

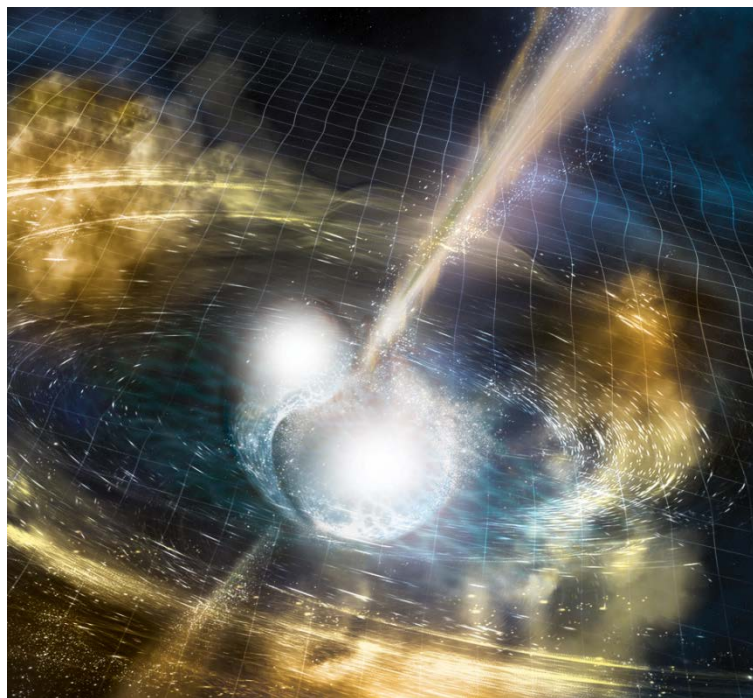


LIGO  
Scientific  
Collaboration



## Histoire de la fusion de deux étoiles à neutrons racontée par plusieurs messagers cosmiques

Le 17 août 2017, des astronomes de par le monde ont été avertis que des ondes gravitationnelles venaient d'être observées par les détecteurs Advanced LIGO et Advanced Virgo. Ce signal, baptisé depuis GW170817, a été immédiatement interprété comme provenant de la fusion de deux étoiles à neutrons. Moins de deux secondes après GW170817, le satellite Fermi de la NASA observait un sursaut gamma, nommé GRB 170817A. Quelques minutes plus tard, des télescopes du monde entier commençaient une large campagne d'observation. Le télescope Swope au Chili fût le premier à annoncer la détection d'une source optique brillante (SSS17a/AT2017gfo) dans la galaxie NGC 4993, détection confirmée indépendamment par plusieurs autres équipes dans les minutes et les heures qui suivirent. Les semaines suivantes, la position de cette source a été observée à de multiples reprises par un ensemble d'instruments couvrant l'intégralité du spectre électromagnétique. Ces observations offrent une vision complète de la source et de son évolution depuis les cent secondes qui précèdent l'instant de la fusion aux semaines suivantes, et en confirment l'interprétation première, à savoir qu'il s'agit bien de la fusion de deux étoiles à neutrons. GW170817 marque l'avènement de l'astronomie « multi-messagers » qui associe ondes gravitationnelles et électromagnétiques afin de mieux comprendre les phénomènes du cosmos.



*Impression d'artiste représentant deux étoiles à neutrons qui fusionnent. Les faisceaux étroits représentent le sursaut gamma, tandis que les oscillations dans la grille quadrillant l'espace-temps indiquent les ondes gravitationnelles. La spirale lumineuse représente l'éjection de matière qui a donné lieu au transitoire optique. Crédits: National Science Foundation/LIGO/Sonoma State University/A. Simonnet.*

### Introduction

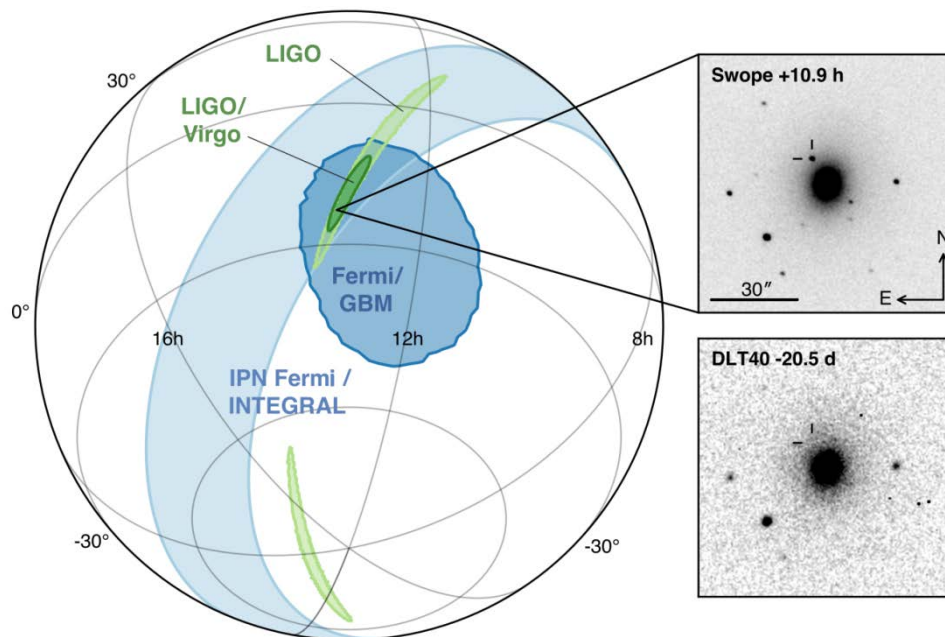
Le concept d'étoile à neutrons fût présenté pour la première fois en 1934, il y a près de quatre-vingts ans. Mais ce n'est seulement qu'en 1967, 33 ans plus tard, que leur existence fût démontrée, tout d'abord par l'observation de l'émission de rayons X de Scorpius X-1, et ensuite, la même année, avec la découverte du premier *pulsar* radio. Depuis, plusieurs systèmes binaires d'étoiles à neutrons ont aussi été découverts, dont la célèbre binaire de Hulse-Taylor qui comprend un pulsar. Les binaires d'étoiles à neutrons ont permis des tests approfondis de la théorie de la relativité générale, qui incluent la première preuve de l'existence des

ondes gravitationnelles. Dès lors, les binaires d'étoiles à neutrons ont été considérées comme une cible astrophysique de choix pour l'observation directe des ondes gravitationnelles.

Au milieu des années 60, les sursauts gamma étaient découverts par les satellites Vela, et leur origine cosmique établie plus tard. Déterminer l'origine des sursauts gamma a été, depuis, l'une des questions clé de l'astrophysique des hautes énergies. L'idée que les sursauts de courte durée puissent être reliés à la fusion de systèmes binaires d'étoiles à neutrons ou d'étoiles à neutron et trous noirs a été formulée précocement. De premiers éléments allant dans ce sens ont été obtenus grâce à une percée réalisée dans ce domaine en 2005 avec la première localisation précise d'un sursaut gamma de courte durée, son association à une galaxie hôte, l'observation en X, visible, infrarouge et radio d'une émission rémanente.

### Une découverte qui associe plusieurs messagers cosmiques

Le 17 août 2017, le satellite Fermi de la NASA émettait une alerte automatique suite à l'observation par l'instrument GBM (Gamma-ray Burst Monitor) du sursaut gamma GRB 170817A. Près de 6 minutes plus tard, l'analyse en ligne des données LIGO-Virgo trouvait dans les données du détecteur LIGO à Hanford, un signal, ensuite baptisé GW170817, antérieur à GRB 170817A d'un délai inférieur à 2 secondes. Ce signal a été interprété comme provenant de la fusion de deux étoiles à neutrons. Après inspection des données des trois détecteurs, une alerte a été lancée, annonçant la détection d'un signal gravitationnel clair associé à un sursaut gamma. L'alerte incluait une localisation préliminaire de la source montrée en Figure 1.



**Figure 1:** Localisation de la source à partir des observations gravitationnelles, gamma et optiques. LIGO seul en vert clair, LIGO-Virgo en vert foncé, Fermi GBM (bleu foncé) et par triangulation de Fermi et INTEGRAL en bleu clair. L'insert montre la position de la galaxie hôte NGC 4993 dans l'image prise par le télescope Swope 10,9 heures après la fusion (en haut, à droite) et une image prise par DLT40, 20,5 jours après la fusion (en bas, à droite).

Ceci est la première observation d'une source astrophysique par des ondes gravitationnelles et électromagnétiques. Des télescopes du monde entier ont ensuite scruté la région du ciel identifiée grâce aux données de LIGO et Virgo. Une profusion d'observations ont été réalisées, couvrant le spectre électromagnétique et neutrino comme indiqué dans la chronologie présentée en Figure 2.

Au moment de l'alerte émise pour GW170817, la direction de la source venait de passer sous l'horizon en Australie, tandis qu'elle était visible en Afrique du Sud et au Chili. Aux premières heures de la nuit chilienne,

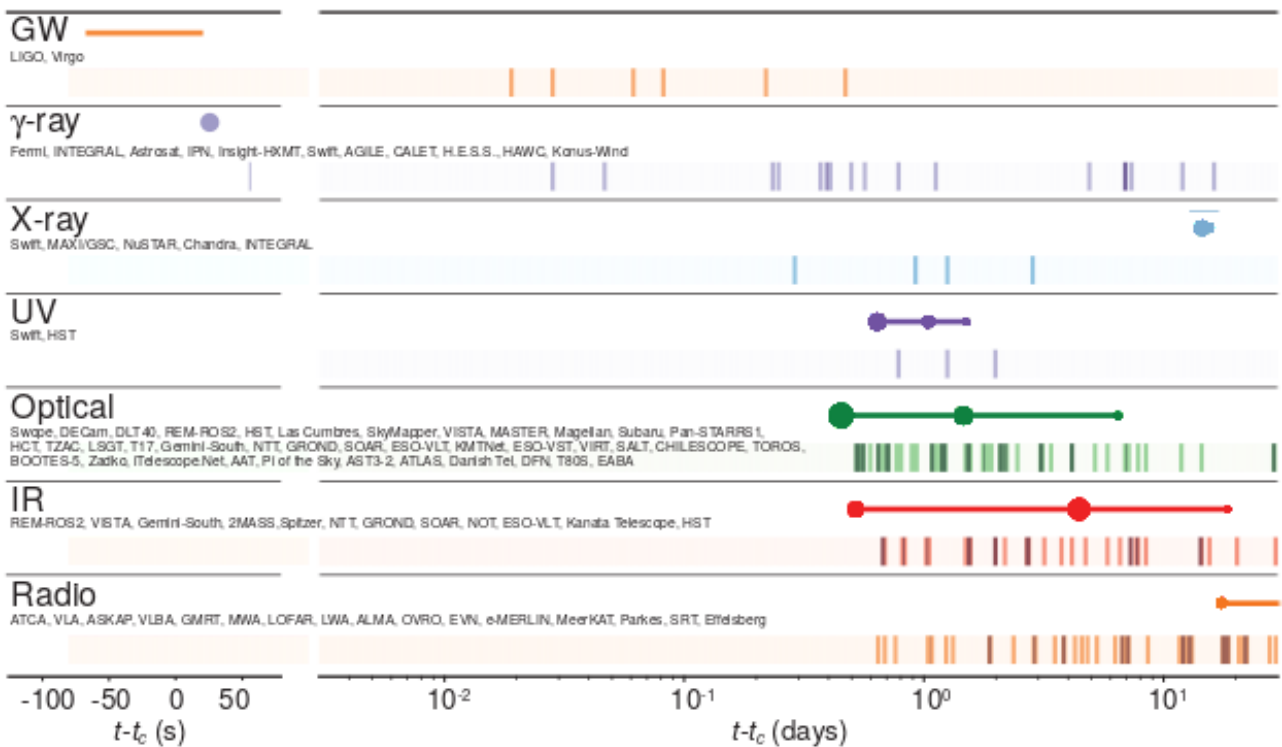


LIGO  
Scientific  
Collaboration



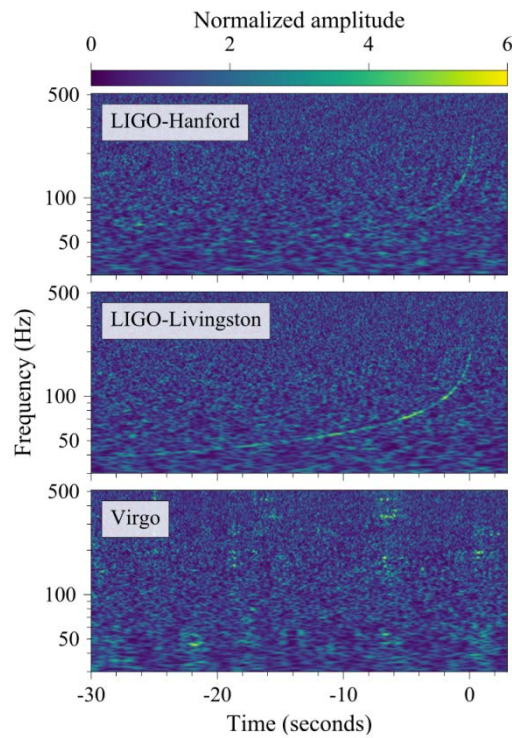
le télescope Swope a identifié un transitoire optique SSS17a dans la galaxie NGC 4993. Les deux semaines suivantes, un ensemble de télescopes sur Terre et dans l'espace ont suivi cette nouvelle source à toutes les longueurs d'onde. La forme et l'évolution de la distribution spectrale d'énergie sont cohérentes avec celles d'une « kilonova », validant ainsi ce modèle d'émission lumineuse alimentée par la désintégration d'éléments radioactifs éjectés lors de la fusion. Plus tard, des contreparties en rayons X et ondes radio ont été également détectées, donnant des indications supplémentaires sur l'orientation de la source et sur la géométrie et l'énergie de l'éjection. Aucun neutrino n'a été détecté.

**Figure 2:** Vue d'ensemble de la découverte de GW170817, GRB170817A, et SSS17a/AT2017gfo

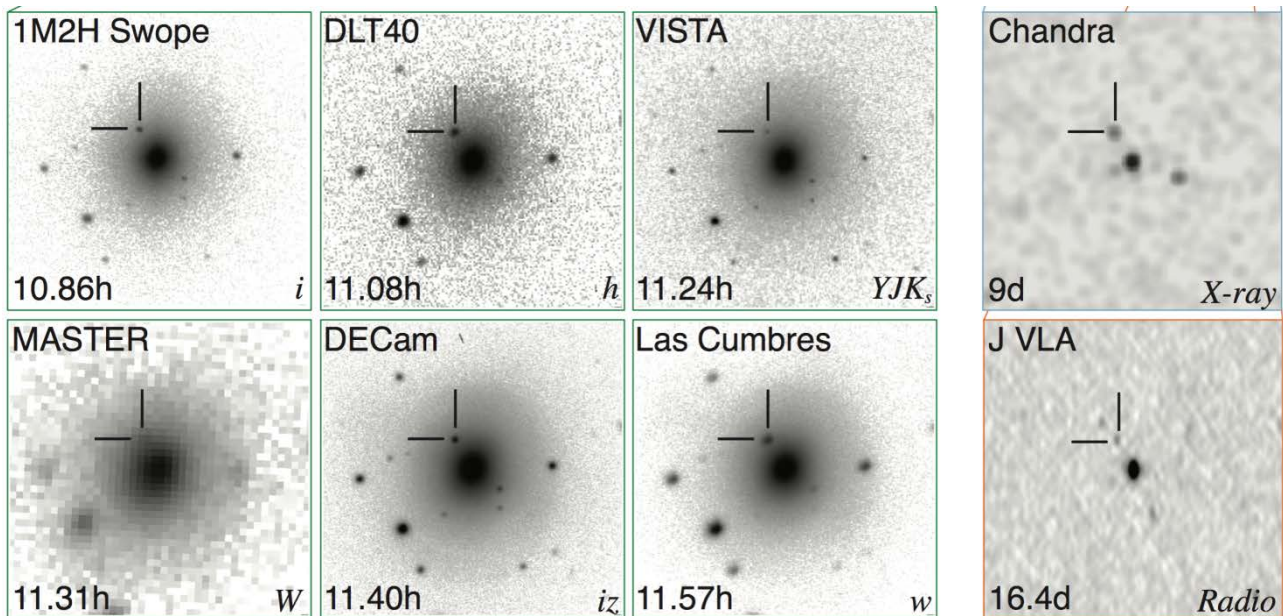


**Figure 2a:** Cette figure montre la chronologie de la découverte et du suivi multi longueurs d'onde. Deux types d'informations sont indiquées. Les tirets verticaux sont des jalons marquant les moments où des informations sont échangées via des Notices GCN. Le nom des groupes impliqués est indiqué en début de colonne. Les lignes correspondent aux moments où la source est visible et la taille des cercles indique sa luminosité.





**Figure 2b:** Spectrogrammes des signaux reçus par LIGO Hanford, Livingston et Virgo.



**Figure 2c:** Observations de SSS17a/AT2017gfo (indiqué par un réticule), centrées sur la galaxie NGC 4993. Gauche : six images dans le visible et proche infrarouge prises entre 10 et 12 heures après la fusion par différents télescopes. Droite : observation en rayons X prise 9 jours après la fusion par l'observatoire Chandra de la NASA, et observation radio prise 16 jours après la fusion par le Jansky Very Large Array (VLA) du NRAO.

## Conclusions

Pour la première fois, des ondes gravitationnelles et électromagnétiques provenant d'une même source astrophysique ont été observées. Les ondes gravitationnelles provenant de la fusion d'une binaire d'étoiles à neutrons sont observées pour la première fois. Les observations électromagnétiques confirment cette interprétation sur la nature de la binaire, et comprennent trois composantes à différentes longueurs d'ondes : (i) un sursaut gamma court, qui démontre que les fusions de binaires d'étoiles à neutrons sont à l'origine d'au moins une partie de ces sursauts, (ii) un transitoire (« kilonova ») allant de l'ultraviolet à l'infrarouge, conséquence de la fusion, qui a permis l'identification de la galaxie hôte, et (iii) des contreparties X et radio retardées, qui apportent des informations sur l'environnement de la binaire. Ces observations exceptionnelles offrent une description séquentielle complète des processus physiques en jeu lors de la fusion de deux étoiles à neutrons. Ces résultats démontrent l'importance des observations collaboratives en ondes gravitationnelles, électromagnétiques et neutrinos, et marquent le début de l'astronomie multi messagers.

## Glossaire

- **Trou noir** : Une région de l'espace-temps où la gravité est si intense qu'elle empêche tout, y compris la lumière de s'en échapper.
- **Rayons gamma** : Rayonnement électromagnétique de plus haute énergie.
- **Neutrino** : Particule élémentaire sans charge électrique.
- **Etoile à neutrons** : Astre très dense qui résulte de l'effondrement d'une étoile massive.

## Pour plus d'informations

- Voir [http://public.virgo-gw.eu/gw170817\\_fr](http://public.virgo-gw.eu/gw170817_fr)



Visiter nos sites internet :

<http://www.ligo.org>

<http://www.virgo-gw.eu>

