

# UN SIGNAL D'UN NOUVEAU TYPE

**L**e 17 août 2017, les interféromètres *Ligo* et *Virgo* détectaient un signal qui a été l'objet de nombreuses rumeurs. Deux mois plus tard, après l'analyse des données, la confirmation est tombée : les ondes gravitationnelles du 17 août ont été émises par la fusion de deux étoiles à neutrons, un événement noté GW170817. La différence majeure avec la coalescence de deux trous noirs est que dans ce cas, l'émission des ondes gravitationnelles s'accompagne d'une contrepartie électromagnétique, avec des émissions de lumière à différentes longueurs d'onde. Et c'est exactement ce qui a été vu par près de 70 télescopes et observatoires au sol et dans l'espace. Deux éléments suggéraient que cet événement était d'une autre nature que celle des précédentes ondes gravitationnelles observées. La forme du signal des ondes gravitationnelles pour commencer. En effet, lors de la fusion de deux trous noirs, ceux-ci tournent de plus en plus vite l'un autour de l'autre en se rapprochant jusqu'à entrer en collision, tout en faisant vibrer l'espace-temps sous la forme d'ondes



Vue d'artiste de deux étoiles à neutrons lors de la coalescence avec l'émission d'ondes gravitationnelles et sa contrepartie électromagnétique.

gravitationnelles. Mais les interféromètres ne perçoivent que la fin de ce ballet cosmique, un « chirp » bref d'une fraction de seconde. Pour GW170817, le signal a duré près de 100 secondes. Par ailleurs, la présence d'une contrepartie électromagnétique (un sursaut gamma détecté par l'observatoire spatial *Fermi*) plaide pour la coalescence de deux étoiles à neutrons ou d'une étoile à neutrons et d'un trou noir. L'analyse des signaux a tranché en faveur de la première hypothèse. L'étude de la contrepartie électromagnétique a fait l'objet de nombreuses découvertes sur ce qui se passe pendant la

coalescence, à commencer par le sursaut gamma. Les astrophysiciens pensaient que la coalescence de paires d'étoiles à neutrons en produisait, ils en ont désormais la preuve ! Mais une nouvelle question se pose. L'intensité du sursaut est plus faible que ce que les modèles prévoyaient. De nouveaux scénarios sont à l'étude pour expliquer cet écart. Un autre résultat important concerne la matière expulsée au moment de la fusion. Cette matière initialement très chaude se refroidit rapidement en émettant de la lumière dans les différentes longueurs d'onde. On parle de kilonova, un phénomène qui avait été

uniquement prédit par la théorie. Selon les modèles, ce type d'événement est le siège de réactions nucléaires de synthèse d'éléments plus lourds que le fer grâce à l'abondance de neutrons dont regorgent les deux étoiles. Or, de nombreux observatoires ont scruté le rayonnement de GW170817 pendant les heures, les jours voire les semaines après la fusion. L'observatoire *Gemini* américain, le VLT européen et le télescope *Hubble* ont observé dans l'infrarouge des indices de production de plomb, d'or et de platine. On aurait ainsi observé pour la première fois ce qui est probablement l'un des principaux processus de productions d'éléments lourds. Et ce n'est pas tout. Selon une méthode proposée en 1986 par Bernard Schutz, de l'université de Cardiff, en comparant la distance des étoiles à neutrons données par l'onde gravitationnelle au décalage vers le rouge de la contrepartie électromagnétique dû à l'expansion de l'Univers, il est possible de mesurer d'une nouvelle façon le paramètre de Hubble qui indique la vitesse d'expansion de l'Univers.

Sean Bailly

- déterminer, par triangulation, la position sur la voûte céleste de la source d'ondes gravitationnelles. Ce fut le cas dès la première détection en 2015. De fait, les données de *Virgo* et de *Ligo* sont distribuées et analysées en commun depuis 2007. Le principe est le même que celui de la détection de l'origine d'un son. L'écart temporel entre les perceptions de chacune de nos deux oreilles renseigne sur la provenance du signal.

## PARTAGER, C'EST CONFIRMER

Le partage des données a un second avantage : une onde gravitationnelle devrait être observée dans tous les détecteurs. C'est une bonne façon de confirmer le signal.

Déterminer la position de la source d'une onde gravitationnelle en temps réel permet de transmettre l'information aux télescopes et aux satellites qui observent le ciel dans divers domaines du spectre électromagnétique afin qu'ils pointent dans cette direction et essaient d'observer des phénomènes, par exemple l'émission de rayonnement gamma, en lien avec l'onde gravitationnelle détectée. Cette stratégie fut cruciale lors de la première observation d'une fusion d'étoiles à neutrons en août 2017 (voir l'encadré ci-dessus).

Après une série d'améliorations, les premiers détecteurs *Ligo* et *Virgo* ont changé de nom (pour *Advanced Ligo* et *Advanced Virgo*) et vu leur sensibilité croître au point de