



COMMUNIQUÉ DE PRESSE NATIONAL | PARIS | 1^{er} DECEMBRE 2015

Lancement de *LISA Pathfinder* : la chasse aux ondes gravitationnelles s'intensifie

Dans la nuit du 1^{er} au 2 décembre devrait être lancé *LISA Pathfinder*, un satellite de l'Agence spatiale européenne (ESA) auquel a contribué le laboratoire Astroparticule et cosmologie (CNRS/Université Paris Diderot/CEA/Observatoire de Paris). Il servira de démonstrateur pour l'ambitieuse mission *eLISA*¹, un ensemble de trois satellites pour traquer les ondes gravitationnelles. L'enjeu : détecter ces déformations de l'espace-temps qui, un siècle après leur prédiction par Albert Einstein, échappent encore aux instruments. Mais aussi développer un nouveau champ d'observations, l'astronomie gravitationnelle, afin d'étudier les objets astrophysiques à l'origine de ces ondes. Un défi auquel prennent part en outre Virgo et LIGO², deux instruments au sol dans lesquels sont grandement impliqués des laboratoires français.

En 1915, Albert Einstein dévoilait sa théorie de la relativité générale, qui prédit l'existence de déformations de l'espace-temps appelées ondes gravitationnelles. 100 ans plus tard, elles n'ont toujours pas été observées directement. La mission de démonstration *LISA Pathfinder* s'envole cette nuit³ pour tester les technologies nécessaires à leur détection et à leur mesure depuis l'espace. Le satellite arrivera dans trois mois sur une orbite stable entre la Terre et le Soleil, au point de Lagrange L1, à 1,5 million de kilomètres de nous : il deviendra alors, pendant six mois, le premier laboratoire gravitationnel dans l'espace.

Les ondes gravitationnelles sont produites par les phénomènes les plus violents de l'Univers, comme les explosions d'étoiles (supernovae), la fusion de deux trous noirs ou celle de deux étoiles à neutrons. Elles se manifestent comme de minuscules rides qui se propagent sur le tissu de l'espace-temps et traversent l'Univers presque sans perturbation, contrairement aux ondes lumineuses. Au cours de leur trajet, elles déforment les objets rencontrés, mais d'une manière si infime qu'elles n'ont encore jamais été détectées directement⁴. En effet, une onde gravitationnelle modifierait la distance Terre-Soleil (près de 150 millions de kilomètres) d'un dixième de milliardième de millimètre. Le projet de mission européenne *eLISA*, une flottille de trois satellites placés à plusieurs millions de kilomètres l'un de l'autre, devrait pouvoir détecter de telles variations. Des faisceaux laser entre les satellites mesureront cette distance en permanence, et détecteront la moindre perturbation, signe du passage d'une onde gravitationnelle.

¹ Evolved Laser Interferometer Space Antenna, une future mission spatiale L3 du programme « Cosmic vision » de l'ESA, avec la participation de l'agence spatiale américaine (NASA).

² Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory.

³ Si tout se passe bien, le 2 décembre à 5h15, heure de Paris.

⁴ Dans les années 1970, Russell Hulse et Joseph Taylor ont découvert un système de deux étoiles à neutrons, ce qui leur vaudra le prix Nobel de physique en 1993. La fréquence de rotation de ce système augmente, signe d'une perte d'énergie. L'observation coïncide exactement avec les calculs d'une perte d'énergie par rayonnement gravitationnel – démonstration indirecte de l'existence des ondes gravitationnelles.



Mais avant cela, il faudra s'assurer que les détecteurs peuvent être correctement isolés des perturbations extérieures, et que le système de mesure est suffisamment sensible : c'est le rôle de *LISA Pathfinder*. Le satellite abrite deux petits cubes faits d'or et de platine, qui « flottent » dans des cavités distantes de 38 cm. Un système ultra-précis de micro-propulsion contrera le vent solaire, afin de maintenir les deux cubes sur une orbite constante. Par ailleurs, le système mesurant par laser la distance entre ces deux cubes devrait être assez sensible pour détecter des variations de l'ordre de 10 à 100 picomètres⁵, telles que celles qui pourront être mesurées par *eLISA* au passage d'une onde gravitationnelle.

eLISA ne sera pas lancée avant la décennie 2030. Mais sur Terre, d'autres outils sont déjà à l'œuvre dans la chasse aux ondes gravitationnelles. Installé près de Pise, l'instrument franco-italien Virgo (pilote par le CNRS et l'*Istituto Nazionale di Fisica Nucleare*) est constitué de deux tubes perpendiculaires de 3 km chacun. A l'intérieur de chaque tube circule, sous vide, un faisceau laser extrêmement précis, réfléchi plusieurs fois par un miroir situé à son extrémité. Au point de jonction des tubes, les faisceaux laser interfèrent et s'annulent mutuellement. Sauf si, au passage d'une onde gravitationnelle, le trajet de l'un des deux faisceaux a été étiré : la recombinaison n'est alors plus parfaite, et un signal lumineux est détecté... ce qui ne s'est jamais produit jusqu'à maintenant. Opérationnel depuis 2007, Virgo fait actuellement l'objet d'une mise à niveau (augmentation de la puissance des lasers, faisceaux plus gros, miroirs plus lourds, instrumentation mieux isolée des perturbations ambiantes) et devrait redémarrer à l'automne 2016 avec une sensibilité multipliée par dix, ce qui lui permettra d'observer un volume d'Univers 1000 fois plus grand⁶.

LIGO comprend deux installations (dans l'Etat de Washington et en Louisiane) similaires à celle de Virgo, si ce n'est que leurs bras sont un peu plus longs (4 km). Ils ont repris du service en septembre dernier sous le nom d'Advanced LIGO, après des travaux d'amélioration. Les données de LIGO et celles de Virgo sont partagées par les deux communautés, et leur traitement est effectué en commun. En plus des efforts conjoints dans l'analyse des données, les équipes françaises⁷ ont fortement collaboré lors de la construction et pour la mise en service des antennes, et le Laboratoire des matériaux avancés du CNRS a été un acteur majeur de la fabrication des miroirs pour ces trois installations, en assurant le dépôt des couches réfléchissantes.

La première détection d'une onde gravitationnelle sera une découverte capitale en physique – c'est l'une des dernières grandes prédictions de la relativité générale qui restent à prouver. Elle permettra par ailleurs de tester d'autres prédictions de la relativité générale, en particulier concernant la physique des trous noirs où les effets gravitationnels sont intenses. Mais au-delà, les détecteurs spatiaux et au sol ouvriront, de manière complémentaire, le champ de l'astronomie gravitationnelle. Mesurer ces ondes permettra en effet de mieux comprendre les objets qui les émettent, et les ondes gravitationnelles deviendront un nouveau messager du cosmos, aux côtés des ondes électromagnétiques (ondes lumineuses, radio et micro-ondes, rayons gamma et X) et des astroparticules (rayons cosmiques, neutrinos). Or, alors que les instruments au

⁵ 1 pm (picomètre) vaut 10^{-12} m, soit un milliardième de millimètre.

⁶ Ainsi, Virgo pourra détecter des fusions de couples d'étoiles à neutrons jusqu'à 1 milliard d'années-lumière, et la coalescence de trous noirs jusqu'à 6 milliards d'années-lumière.

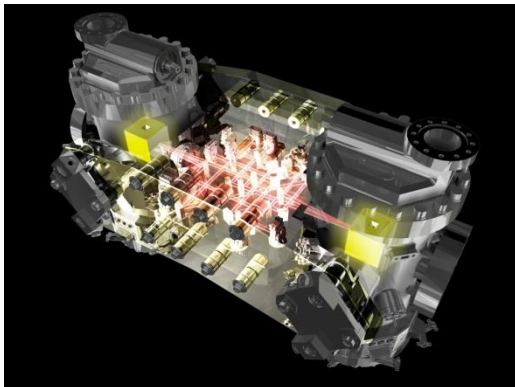
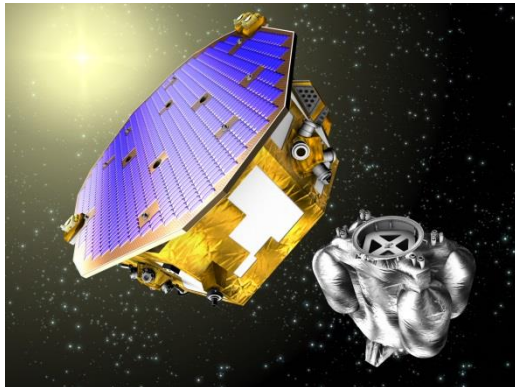
⁷ Les laboratoires français impliqués dans Virgo et LIGO sont le Laboratoire d'Annecy le Vieux de physique des particules (CNRS/Université Savoie Mont Blanc), le Laboratoire Astroparticule et cosmologie (CNRS/Université Paris Diderot/CEA/Observatoire de Paris), le Laboratoire de l'accélérateur linéaire (CNRS/Université Paris Sud), le Laboratoire des matériaux avancés (CNRS), le Laboratoire Astrophysique relativiste, théories, expériences, métrologie, instrumentation, signaux (CNRS/Université Nice Sophia Antipolis/Observatoire de la Côte d'Azur) et le Laboratoire Kastler Brossel (CNRS/UPMC/ENS/Collège de France).



www.cnrs.fr



sol ne sont sensibles qu'à des objets relativement petits (des paires d'étoiles à neutrons ou de trous noirs qui tournent vite l'un autour de l'autre), *eLISA* sera capable de détecter les objets les plus gros, comme les trous noirs supermassifs au cœur des galaxies. Les ondes gravitationnelles qu'ils émettent, de basse fréquence, se noient en effet dans le bruit de fond sur Terre, alors que les détecteurs d'*eLISA*, distants de plusieurs millions de kilomètres, seront bien adaptés pour les déceler. A plus long terme, c'est la dynamique de l'Univers aux très grandes échelles spatiales et temporelles qui devrait pouvoir être étudiée grâce aux ondes gravitationnelles.

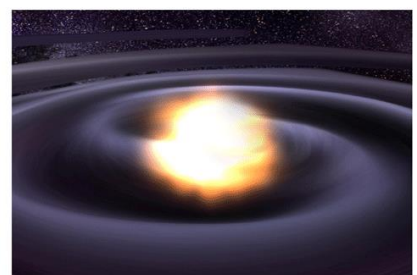
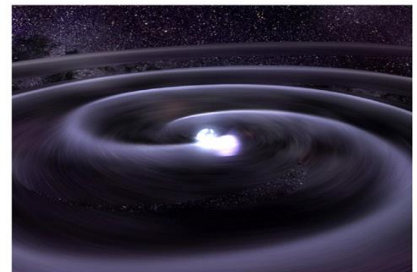
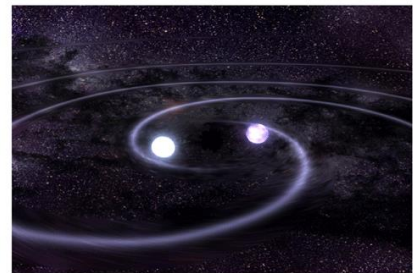


En haut : LISA Pathfinder et son module de propulsion, juste après leur séparation (vue d'artiste).

En bas : cubes d'or et de platine flottant à l'intérieur du satellite, entourés du banc optique permettant la mesure de leur position.

© ESA

D'autres visuels (photos, vidéos) de *LISA Pathfinder* sont disponibles [sur le site de l'ESA](http://www.esa.int).



Quand deux étoiles à neutrons (ou deux trous noirs) tournent l'une autour de l'autre de manière rapprochée, elles subissent une forte accélération, source d'ondes gravitationnelles. Cette émission d'ondes gravitationnelles correspond à une perte d'énergie, qui rapproche les deux étoiles ; elles finissent ainsi par fusionner (vue d'artiste).

© NASA/Dana Berry, Sky Works Digital



www.cnrs.fr



Vue aérienne du détecteur d'ondes gravitationnelles Virgo (près de Pise, en Italie).

© EGO-VIRGO/IN2P3/CNRS Photothèque

Pour en savoir plus

- sur *LISA Pathfinder* et *eLISA* : [pages du laboratoire APC](#).
- sur les ondes gravitationnelles et la relativité générale : lire [CNRS le Journal, automne 2015](#) p. 32-38.

Contacts

Chercheurs CNRS | Eric Plagnol (*LISA Pathfinder*) | T 01 57 27 93 52 | plagnol@apc.univ-paris7.fr

Benoît Mours (*Virgo, LIGO*) | T 04 50 09 55 21 | benoit.mours@lapp.in2p3.fr

Chercheur | Pierre Binetruy (*eLISA*) | T 01 57 27 60 43 | binetruy@apc.univ-paris7.fr

Presse CNRS | Véronique Etienne | T 01 44 96 51 37 | veronique.etienne@cnrs-dir.fr