

Ondes gravitationnelles et coalescence de trous noirs

5 avril 2016 à 14h00

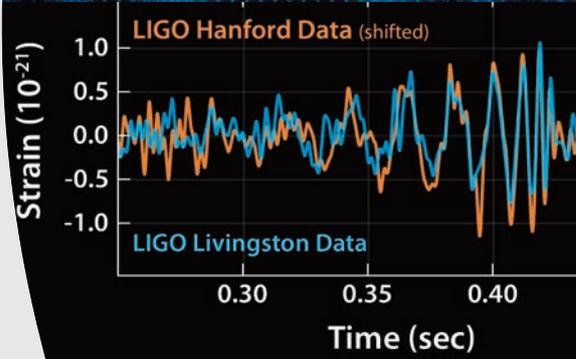
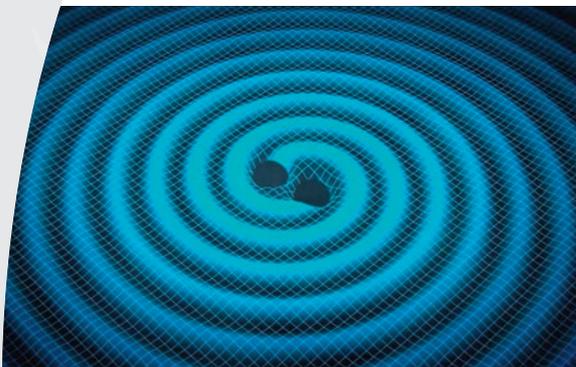
Grande salle des séances de
l'Institut de France

23, quai de Conti, 75006 Paris

Un siècle après leur prédiction par Einstein, des ondes gravitationnelles en provenance de l'Univers lointain viennent d'être détectées sur Terre, apportant la première preuve directe de l'existence des trous noirs.

Les ondes gravitationnelles sont des déformations infimes de la métrique de l'espace-temps qui se propagent à la vitesse de la lumière. La détection a été effectuée en coïncidence sur les deux grands interféromètres de Michelson situés aux États-Unis, appartenant au réseau international LIGO/Virgo. Ce réseau de détecteurs est exploité par une collaboration mondiale incluant six équipes françaises. La dépendance temporelle des signaux observés porte la signature de leur source : la coalescence de deux trous noirs ayant chacun une masse de l'ordre de 30 masses solaires et situés à environ 1.3 milliards d'années-lumière de la Terre.

L'Académie des sciences organise une conférence-débat pour présenter en détail et discuter cette découverte expérimentale spectaculaire pour laquelle les physiciens ont dû relever de nombreux défis : d'une part au niveau technologique afin d'obtenir l'extrême sensibilité des détecteurs, et d'autre part pour le traitement des données qui a nécessité l'utilisation de techniques avancées d'analyse du signal. Les aspects théoriques dans le cadre de la relativité générale seront abordés et enfin les conséquences astrophysiques de ces observations seront discutées.



LIGO Livingston,
États-Unis



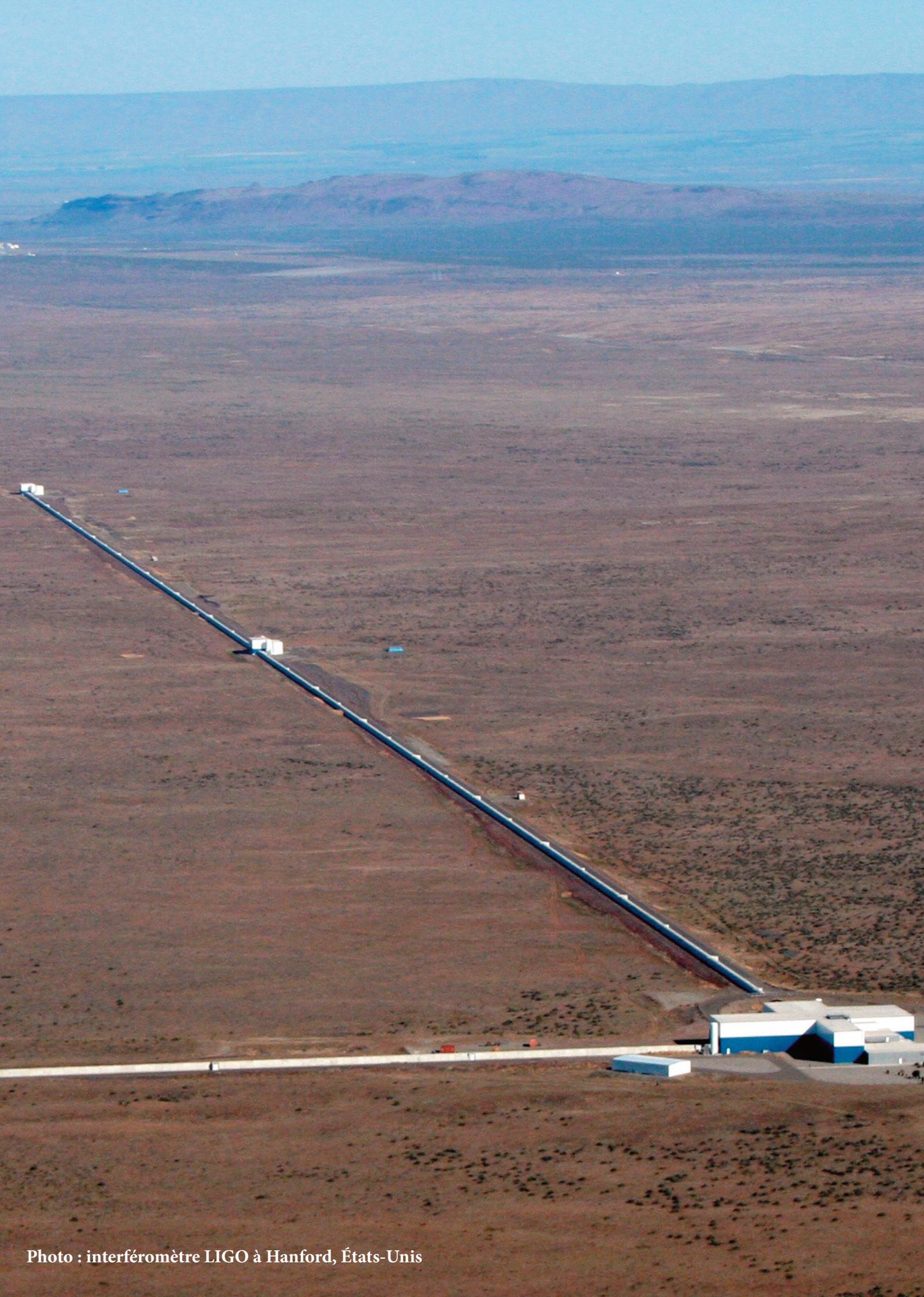


Photo : interféromètre LIGO à Hanford, États-Unis

P rogramme

- 14:00** Accueil
- 14:05** Rencontres avec Einstein
Yvonne CHOQUET-BRUHAT, Académie des sciences, Institut des hautes études scientifiques, Bures-sur-Yvette
- 14:20** La première détection directe des ondes gravitationnelles
Fabien CAVALIER, Laboratoire de l'accélérateur linéaire, Orsay
- 15:05** Théorie du mouvement et du rayonnement gravitationnel de deux trous noirs
Thibault DAMOUR, Académie des sciences, Institut des hautes études scientifiques, Bures-sur-Yvette
- 15:50** LIGO/Virgo : Aux limites de l'interférométrie optique
Jean-Yves VINET, Observatoire de la Côte d'Azur, Nice
- 16:35** **Pause**
- 17:00** Méthodes d'analyse de données pour les ondes gravitationnelles
Eric CHASSANDE-MOTTIN, Laboratoire astroparticule et cosmologie, Paris
- 17:45** *The origin and evolution of LIGO's first gravitational-wave source*
Origine et évolution de la première source d'ondes gravitationnelles de LIGO
Chris BELCZYNSKI, Observatoire astronomique de Varsovie, Varsovie
- 18:30** Discussion générale
- 19:00** Cocktail

Les organisateurs du colloque



Thibault DAMOUR

Thibault Damour est un physicien théoricien, professeur permanent à l'Institut des hautes études scientifiques (depuis 1989) et membre de l'Académie des sciences (depuis 1999). Ses principaux travaux portent sur la physique des trous noirs, le mouvement de deux trous noirs ou de deux étoiles à neutrons, les pulsars binaires, les ondes gravitationnelles et la cosmologie en théorie des cordes. Il a reçu notamment le Grand prix Mergier-Bourdeix de l'Académie des sciences (1990), et la médaille Einstein de l'*Albert-Einstein-Gesellschaft* de Berne (1996) ■



Michel DAVIER

Michel Davier est un physicien des particules, professeur émérite à l'université Paris-Sud et membre de l'Académie des sciences (depuis 1996). Il a effectué sa carrière universitaire à Stanford et Orsay et a mené des recherches auprès des grands accélérateurs internationaux à Stanford, Hambourg et au CERN. Il a été directeur du Laboratoire de l'accélérateur linéaire (LAL, CNRS-université Paris-Sud) d'Orsay de 1985 à 1993. Il a dirigé le groupe Virgo du LAL qui a pris en charge une partie importante de la construction de l'interféromètre Virgo et il a participé avec les collaborations LIGO-Virgo à la détection des ondes gravitationnelles émises lors de la coalescence d'un système binaire de trous noirs. Il a reçu plusieurs prix en France et le prix franco-allemand Gentner-Kastler ■



Sébastien BALIBAR

Sébastien Balibar est directeur de recherche émérite au CNRS, membre du laboratoire Pierre Aigrain à l'École Normale Supérieure (Paris) et de l'Académie des sciences (depuis 2011). Ses recherches sur les changements d'état de la matière (évaporation quantique, cavitation, surfaces cristallines, propriétés mécaniques des solides quantiques, etc.) ont été couronnées par plusieurs prix en France et à l'étranger dont le *London Memorial Award* en 2005 ■

Résumés et biographies

Yvonne CHOQUET-BRUHAT

Académie des sciences, Institut des hautes études scientifiques,
Bures-sur-Yvette

Première femme élue à l'Académie des sciences en 1979, Yvonne Choquet-Bruhat est professeur émérite à l'université Pierre et Marie Curie. Elle a apporté nombre de contributions majeures et durables aux aspects mathématiques et physiques de la relativité générale en commençant par son travail fondateur de 1952 montrant que le problème de Cauchy pour les équations d'Einstein est bien posé et que ces équations admettent des solutions exhibant des phénomènes de propagation par ondes.



Rencontres avec Einstein

J'évoquerai rapidement quelques souvenirs de propos échangés avec Albert Einstein dans son bureau à l'*Institute for Advanced Study* (Princeton), en 1951 et 1952 ■

Fabien CAVALIER

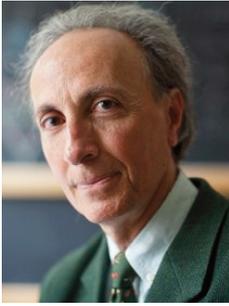
Laboratoire de l'accélérateur linéaire, Orsay

Fabien Cavalier est directeur de recherches au Laboratoire de l'accélérateur linéaire (CNRS/université Paris-Sud) à Orsay. Dans Virgo, son travail s'articule autour de deux thèmes : le contrôle des cavités optiques (contrôle global de Virgo et plateforme CALVA au LAL) et l'analyse des données (caractérisation du détecteur et recherche de signaux courts non modélisés). Il est actuellement membre du comité de détection LIGO/Virgo. Outre ces activités scientifiques, il est, depuis février 2011, le directeur-adjoint du LAL. Au sein de l'université Paris-Saclay, il coordonne le département physique des 2 infinis (P2I) et il est co-directeur de l'école doctorale PHENIICS dont le périmètre scientifique recouvre celui de P2I.



La première détection directe des ondes gravitationnelles

Après plusieurs années d'améliorations majeures, les deux détecteurs *Advanced LIGO* sont entrés en opération en septembre 2015. Cette première prise de données s'est poursuivie jusqu'en janvier 2016 avec une sensibilité bien supérieure à celle de la précédente génération d'interféromètres dédiés aux ondes gravitationnelles. En utilisant les 38 premiers jours de données, la *LIGO Scientific Collaboration* et la collaboration Virgo ont pu annoncer la découverte de GW150914, coalescence d'un système de deux trous noirs. Cette découverte majeure annoncée le 11 février sera présentée en détail. Ensuite, les perspectives sur les prises de données futures seront abordées alors que le laboratoire *Advanced Virgo* s'apprête à rejoindre le réseau mondial de détecteurs interférométriques dans l'année qui vient ■



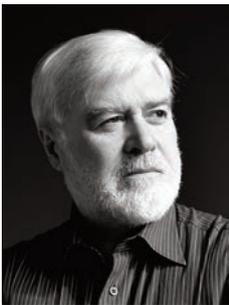
Thibault DAMOUR

Académie des sciences, Institut des hautes études scientifiques, Bures-sur-Yvette

Thibault Damour est un physicien théoricien, professeur permanent à l'Institut des hautes études scientifiques (depuis 1989) et membre de l'Académie des sciences (depuis 1999). Ses principaux travaux portent sur la physique des trous noirs, le mouvement de deux trous noirs ou de deux étoiles à neutrons, les pulsars binaires, les ondes gravitationnelles et la cosmologie en théorie des cordes. Il a reçu notamment le Grand prix Mergier-Bourdeix de l'Académie des sciences (1990), et la médaille Einstein de l'*Albert-Einstein-Gesellschaft* de Berne (1996).

Théorie du mouvement et du rayonnement gravitationnel de deux trous noirs

Je passerai en revue les travaux théoriques (analytiques et numériques) sur le mouvement et le rayonnement gravitationnel d'un système de deux trous noirs. Ces travaux ont conduit à prédire en détail, à partir des équations d'Einstein, la forme d'ondes émises par le mouvement spiralé, puis la coalescence de deux trous noirs ainsi que l'état du trou noir final résultant de cette coalescence ■



Jean-Yves VINET

Observatoire de la Côte d'Azur, Nice

Jean-Yves VINET est directeur de recherches émérite à l'Observatoire de la Côte d'Azur. Après un doctorat de physique théorique à l'UPMC/Institut Henri Poincaré, il entre au CNRS au Laboratoire d'optique appliquée (École polytechnique), puis au Laboratoire de l'accélérateur linéaire (Orsay), au département d'astrophysique relativiste et cosmologie (Observatoire de Paris-Meudon), enfin dans le groupe ARTEMIS (Nice, Observatoire de la Côte d'Azur). Il a été membre du *LISA International Science Team* jusqu'en 2011 et porte-parole de la Collaboration Virgo de 2011 à 2014. Jean-Yves Vinet a joué un rôle important dans l'élaboration des grands détecteurs interférométriques, en particulier par la simulation de leurs éléments optiques dont les caractéristiques inhabituelles conditionnent la sensibilité finale.

LIGO/Virgo : Aux limites de l'interférométrie optique

La première détection directe d'un signal gravitationnel est due aux développements technologiques initiés il y a plus de quarante ans et poursuivis sans relâche depuis. Je décrirai les différents défis relevés, les travaux de modélisation, les techniques innovantes découvertes et les performances actuelles. J'évoquerai un possible futur des interféromètres terrestres et, brièvement, un projet spatial : LISA ■

Éric CHASSANDE-MOTTIN

Laboratoire astroparticule et cosmologie, Paris

Eric Chassande-Mottin est chargé de recherche au CNRS au Laboratoire astroparticule et cosmologie où il est responsable du groupe « Gravitation ».

Depuis 2014, il est co-responsable du groupe de la collaboration Virgo-LIGO en charge des recherches de sources d'ondes gravitationnelles transitoires. Il a été également co-responsable du comité de rédaction de l'article faisant l'annonce de la première détection directe des ondes gravitationnelles.



Méthodes d'analyse de données pour les ondes gravitationnelles

Le signal gravitationnel GW150914 a été détecté par deux analyses indépendantes et complémentaires qui reposent sur des approches et des *a priori* différents. L'une recherche spécifiquement la signature de la fusion de deux trous noirs prédite par la théorie de la relativité générale et l'autre recherche, sans *a priori* de forme, un signal transitoire apparaissant en phase dans les observations des deux détecteurs en opération au moment de l'événement. Cette présentation retracera la genèse de ces méthodes de recherche en insistant sur les verrous scientifiques levés afin de séparer le signal du fond instrumental non-stationnaire ■

Chris BELCZYNSKI

Observatoire astronomique de Varsovie, Varsovie

Chris Belczynski est astrophysicien, professeur associé à l'observatoire astronomique de l'université de Varsovie (Pologne). Il a fait des contributions importantes à l'étude de l'évolution des systèmes binaires d'étoiles, à la formation de binaires de trous noirs, et à la statistique des sources d'ondes gravitationnelles. Il a reçu plusieurs bourses de recherches prestigieuses aux États-Unis (dont l'*Oppenheimer fellowship* au *Los Alamos National Laboratory*) ainsi que plusieurs prix en Pologne (dont l'*Annual Prize for Outstanding Young Astronomer* de l'Académie des sciences de Pologne). Il a été membre de la *LIGO Scientific Collaboration* (2002-2007) et de la *VIRGO Scientific Collaboration* (2012-2016).



The origin and evolution of LIGO's first gravitational-wave source

The Laser Interferometric Gravitational-wave Observatory (LIGO) has detected gravitational waves from the merger of two 30 solar mass black holes. Our earlier prediction (2010) that binary black holes would constitute the first detection was therefore borne out. We have generated and analyzed a suite of models, each with 640 million simulations of black hole formation and mergers under a range of environmental conditions and physical processes.

I will present and discuss the astrophysical implications of this detection ■

Origine et évolution de la première source d'ondes gravitationnelles de LIGO

Les deux interféromètres LIGO (*Laser Interferometric Gravitational-wave Observatory*) ont détecté les ondes gravitationnelles issues de la fusion de deux trous noirs ayant 30 fois la masse du soleil, confirmant ainsi notre prédiction de 2010 que la première détection concernerait une binaire de trous noirs. Nous avons produit et analysé un ensemble de modèles (chacun comprenant 640 millions de simulations de formation et de fusion de trous noirs), explorant une large gamme d'environnements et de processus physiques.

Je présenterai et commenterai les implications astrophysiques de cette première détection ■

350 ans

Académie des sciences

