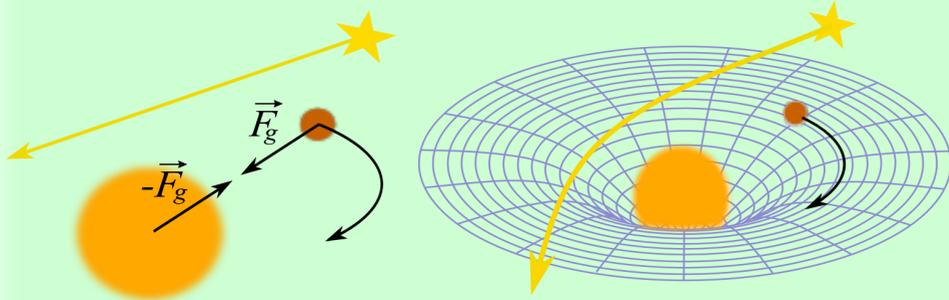
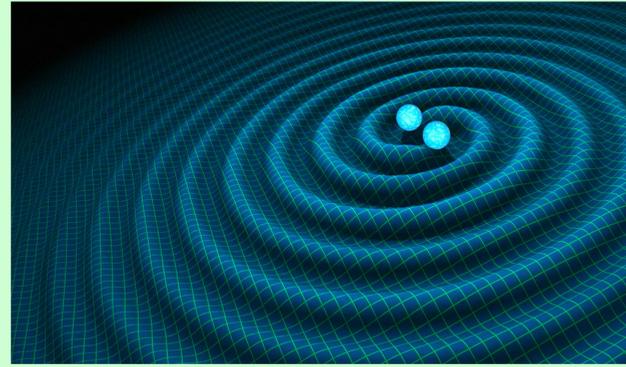


Les ondes gravitationnelles



En 1915, Einstein a remplacé la vision newtonienne de la gravitation en termes de forces par un modèle d'espace-temps "souple", qui se déforme en présence de masse/énergie: c'est la relativité générale.

Une prévision remarquable de cette théorie est que, lorsque deux masses orbitent l'une autour de l'autre, le tissu de l'espace temps se déforme et cette déformation se propage comme les ondes à la surface d'un lac dans lequel on lance un caillou.

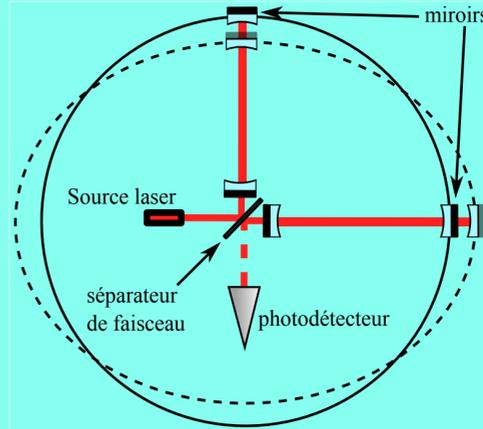


R. Hurt, Caltech-JPL.

À cause de l'intensité très faible de la gravitation (environ 40 ordres de grandeur plus petite que l'interaction électrique), ces ondes sont incroyablement minuscules: pour les plus intenses un objet de la taille de la Terre ($L \sim 10000$ km) serait déformé d'une quantité plus petite que la taille d'un atome ($\Delta L \sim 0,001$ nm). Einstein lui-même ne croyait pas qu'on puisse un jour observer ces ondes, et pendant tout le siècle passé les technologies pour pouvoir les observer étaient inimaginables.



L'interféromètre Virgo/EGO, Cascina, Pisa (IT).



Dans un interféromètre, un faisceau laser est partagé en deux faisceaux qui sont réfléchis sur des miroirs à des distances égales pour se recombier. Si la distance parcourue est changée par le passage d'une onde gravitationnelle, alors un déphasage est détecté entre les deux faisceaux.



Caltech/MIT/LIGO Laboratory.

La première onde détectée (le 14 septembre 2015), provenait d'une collision de deux trous noirs de 29 et 36 masses solaires, tournant à une vitesse relativiste (on n'avait jamais eu la preuve de l'existence de trous noirs de telles masses). On a observé d'abord le signal des dernières périodes de la phase de rotation du système (a), ensuite le pic de la collision (b), puis la phase de stabilisation (c), pendant laquelle le trou noir final

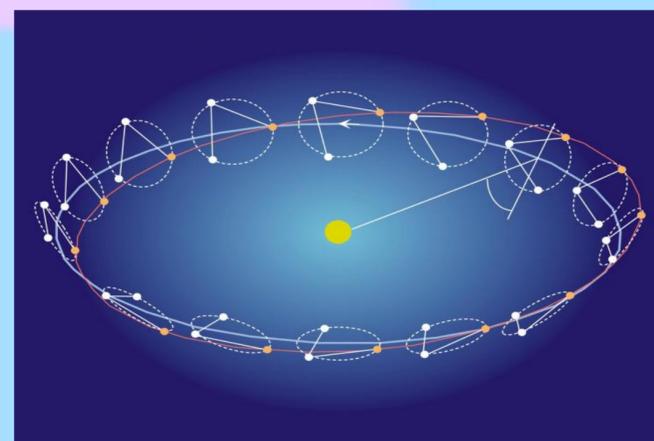
a irradié une grande quantité d'ondes gravitationnelles pour retrouver sa symétrie. Le trou noir final était de 62 masses solaires, donc 3 masses solaires ont été irradiées sous la forme d'ondes gravitationnelles: le pic de puissance de cette collision a été plus intense que la luminosité de tout l'univers observable!

Depuis 2015, d'autres ondes provenant de collisions de trous noirs et d'étoiles à neutrons ont été observées. Ces observations ont été une confirmation spectaculaire de la relativité générale et constituent une vraie révolution pour la science moderne. En effet, à cause de l'interaction presque inexistante avec la matière rencontrée sur leur chemin, les ondes gravitationnelles nous parviennent en apportant une information intacte sur leurs sources: les collisions d'astres compacts, les explosions de supernovae, ou l'univers primordial. C'est pourquoi elles permettent des avancées prodigieuses dans notre compréhension des phénomènes extrêmes de l'univers, là où l'infiniment grand et l'infiniment petit se rencontrent.

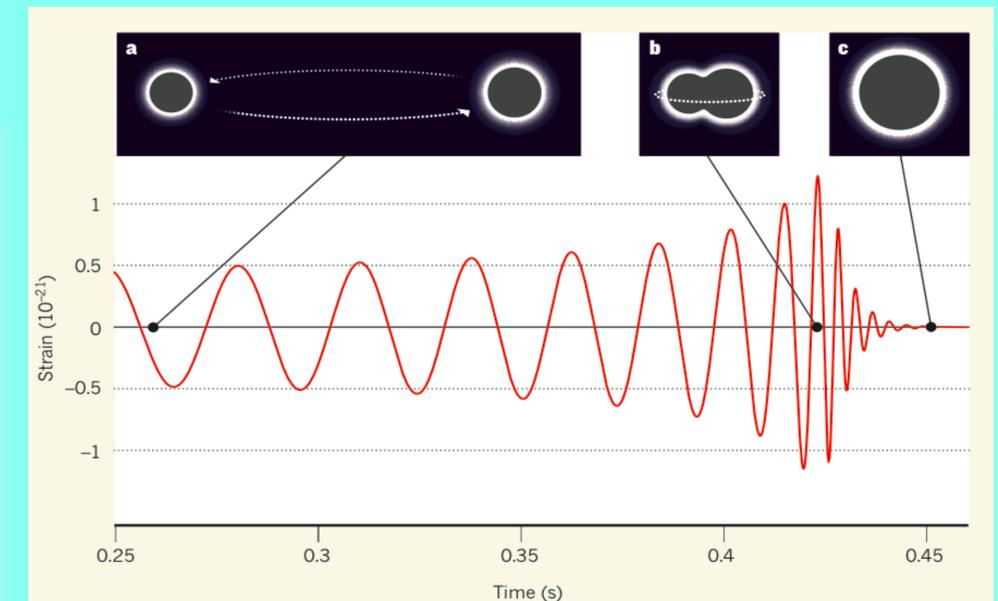
La détection simultanée par plus de 2 interféromètres terrestres et/ou d'une contrepartie lumineuse nous permet de déterminer avec précision la direction de provenance d'une onde. Par ailleurs, le lancement d'un interféromètre spatial en orbite héliocentrique est prévu pour les années 2040: eLISA nous permettra d'observer les collisions entre trous noirs supermassifs des noyaux galactiques.



Collision de galaxies NCG2207/ESO (2009).



Orbite de eLISA/NASA.



Nature (2015).