

EGO-Virgo

Une infrastructure pour observer les ondes gravitationnelles

- Les ondes gravitationnelles et les instruments nécessaires
- L'infrastructure EGO-Virgo
- Le réseau international et les résultats récents

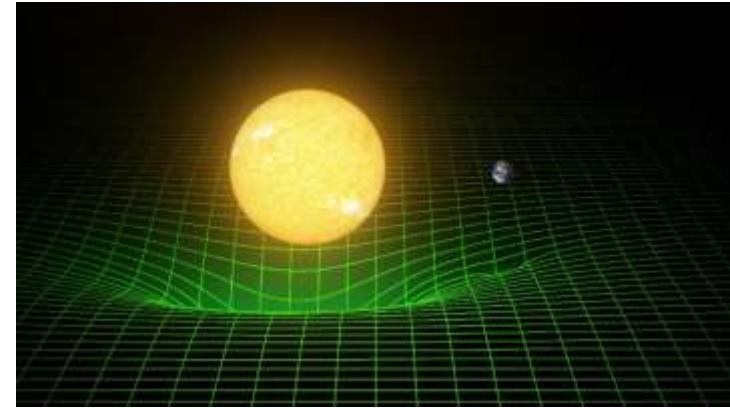
Benoit Mours (LAPP – IN2P3 – CNRS)
24 mars 2016, MENESR Paris



Les Ondes Gravitationnelles c'est quoi ?

▶ Théorie de la relativité générale :

- La masse courbe l'espace
- Attraction gravitationnelle : manifestation de la courbure de l'espace
- Cas extrême : le trou noir



▶ Fluctuations du champ gravitationnel → Ondes gravitationnelles

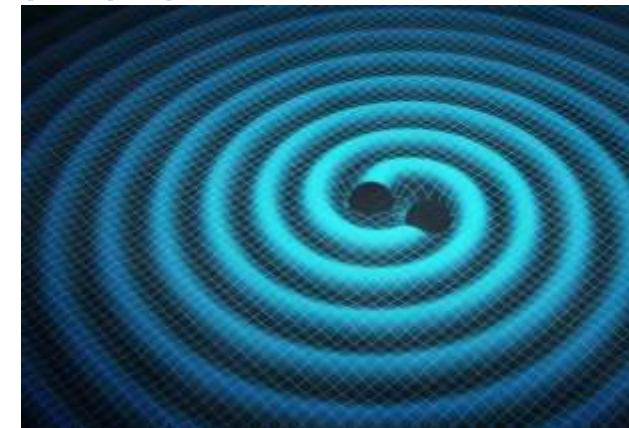
- O.G. : fluctuation de la courbure de l'espace-temps se propageant

▶ Génération d'O.G.:

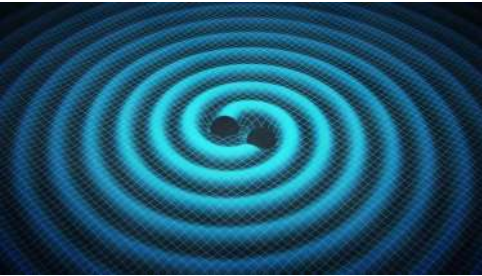
- Corps accélérés
- Besoin de masses et accélérations importantes
 - ▶ Deux astres orbitant l'un autour de l'autre

▶ Effet très faible → besoin d'un grand instrument

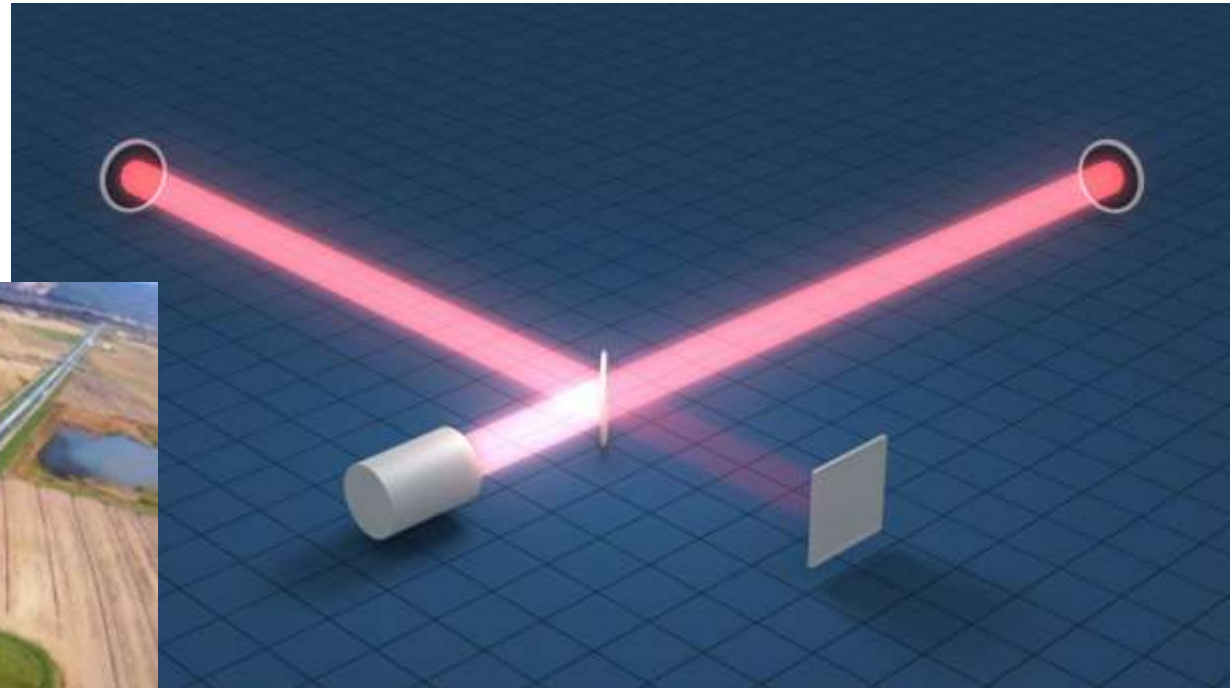
▶ Pas observées directement jusqu'à récemment



Détecter les ondes gravitationnelles

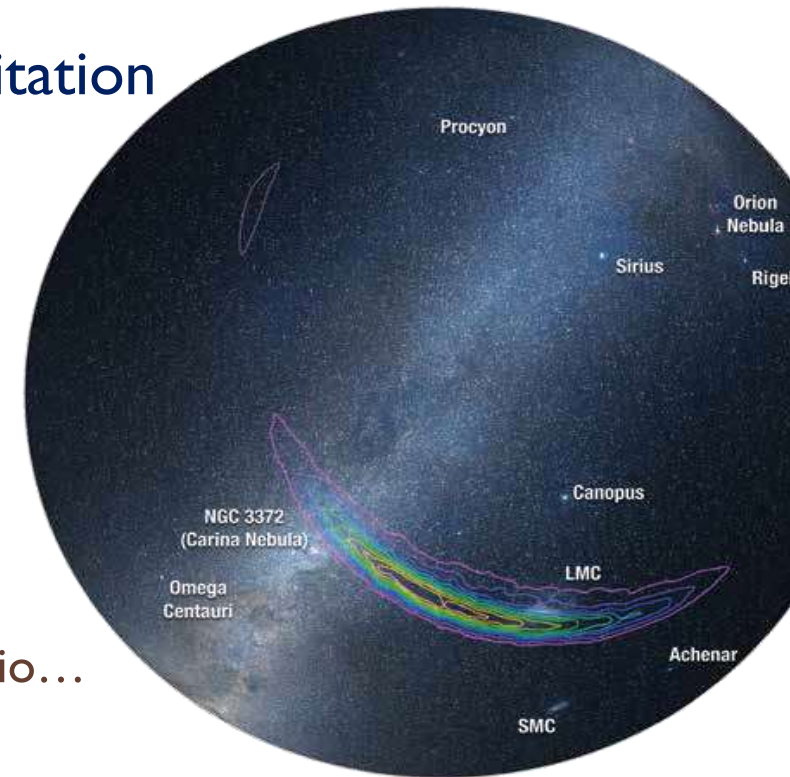


- ▶ Ondes gravitationnelles : des effets très faibles sur terre
 - Sensibilité : $h = \frac{\Delta L}{L} \approx 10^{-21}$
 - Mesurer des petits déplacements sur de grandes longueurs
 - ➔ Grands interféromètres



Pourquoi étudier les ondes gravitationnelles ?

- ▶ Explorer en profondeur la théorie de la gravitation
 - Tests dans des conditions extrêmes
 - Remarque : la gravitation gouverne l'Univers
- ▶ L'astronomie des ondes gravitationnelles
 - Une nouvelle manière d'observer l'Univers
 - ▶ « Ecouter l'invisible »
 - ▶ Vie et mort des étoiles...
 - Astronomie « multi-messagers »
 - ▶ Recherche de signaux associés : lumière, ondes radio...
- ▶ Réalisation d'instruments hors du commun
 - Des technologies de pointe pour nos laboratoires, étudiants, sous-traitants
 - ▶ Optique, mécanique, vide, électronique, traitement des données...



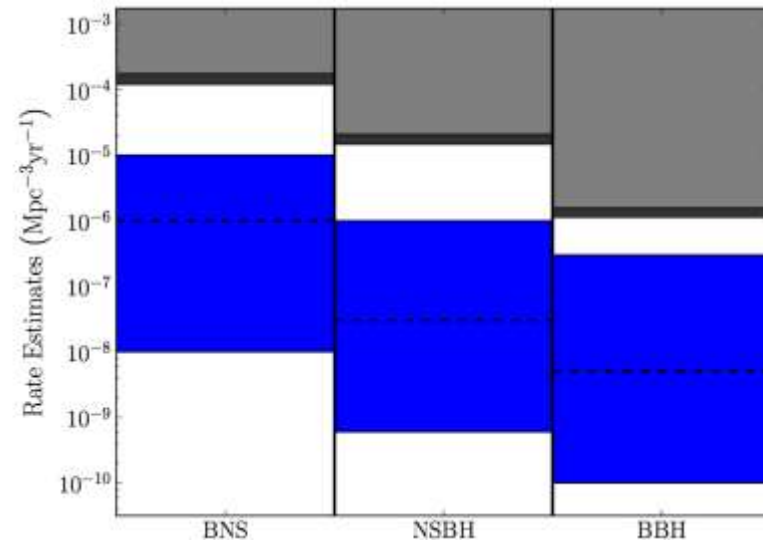
L'infrastructure EGO-Virgo

- ▶ Virgo: un grand interféromètre dédié à l'observation des O.G.
 - Projet approuvé pour le CNRS et l'Italie en 1993/94
 - Première phase de prise de données: 2007-2011
 - Amélioration : Advanced Virgo
 - ▶ Construction et installation : 2011-2016
 - ▶ Augmentation du volume d'Univers visible : $\times 1000$
- ▶ EGO: European Gravitational Observatory
 - Consortium de droit privé italien créé en 2000
 - Géré à parité par la France (CNRS) et l'Italie (INFN)
 - ▶ Site initialement géré par l'INFN avec une UPS du CNRS
 - 55-60 employés
 - Contribution à la construction, fonctionnement du site, operateurs, experts
 - Budget : 9 M€/an pour le fonctionnement du site
 - ▶ + Investissements (24 M€ pour Advanced Virgo upgrade)
- ▶ Organisation : partenariat entre la collaboration Virgo et EGO
 - Collaboration Virgo: construction, contribution au fonctionnement, exploitation scientifique
 - ▶ 18 groupes provenant de France, Italie, Pays Bas, Hongrie, Pologne (~300 personnes)
 - ▶ Des groupes à profil « instrumentaux et analyse de données » plutôt que théoriciens



Résultats de Virgo

- ▶ **Fonctionnement de 2007 à 2011**
 - Sensibilité nominale atteinte
- ▶ **Pas de détections avec Virgo initial, mais...**
 - Validation des technologies utilisées
 - Acquisition d'un savoir-faire
 - De nombreuses publications sur la recherche de signaux
 - Ouverture sur Advanced Virgo
 - ▶ Amélioration de l'instrument pour observer un volume d'Univers x 1000
- ▶ **Réalisation d'un partenariat fort avec LIGO (projet US)**
 - Accord de partage des données et d'exploitation commune depuis 2007
 - Unification des équipes d'analyse des données
 - Publications communes



LIGO-Virgo : un réseau mondial



- ▶ LIGO et Virgo exploitent en commun trois instruments

Remarque: un instrument également en construction au Japon et probablement en Inde

Pourquoi un réseau mondial de détecteurs d'O.G. ?

- ▶ Les évènements astrophysiques sont observables partout sur Terre
- ▶ Augmenter le nombre d'instruments et combiner les mesures pour
 - Améliorer la résolution en position des sources
 - ▶ Besoin de plusieurs instruments localisés loin les uns des autres
 - Valider les détections
 - ▶ Un instrument seul ne suffit pas (pour le moment)
 - Augmenter le temps d'observation
 - ▶ Le cycle utile d'un instrument est de 70-80 %
- ▶ Collaboration intercontinentale
 - Pour réaliser le télescope mondial qu'est le réseau des détecteurs d'O.G.
 - La science des O. G. se fait au niveau mondial
- ▶ Utilité/bénéfice pour la France :
 - Participer à une science de premier plan et visibilité

11 février 2016 : Annonce de l'observation des O.G.

- ▶ Conférences de presse simultanées à Washington DC, Cascina, Paris, Londres, Amsterdam....

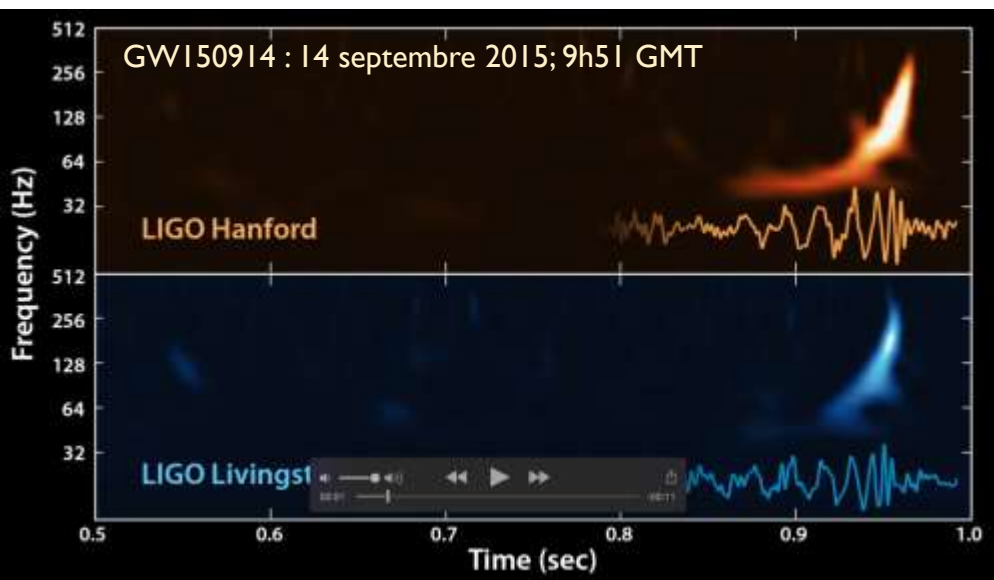


Fort impact médiatique français et international

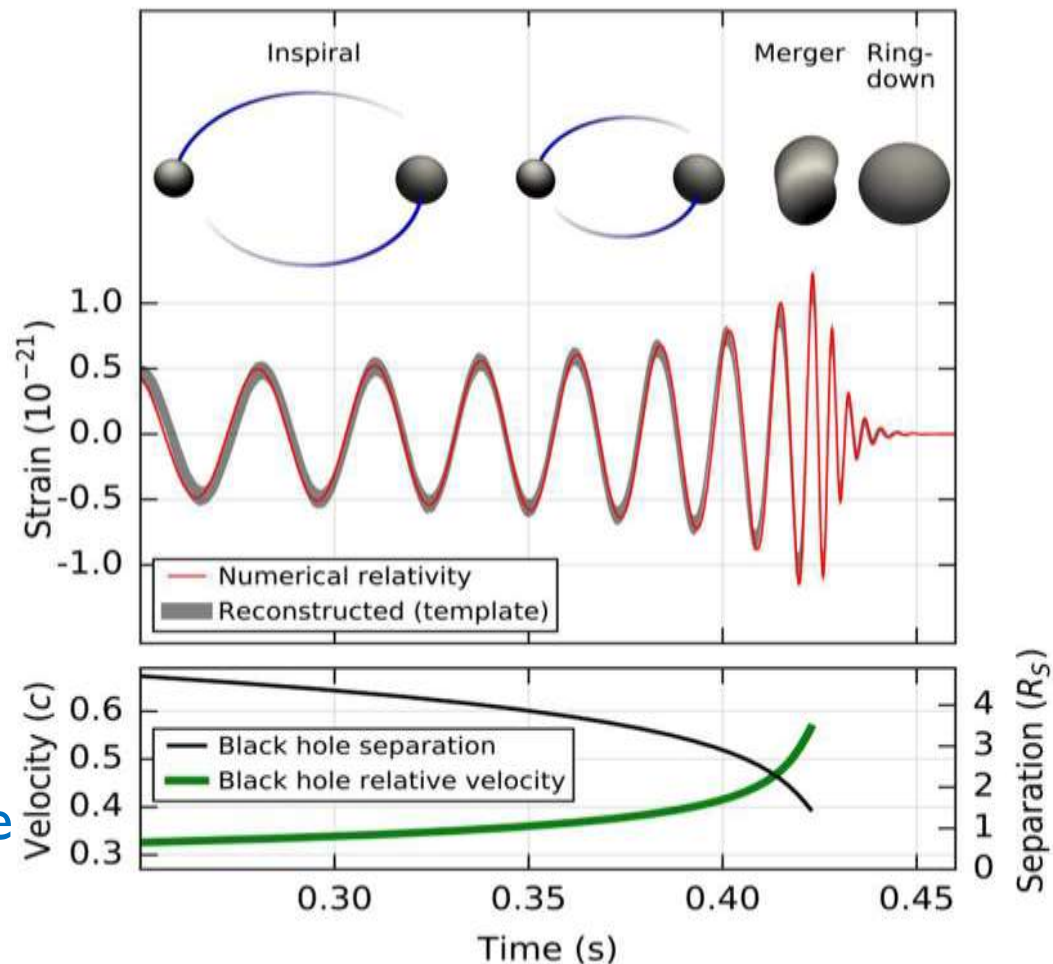
- ▶ Webcast (CC-IN2P3) : 2 500 connexions en direct
 - 25 000 vues en VOD
- ▶ Film CNRS : 55 000 vues (Dailymotion)
- ▶ Environ 200 articles de presse citant le CNRS
 - Médias francophones uniquement
- ▶ Twitter :
 - 10 millions d'impressions en 24h sur le mot-dièse #ondesgravitationnelles
 - 70 millions pour #gravitationalwaves, #einsteinwasright, et #LIGO



GW150914 : la fusion de deux trous noirs



- ▶ Trous noirs de :
 - 29 et 36 fois la masse du Soleil
- ▶ Pourquoi des trous noirs ?
 - Seul objet astrophysique de cette masse suffisamment compact
- ▶ Distance de la source :
 - 1.3 milliard d'années lumière



Le chemin vers l'annonce de la découverte

- ▶ 14 septembre : GW150914 a été détecté en quelques minutes
 - Alerte automatique, puis premiers emails circulant dans l'heure qui suit
- ▶ Alerte envoyée aux télescopes 44 heures après
- ▶ Travail d'étude du candidat, vérification des données, de l'instrument
- ▶ Ecriture de la publication principale par un groupe de travail
 - Groupe codirigé par un Français, Eric Chassande-Mottin, plus de 4000 emails reçus
- ▶ Validation de la découverte par le « comité de détection »
 - Groupe codirigé par une Française (Frédérique Marion)
- ▶ Décision de soumettre la publication le 21 janvier
- ▶ 11 février : conférence de presse
- ▶ Besoin de conserver la confidentialité pour travailler sereinement
 - Travail de validation, préparation des articles expliquant le résultat
 - Rendu possible grâce à la politique de données propriétaires
 - Les données (réduites) autour de l'événement ont été rendues publiques depuis

La gestion des données

- ▶ Un flux de données brutes relativement important
 - De l'ordre de 30 MB/s - 3 TB/jour
 - ▶ De nombreux capteurs pour enregistrer le fonctionnement de l'instrument
- ▶ Des données utiles pour les non-experts bien plus réduites
 - La déformation de l'espace (« $h(t)$ ») correspond à environ 10 GB/jour
 - ▶ Dominé par du bruit (très peu d'évènements)
 - Quelques candidats évènements par heure
 - ▶ Essentiellement des fausses alertes
- ▶ Les détecteurs d'O.G. sont dans un régime dominé par le bruit
 - ➔ Impact sur le politique de partage des données

Le modèle (actuel) de partage des données

► Challenges

- Extraire les bons signaux du bruit de fond et éviter les mauvaises interprétations
 - Nécessite une connaissance approfondie de l'instrument
- Conserver un groupe de physiciens qui font progresser l'instrument
 - La découverte est liée aux progrès de l'instrument plus qu'aux techniques d'analyse
- Exploiter au mieux les données des instruments
 - Disposer de toutes les compétences pour des analyses complètes

► Collaborations ouvertes (LSC et Virgo)

► Données brutes propriétaires

- Pas d'intérêt hormis pour les experts

► Données réduites également propriétaires

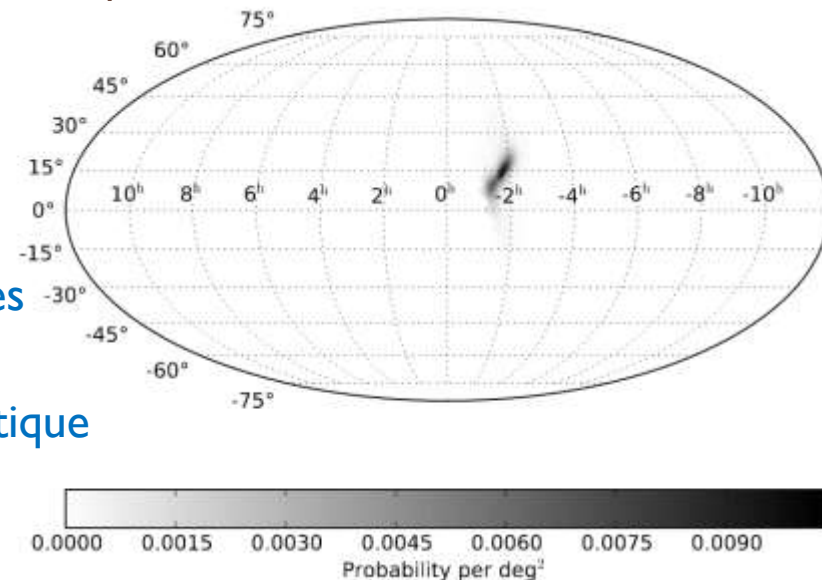
- Rendues publiques par LIGO après quelques années

► Alertes semi-publiques

- MOU avec 62 groupes pour du suivi électromagnétique
 - Télescope optique, infrarouge, X, gamma, radio

► Vont évoluer vers des alertes publiques

- Probablement dans le courant de l'année prochaine



Quelques remarques pour conclure

- ▶ Avoir réalisé un instrument compétitif, Virgo, nous a ouvert les portes au niveau international
 - A nécessité un investissement de longue haleine
 - A placé nos chercheurs au cœur de l'action
- ▶ L'exploitation des ondes gravitationnelles ne fait que commencer
 - Naissance d'une nouvelle astronomie
 - La détection des ondes gravitationnelles n'est pas encore routinière
 - ▶ Impact sur la stratégie de distribution et de partage des données
 - Le volume de données utiles pour la communauté scientifique est actuellement faible
 - Garder un accès privilégié pour valoriser l'investissement
- ▶ Des instruments encore à perfectionner
 - Il faut autant continuer de développer l'infrastructure que l'exploiter