



www.cnrs.fr

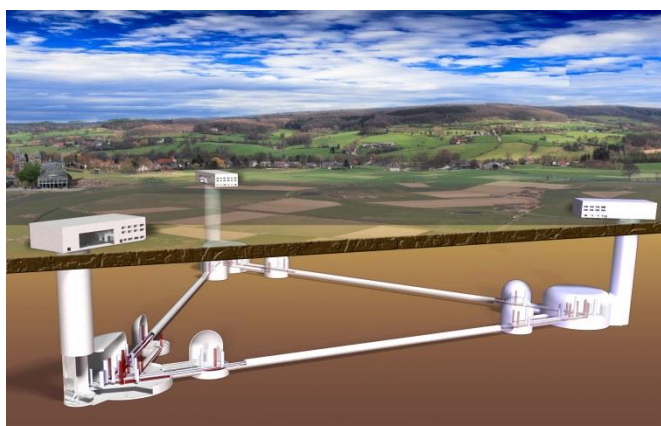
Les autres projets sur les ondes gravitationnelles au CNRS

Le télescope « Einstein » : vers un instrument de troisième génération

L'idée d'un détecteur de troisième génération a commencé à être discutée par des scientifiques européens des projets GEO et Virgo à la fin des années 2000. L'objectif recherché est de faire un saut quantitatif et qualitatif dans nos capacités d'observation des sources d'ondes gravitationnelles, en atteignant une sensibilité qui permette d'observer un volume d'Univers au moins mille fois plus grand que ce qui pourra être fait avec Advanced Virgo. Un tel instrument devrait ainsi observer quotidiennement des dizaines de sources, dont certaines se trouvant aux confins de l'Univers.

La première étude du concept de ce détecteur, baptisé Einstein Telescope (ET), a été conduite grâce à l'aide du septième programme cadre de recherche et développement de l'Union Européenne. Elle a abouti à la publication en 2011 du document décrivant des solutions envisageables pour un tel instrument.

Les limitations actuelles ou ultimes d'Advanced Virgo (et Advanced LIGO) plaident pour la réalisation d'une nouvelle infrastructure, plus grande (au moins 10 km de long) afin d'augmenter l'effet des ondes gravitationnelles sur l'instrument. Une installation souterraine pour limiter certaines perturbations dues au mouvement du sol, la mise en œuvre de plusieurs interféromètres pour couvrir au mieux les différents types de signaux astrophysiques attendus, sont des éléments clés étudiés pour ET. Le détecteur ferait naturellement appel à de nouvelles technologies. Il s'agit par exemple d'utiliser une nouvelle longueur d'onde pour le laser, d'adopter de nouveaux matériaux pour réaliser les miroirs, qui seraient refroidis à basse température. Ces défis technologiques sont actuellement explorés par différentes équipes des projets LIGO et Virgo en vue de préparer un programme de détecteurs de troisième génération, qui pourrait être lancé en Europe et aux Etats-Unis dans les années 2020, pour un début d'exploitation dans les années 2030.



Vue d'artiste de ce que pourrait être ET. La distance entre les trois éléments d'ET, situés aux trois coins, serait d'une dizaine de kilomètres.



eLISA (Evolved Laser Interferometer Space Antenna)

eLISA est une future mission spatiale L3 du programme « Cosmic vision » de l'ESA, avec la participation de l'agence spatiale américaine (NASA). Prévues pour la décennie 2030, elle est composée d'une flottille de trois satellites placés à plusieurs millions de kilomètres l'un de l'autre, dont l'objectif est de participer au nouveau champ d'observations qu'est l'astronomie gravitationnelle. Des faisceaux laser mesureront en permanence la distance entre les satellites, formant un gigantesque interféromètre dans l'espace. Celui-ci sera complémentaire des détecteurs au sol. En effet, *eLISA* sera capable de détecter des objets plus gros, comme les trous noirs supermassifs au cœur des galaxies, qui émettent des ondes gravitationnelles de basse fréquence, noyées dans le bruit de fond sur Terre. En revanche, en raison de sa taille, il ne sera pas sensible aux objets plus « petits » observés par Virgo et LIGO (paires d'étoiles à neutrons ou de trous noirs en coalescence).

La mission de démonstration *LISA Pathfinder* (ESA) s'est envolée le 3 décembre 2015 pour tester les technologies nécessaires à la réalisation de la mission *eLISA* : s'assurer que les détecteurs peuvent être correctement isolés des perturbations extérieures, et que le système de mesure est suffisamment sensible

En savoir plus : http://www.apc.univ-paris7.fr/APC_CS/experiences/lisa

European pulsar timing array (EPTA)

Les astrophysiciens disposent d'un moyen complémentaire pour rechercher les ondes gravitationnelles : l'étude des signaux provenant d'un ensemble de pulsars millisecondes (*pulsar timing array*) voisins de la Terre.

Les pulsars sont des étoiles à neutrons, vestiges d'étoiles massives tournant très rapidement sur elles-mêmes (quelques millièmes de seconde ici). Ils émettent des rayonnements (notamment des ondes radio), repérés par les télescopes de manière périodique quand ils passent dans le champ de vue de l'instrument, à la faveur de la rotation de l'étoile.

Les ondes gravitationnelles de très grande longueur d'onde (et donc de très petite fréquence) passant à proximité de la Terre vont modifier le temps d'arrivée du signal des pulsars. Ces ondes gravitationnelles de très grande longueur d'onde sont produites par la fusion de deux trous noirs supermassifs situés au centre de deux galaxies en fusion (qui orbitent l'une autour de l'autre avec des périodes de l'ordre de plusieurs mois ou années), ou par les perturbations de l'univers primordial.

Du fait de leur très faible fréquence (de l'ordre du nanohertz), elles ne peuvent pas être « vues » par les autres instruments (Advanced Virgo et LIGO, sensibles à des fréquences autour de 10-100 Hz, ou LISA, qui sera sensible à des fréquences de l'ordre du millihertz).

Il existe trois réseaux de par le monde regroupés dans l'*International Pulsar Timing Array*, dont un en Europe (*European Pulsar Timing Array*) qui utilise notamment les données de la Station de radioastronomie de Nançay (CNRS/Observatoire de Paris/Université d'Orléans).

En savoir plus : <http://www.epta.eu.org/>



www.cnrs.fr

Les recherches théoriques sur les sources d'ondes gravitationnelles

En France, des chercheurs en physique théorique – en particulier l'équipe de « relativité numérique » du Laboratoire Univers et théories (LUTH, CNRS/Observatoire de Paris/Université Paris Diderot) et le groupe « gravitation et cosmologie » de l'Institut d'astrophysique de Paris (IAP, CNRS/UPMC) – étudient les principales sources astrophysiques d'ondes gravitationnelles. Les chercheurs du LUTH et de l'IAP s'efforcent notamment de prédire aussi précisément que possible les signaux émis par ces sources ; les résultats qu'ils obtiennent servent ensuite à affiner les algorithmes de recherche d'ondes gravitationnelles utilisés dans les détecteurs comme Virgo et LIGO. Ces avancées théoriques permettront de tester la gravitation et aussi de mieux comprendre certains états très denses de la matière nucléaire, comme ceux rencontrés dans les étoiles à neutrons.

Les chercheurs du LUTH utilisent des codes numériques qu'ils ont développés pour résoudre à l'aide de puissants ordinateurs les équations d'Einstein qui sont au cœur de la relativité générale. Ils ont notamment étudié l'émission d'ondes gravitationnelles par des étoiles à neutrons magnétisées (pulsars) ou encore lors d'effondrements gravitationnels d'étoiles massives (phénomène de supernova). Actuellement, ils s'intéressent aux systèmes binaires constitués d'étoiles à neutrons ou de trous noirs, un sujet également étudié à l'IAP. Dans ce laboratoire, les physiciens travaillent également sur la fusion de couples de trous noirs, testent des théories de la gravitation alternatives à la relativité générale et étudient la structure interne des étoiles à neutrons.