo.org/LIGO-2500701/public/>

- Méthodes : <https://dcc.ligo.org/LIGO-P2600166/public/>

- Résultats : <https://dcc.ligo.org/LIGO-P2600152/public/>

Centre de Science Ouverte sur les Ondes Gravitationnelles — publication des données pour le GWTC-5.0 : <https://gwosc.org/GWTC-5.0/>



LIGO-G2302098 (no gitlab commit), updated on 20 May, 2026

Credit: LIGO-Virgo-KAGRA Collaboration

Figure 4 : GWTC-4.0 avait (plus que) doublé le nombre total de candidats signalés, passant de ~90 (GWTC-3.0) à plus de 200 (GWTC-4.0). Avec 390 événements au total à la fin d'O4b dans GWTC-5.0, nous avons à nouveau presque doublé la taille du catalogue. Les candidats à la détection restants issus de la troisième et dernière partie d'O4 (O4c) seront analysés et publiés dans une version ultérieure du catalogue.