

VIRGO

Les deux premières détections directes d'un signal d'ondes gravitationnelles marquent le début d'une nouvelle astronomie apte à sonder l'Univers en détectant les vibrations de l'espace-temps avec la nouvelle génération de détecteurs ultra sensibles comme LIGO, Virgo et KAGRA.



Vue aérienne de Virgo

Les deux bras orthogonaux de l'appareil, longs chacun de trois kilomètres, s'étendent dans la plaine de l'Arno, à Cascina, près de Pise.

Le 14 septembre 2015, les deux détecteurs LIGO (*Laser Interferometer Gravitational wave Observatory*, observatoire d'ondes gravitationnelles par interférométrie laser) observent simultanément un signal gravitationnel. Celui-ci concorde avec la forme d'onde prédite par la théorie de la relativité générale dans le cas de la coalescence de deux trous noirs. C'est la première détection directe des ondes

gravitationnelles et la première observation de la coalescence d'un système binaire de trous noirs.

Dans la théorie de la relativité générale d'Einstein, l'espace et le temps sont associés en une seule entité dynamique et déformable : l'espace-temps. La matière courbe l'espace-temps, donnant ainsi naissance à la gravitation, tandis que les corps massifs et les rayons lumineux se déplacent en suivant la courbure de l'espace-temps. De plus, les masses en mouvement accéléré créent des vibrations de l'espace-temps, les *ondes gravitationnelles*, qui s'y propagent à la manière de vagues à la surface de l'eau. L'espace-temps étant très rigide, il faut de grandes quantités d'énergie pour le déformer. Il existe toutefois dans l'Univers certains systèmes, par exemple des couples d'astres compacts (étoiles à neutrons ou trous noirs) orbitant l'un autour de l'autre, capables de rayonner des ondes gravitationnelles détectables sur Terre.

Le passage d'une onde gravitationnelle modifie les distances (au sens du temps de trajet de la lumière). Cet effet est très ténu : les ondes gravitationnelles rayonnées par la

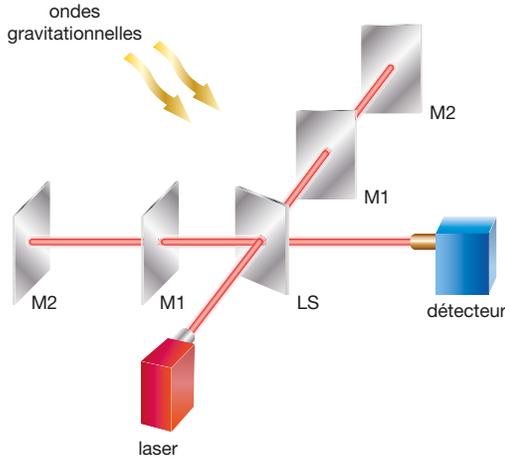


Schéma simplifié du détecteur Virgo

En éclairant une lame séparatrice LS semi-réfléchissante avec un laser, on forme deux faisceaux dirigés vers les deux bras de l'interféromètre où chacun subit une série de réflexions multiples entre deux miroirs M1 (semi-réfléchissant) et M2 (ultra-réfléchissant). Le passage d'ondes gravitationnelles provoque une infime variation de la taille des deux bras, suffisante pour modifier les longueurs des chemins que parcourent les deux faisceaux qui sont ensuite recombinaés avant d'être collectés par un détecteur. Le flux lumineux résultant des interférences entre les deux faisceaux produit un signal dont l'évolution temporelle traduit la variation de la taille des bras.

coalescence du couple de trous noirs détectée par LIGO ont fait varier la longueur des bras des interféromètres (4 km) d'environ un attomètre (10^{-18} m, un millième du rayon du proton). Détecter de telles ondes est donc un véritable défi technologique : pas étonnant que près d'un siècle se soit écoulé depuis la prédiction des ondes gravitationnelles par Albert Einstein en 1916 !

Ce résultat ayant démontré le potentiel de l'interférométrie laser pour mettre en évidence le passage d'ondes gravitationnelles, les physiciens fondent les plus grands espoirs sur la version améliorée de Virgo, l'instrument construit près de Pise en Italie par une collaboration de laboratoires européens. Comme son partenaire LIGO, Virgo permet de mesurer la différence de longueur entre ses deux bras orthogonaux grâce à la comparaison (par interférométrie) du temps de parcours de deux faisceaux laser parcourant les bras. La précision nécessaire est obtenue en isolant tous les composants sensibles de l'expérience de leur environnement (les perturbations sismiques en particulier) et en prenant grand soin de la qualité du laser et des composants optiques, comme les miroirs qui sont parfaitement polis.

Avec la mise en service d'une nouvelle génération d'interféromètres ultra sensibles, comme les versions améliorées de LIGO (septembre 2015) et de Virgo (fin 2016), ou KAGRA (*Kamioka Gravitational Wave Detector*, détecteur d'ondes gravitationnelles de Kamioka) au Japon (en 2018), c'est l'avènement d'une nouvelle astronomie : l'astronomie gravitationnelle.