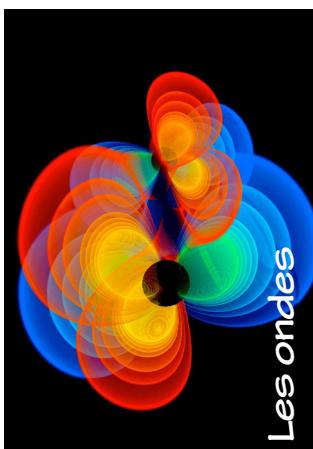


Laura Bernard et
Alexandre Le Tiec
Observatoire de Paris



Les ondes gravitationnelles



L'Univers dans ma poche



Le détecteur Virgo à Cascina, près de Pise (Italie).



Le détecteur LIGO à Livingston (Louisiane, Etats-Unis).

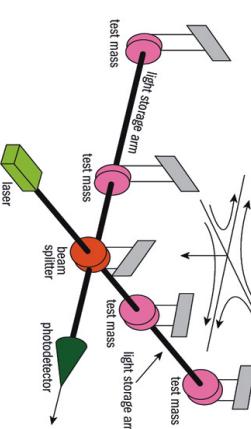


Schéma de fonctionnement d'un détecteur interférométrique d'ondes gravitationnelles.

8

- **LIGO** à Hanford, États-Unis;
- le détecteur **KAGRA** au Japon.

Signal de fusion de deux étoiles à neutrons : l'augmentation de la fréquence de l'onde gravitationnelle.

9

[Crédits: LIGO-Virgo, FERMAT 12]

Réponses aux do

s

do

s

do

Parmi ces astres, d'où des ondes gravitationnelles ?



Quiz

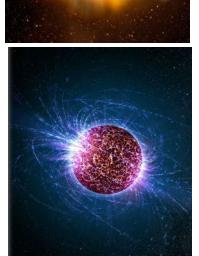


L'astronomie multi-messagers

En octobre 2017, une source de haute énergie a été détectée dans notre galaxie et ses deux courants d'ondes gravitationnelles ont été mesurés par deux instruments : **FERMI** et **LIGO**. Les deux observatoires ont détecté un événement simultanément, les ondes gravitationnelles étant arrivées dans la même direction que les photons. Elle a permis de nombreuses déductions, comme l'origine des propagations à grande échelle. Elle a permis de déterminer que les ondes gravitationnelles sont aussi les ondes gravitationnelles les plus puissantes qui existent. Elles peuvent être générées par des éruptions solaires, par exemple, ou par des éruptions de supernovae. Elles peuvent également être générées par des éruptions de galaxies, par exemple, ou par des éruptions de trous noirs.

Représenter l'interaction

entre deux étoiles à neutrons.

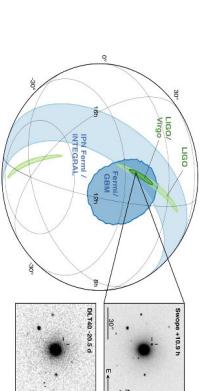


Crédit : [Crédit : ESO]
Vues d'artistes d'une étoile à neutrons et d'une étoile à neutrons.

Crédit : [Crédit : ESO]
Vues d'artistes d'une étoile à neutrons et d'une étoile à neutrons.

Les sources localisées

Le signal observé en rayon gamma par FERMI et la position de la source prédictée par LIGO-Virgo (en vert) [Crédits : LIGO-Virgo, FERMAT].



Lightcurve from Fermi/GBM (60 - 300 keV)

Crédit : [Crédit : FERMI]

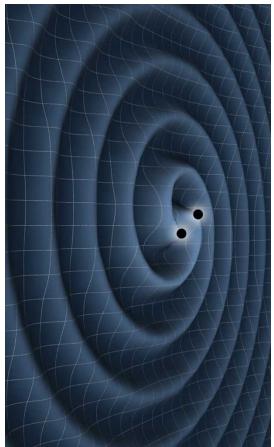
Les principales sources d'ondes gravitationnelles sont constituées d'astres massifs et compacts (voisins TUMP n°9), tels les trous noirs, les étoiles à neutrons et les naines blanches, isolées ou en couple. On distingue les sources localisées suivantes :

- **Systèmes binaires d'objets compacts** spirant et fusionnant (trous noirs et étoiles à neutrons), galactiques ou extra-galactiques ;
- **Couplages de naines blanches** au sein de la Voie Lactée ;

- **Étoiles à neutrons isolées**, légèrement asymétriques et en rotation, dans le proche voisinage galactique ;
- **Explosion d'étoiles massives** (supernovae) dans notre galaxie conduisant à la formation d'étoiles à neutrons ou de trous noirs.

Signal de fusion de deux étoiles à neutrons : l'augmentation de la fréquence de l'onde gravitationnelle.

5



[Crédit: NASA]

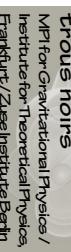
Vue d'artiste de deux trous noirs orbitant l'un autour de l'autre sous l'effet de leur attraction gravitationnelle mutuelle. Leur mouvement orbital génère des ondes gravitationnelles.

Les sources diffuses

orsque les ondes gravitationnelles énérées par un très grand nombre de sources localisées se superposent, on ne peut plus les distinguer les unes des autres. On a alors un **fond stochastique astrophysique**.

ar ailleurs, divers phénomènes physiques plus spéculatifs produits par le temps après le Big Bang (voir UIIMP n°12) peuvent générer un **fond stochastique cosmologique**. On

- distingue : les **cordes cosmiques**, résultant d'un changement d'état brutal du contenu énergétique et matériel de l'Univers primordial ; les **trous noirs primordiaux**, qui seraient formés sous l'effet de grandes fluctuations de densité d'énergie de l'Univers primitif ; l'**inflation**, une période de rapide expansion cosmique qui aurait eu lieu une fraction de seconde après le Big Bang.



La nébuleuse du Crabe, un reste de supernova.

Credit: HST

sources d'ondes gravitationnelles sauf la nébuleuse planétaire.

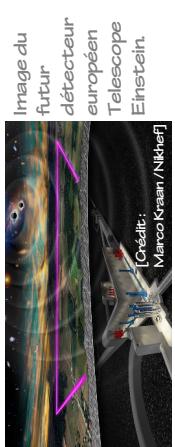
Vue d'artiste d'une étoile à neutrons.

Response

VUE D'ARTISTE
d'une supernova

La nébuleuse planétaire IC 418

卷之三



The diagram illustrates the LISA mission's orbital configuration. On the left, a smaller circular orbit shows two red satellites in a triangular formation relative to the Sun. A blue circle represents the Earth. An arrow indicates the direction of motion. Labels include "1 AU (150 million km)" and "60°". On the right, a larger elliptical orbit shows the Sun at one focus. Three red triangles represent the LISA satellites in a triangular formation, which they maintain as they orbit the Sun. The Sun is labeled "Sun".



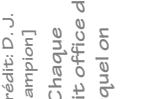
Pour en savoir plus sur cette collection et sur les thèmes présentés dans ce mini-livre tu peux visiter
<http://www.tulip.org>

Ce mini-livre a été écrit par Laura Bernarde et Alexandre Le Tiec de l'Observatoire de Paris (France).

Les détecteurs du futur

Dans la continuité des détecteurs existants, l'Union européenne envisage la construction du **Télescope Einstein**, un nouvel observatoire d'ondes gravitationnelles. Il aura une configuration triangulaire, une isolation sismique accrue parce qu'il sera placé sous Terre et une technologie de refroidissement cryogénique des miroirs.

Afin de s'affranchir de perturbations d'origine terrestre, comme par exemple le bruit sismique, l'Agence spatiale européenne développe **LISA**, un détecteur d'ondes gravitationnelles à peuplement. Il sera composé de trois sarcellites distants de plusieurs millions de kilomètres, permettant d'observer des sources particulièrement massives, complémentaires de celles vues depuis



Crédit: NASA]



Représentation de l'expansion de l'Univers depuis la période d'inflation jusqu'à nos jours.

LIGO. La première détection instrumentale d'une onde gravitationnelle eut lieu en 2015 grâce aux détecteurs LIGO. Cette onde gravitationnelle provenait de la coalescence de deux trous noirs d'une trentaine de masses solaires chacun.

Les ondes gravitationnelles sont de petites vibrations dans la **structure de l'espace-temps**, qui se propagent à la vitesse de la lumière. Ce sont des ondes transversales, ce qui signifie que le déplacement dans l'espace-temps est perpendiculaire à la direction de propagation. Elles ont été prédictes par la **relativité**.