



HAL
open science

La première observation d'ondes gravitationnelles

Pierre Moutounet Cartan

► **To cite this version:**

Pierre Moutounet Cartan. La première observation d'ondes gravitationnelles : une vulgarisation pour bien comprendre l'actualité. 2016. hal-01276868

HAL Id: hal-01276868

<https://hal.science/hal-01276868>

Submitted on 20 Feb 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - ShareAlike 4.0 International License

La première observation d'ondes gravitationnelles

Pierre MOUTOUNET-CARTAN

Lycée Français de Barcelone – pierremoutounet@icloud.com

(15 février 2016)

(Article basé sur [PRL 116, 061102 \(2016\)](#) publié dans les *Physical Review Letters* du 11 février 2016.)

Dès 1915, Albert Einstein avait prédit l'existence des ondes gravitationnelles et même leur comportement (vitesse, « forme d'onde ») grâce à sa théorie de la relativité générale qu'il publie en 1916. Selon lui, les ondes gravitationnelles sont les vectrices de la force gravitationnelle et se propagent à la vitesse de la lumière dans le « tissu » de l'espace-temps en le déformant.

Incapable de démontrer cette hypothèse par l'expérience, la communauté scientifique l'a longtemps ignorée. Cependant, le 14 septembre 2015 à 09 heures 50 minutes et 45 secondes (UTC), les scientifiques du nouvel instrument *Advanced LIGO* basé aux États-Unis ont déclaré avoir observé pour la première fois une déformation très brève de l'espace-temps, qui serait due au passage des ondes gravitationnelles résultantes de la fusion de deux trous noirs[1] super-massifs (*cf.* figure 1).

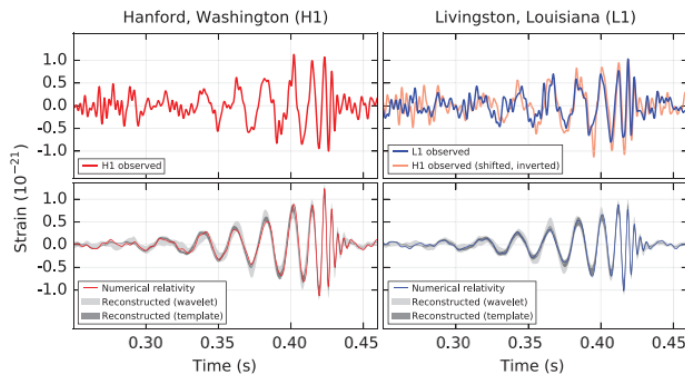


FIG. 1. À gauche : les résultats obtenus à l'interféromètre d'Hanford dans l'état de Washington. À droite : les résultats obtenus à l'interféromètre de Livingston en Louisiane. Première ligne : signal obtenu de la déformation de l'espace des bras des interféromètres. Deuxième ligne : nous pouvons observer que les signaux reçus sont très similaires aux prévisions théoriques faites à partir de la relativité générale.

Ce signal, nommé GW150914, a été détecté de manière presque instantanée (environ 10ms d'écart) et simultanément dans deux détecteurs semblables situés à deux endroits différents : l'un dans l'état de Washington (H1) et l'autre en Louisiane (L1), excluant toute erreur respective à un seul détecteur (*cf.* figure 2). Cette observation, permet non seulement de vérifier la théorie de la relativité générale d'Albert Einstein, mais aussi d'ouvrir de nouvelles portes à l'astronomie. Nous pouvons désormais, entre autres, observer (ou plutôt

écouter !) l'Univers d'une toute nouvelle manière.



FIG. 2. Photographie des deux interféromètres de l'*Advanced LIGO* situés à Livingston (à gauche) et à Hanford (à droite).

Mais comment les scientifiques ont-ils fait pour découvrir sur Terre des ondes gravitationnelles ? Ils utilisent en fait un « interféromètre Michelson amélioré ». Il s'agit d'un instrument composé de deux bras faisant chacun 4 kilomètres de long et sont disposés à leurs extrémités des miroirs. Nous faisons ensuite passer dans ces bras des lasers (qui réfléchissent sur les miroirs). Lorsque des ondes gravitationnelles se propagent sur Terre, elle étend ou distord l'espace-temps et donc les bras s'allongent ou se contractent (sur des distances infimes). De ce fait, les miroirs sont plus éloignés ou proches les uns des autres et la lumière prend plus ou moins de temps qu'à la normale pour effectuer le parcours entre deux miroirs (distance des bras, *cf.* figure 3).

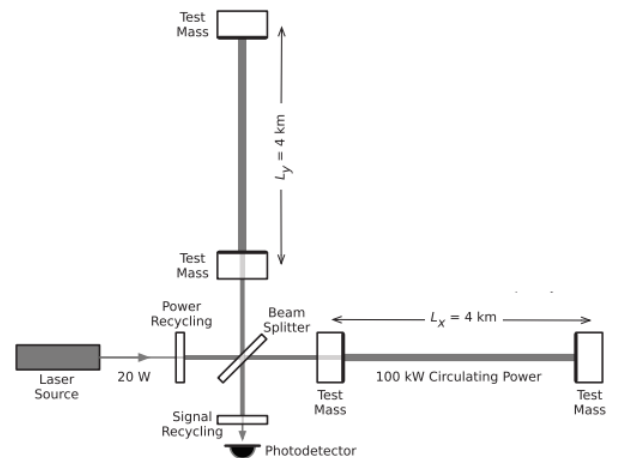


FIG. 3. Schéma n'étant pas à l'échelle des constituants d'un interféromètre Michelson, ici aux propriétés des interféromètres de l'*Advanced LIGO*.

Autre preuve de la véracité de l'observation provient du phénomène de la fusion des deux trous noirs en lui-même. Ces deux trous noirs qui se sont mutuellement « avalés » pesant respectivement 36 et 29 fois la masse du Soleil ont formé un seul trou noir pesant 62 masses Solaires. Les trois restantes se sont probablement transformées en énergie par le biais des ondes gravitationnelles (environ $2 \cdot 10^{43}$ J émis, une énergie supérieure à celle produite par une supernova).

La fiabilité de cette observation a été féroce ment discutée, cependant il s'avère qu'une erreur de l'interféromètre ne peut se produire qu'une fois tous les 203 000 ans (les interféromètres *Advanced LIGO* ont été opérationnels début 2015). Selon d'autres scientifiques GW150914 serait en fait l'observation de rayons solaires cosmiques (éruptions solaires), néanmoins cette hypothèse a vite été réfutée car le signal obtenu est en très bonne corrélation avec les prédictions d'Einstein (*cf.* figure 1) et ne ressemble pas aux signaux déjà observés de ces éruptions solaires. Enfin, ces interféromètres ne prennent en compte que les ondes ayant une fréquence particulière, différentes de celles des rayons cosmiques.

L'observation de GW150914 semble bien être la première détection d'ondes gravitationnelles de tous les temps mais aussi la première observation directe de deux trous noirs en fusion.

La communauté scientifique se réjouit de cette découverte. Elle apporte beaucoup de perspectives pour la physique et la recherche. De nombreux interféromètres ayant la même puissance d'observation que ceux d'*Advanced LIGO* sont en construction, comme VIRGO qui va bientôt être opérationnel (fruit de la coopération franco-italienne et de la collaboration CNRS-INFN) ou encore KAGRA au Japon.



FIG. 4. Carte du futur réseau mondial d'interféromètres.

BIBLIOGRAPHIE

- B. P. ABBOTT ET AL., *Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger*, Physical Review Letters 116, 061102 (2016), DOI: 10.1103/PhysRevLett.116.061102, 11 février 2016.
- M. ROSSETTI ET AL., *Abell 2142 at large scales: An extreme case for sloshing?*, Astronomy & Astrophysics manuscript, arXiv:1305.2420v2, juin 2013.
- D. LAROUSSE, *Les ondes gravitationnelles détectées un siècle après avoir été prédites*, Le Monde Science et techno, 11 février 2016.

GLOSSAIRE

1. Le terme « trou noir » a été inventé par le physicien américain John Wheeler en 1967, pour décrire une concentration de masse-énergie si compacte que même les photons ne peuvent se soustraire à sa force gravitationnelle.
2. Unité de mesure de distance, de symbole *Mpc* (mégaparsec), équivalente à un million de parsecs.
 $1 \text{ Mpc} = 3,086 \cdot 10^{19} \text{ km} \approx 3,3 \cdot 10^6 \text{ al.}$
3. En astronomie, le décalage vers le rouge (ou en anglais *redshift*) est une augmentation de la longueur d'onde de la lumière causée par le mouvement de la source lumineuse qui s'éloigne de l'observateur du fait de l'expansion de l'Univers.