



CONFÉRENCE de Luc BLANCHET
Directeur de Recherche, IAP, GRECO,
"THÉORIE ET DÉTECTION DU RAYONNEMENT
GRAVITATIONNEL"
Organisée par la SAF
Dans ses locaux, 3 rue Beethoven, Paris

Le Samedi 17 Janvier 2009 à 15H00
à l'occasion de la réunion de la Commission de
Cosmologie.

Présentation disponible sur [le site de la commission](#) ainsi que [les actualités](#) diffusées pendant cette séance.

Cette présentation est également disponible sur le site de JP Martin [sur ma liaison ftp](#) dans le dossier **COSMOLOGIE-SAF** et s'appelle : **Ondes-grav-blanchet-SAF2.pdf** .

Photos : JPM pour l'ambiance. (les photos avec plus de résolution peuvent lui être demandées directement)

Les photos des slides sont de la présentation de l'auteur. Voir les crédits des autres photos si nécessaire auprès de J.P Martin.

BREF COMPTE RENDU



[Luc Blanchet](#) (au centre encadré à gauche par J.P Martin et à droite par Jacques Fric Président de la commission) ingénieur X, a passé un DEA d'Astrophysique, a soutenu une thèse en physique théorique « Etude de la structure des champs gravitationnels radiatifs et de leur couplages avec les sources matérielles » devant un jury prestigieux composé de A. Ashtekhar,

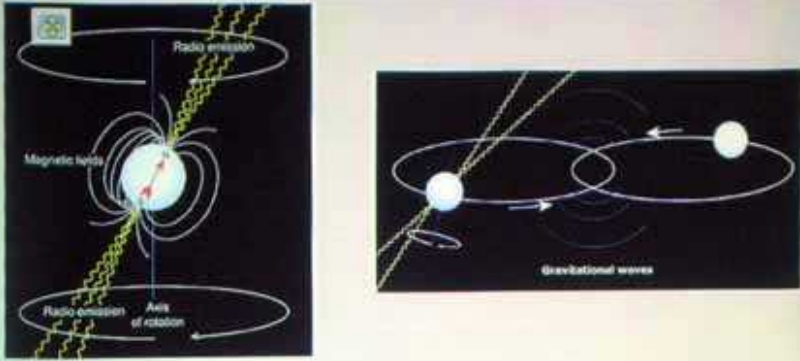
B. Carter, Y. Choquet-Bruat, T. Damour, R.Pellat. Il est aujourd'hui Directeur de Recherche au GRECO : Groupe de Gravitation et Cosmologie à l'IAP et auteur d'environ 90 publications dont un nombre important dans la « Physical Review ». Pour plus de détails, voir: <http://www2.iap.fr/users/blanchet/>

Il nous parle ce soir d'ondes gravitationnelles de leurs recherches et de leurs définitions. Les ondes gravitationnelles sont une **déformation du tissu de l'espace-temps** qui se propage à la vitesse de la lumière. Elles ont été prédites par Einstein.

C'est une manifestation de la courbure de l'espace-temps.

DÉCOUVERTE DU RAYONNEMENT GRAVITATIONNEL.

Le pulsar binaire PSR 1913+16



- Le pulsar binaire est une étoile à neutrons en rotation rapide sur elle-même et émettant des signaux radio comme un phare en direction de la Terre.

Paramètres non-orbitaux

- 1 $P_{\text{pulsar}} = 59 \text{ ms}$ période du pulsar
- 2 $\dot{P}_{\text{pulsar}} < 10^{-12}$ ralentissement du pulsar
- 3 Ce pulsar tourne sur une orbite (quasi-)keplérienne autour d'un compagnon invisible, probablement une autre étoile à neutrons

Luc Blanchet (GR&CO) Rayonnement gravitationnel Société Astronomique de France 2 / 31

Ce rayonnement gravitationnel existe, on l'a découvert lors de la détection du pulsar binaire de 1974.

C'est une étoile à neutrons en rotation rapide et qui émet des signaux radio analogues à un phare dirigé suivant le champ

magnétique. Ce pulsar tourne autour d'une autre étoile, probablement une autre étoile à neutrons.

Voir [ce modèle de pulsar](#)

Mais l'axe magnétique du pulsar n'est pas aligné sur l'axe de rotation (comme pour la Terre), ce qui donne **des flashes réguliers**, d'où le nom de pulsar (pulsating star).

C'est un pulsar si le rayonnement est intercepté par la Terre.

Pour ce pulsar, les pulses radio ne sont pas réguliers. Ceci est dû un effet Doppler lors du mouvement de l'étoile à neutrons sur son orbite. Si sa vitesse est très élevée, **les effets sont relativistes**.

La période du pulsar de 1974 est de 59ms, mais entachée de +/-2ms de variation due à la relativité.

On remarque que la précession de ces pulsars (**approx 4,2°/an**) est environ 35 000 fois plus forte que celle détectée pour Mercure (43"/siècle) expliquée par la Relativité Générale (RG) d'Einstein.

Un autre effet de la relativité est la décroissance de la période orbitale (période qui vaut environ 8h) au cours du temps, car le rayonnement gravitationnel emporte de l'énergie (décroissance de $2 \cdot 10^{-12}$ s/siècle), en accord avec la RG.

LES BINAIRES CATAclysmIQUES.



Un système binaire cataclysmique, c'est un couple infernal, une étoile massive volumineuse se fait happer par son compagnon encore plus massif mais très petit, comme une naine blanche, il y a transfert de

matière de l'une vers l'autre.

Dans tous les cas lorsqu'on a un transfert de matière de l'étoile la moins massive (étoile "normale") vers l'étoile la plus massive (étoile compacte, qui est une naine blanche) cela a pour effet d'augmenter la distance entre les étoiles. Il doit donc y avoir un mécanisme de perte de moment cinétique qui tendra à faire diminuer la distance et donc pourra compenser exactement cet effet, pour expliquer que cette distance reste constante pendant très longtemps comme c'est observé.

Dans le cas des binaires pas très relativistes avec des périodes longues très supérieures à 2H il y a un mécanisme d'origine purement astrophysique connu qui "enlève" le moment cinétique.

Mais ce mécanisme n'est pas assez efficace **dans le cas des binaires plus relativistes** avec périodes inférieures à 2H et dans ce cas il n'y a que **le rayonnement gravitationnel** qui peut emporter assez de moment cinétique. Donc on explique par l'émission d'OG le pic dans le nombre de ces systèmes observés ayant une période inférieure.

QU'EST CE QU'UNE ONDE GRAVITATIONNELLE?

Une onde gravitationnelle (OG) est une déformation de la courbure de l'espace-temps se propageant à la vitesse de la lumière

Les OG sont engendrées par la dynamique et le mouvement de la source

Elles sont plus analogues à des ondes sonores qu'à des ondes lumineuses



Typiquement la longueur d'onde de telles ondes est très grande; par exemple pour le pulsar binaire elle est de l'ordre de 50 UA!!

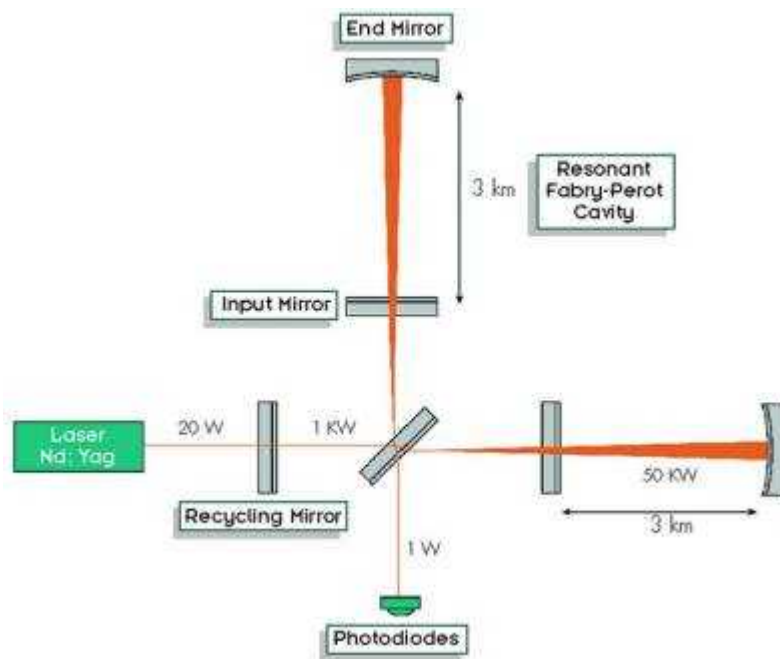
Une OG ne peut se détecter que par une mesure de différence de distance.

Puis notre orateur nous décrit ce que représente une OG pour :

- Le mathématicien
- Le physicien
- Le relativiste
- L'astrophysicien.

DÉTECTION DES ONDES GRAVITATIONNELLES.

Des premiers essais eurent lieu avec des barres (Barres de Weber) pour détecter des vibrations dues aux OG, mais maintenant la technique utilisée fait appel à un interféromètre.



Les OG se manifestant par des fluctuations de longueurs, ce sont ces infimes différences que l'on doit mesurer.

Le détecteur le plus adapté est l'interféromètre de Fabry-Pérot, similaire à [l'interféromètre de Michelson](#) utilisé en son temps pour tenter de mettre en évidence le mouvement de la Terre par rapport à l'éther.

L'amplitude du signal est extrêmement faible, par exemple dans le cas de VIRGO où les bras de l'interféromètre font 3km, la variation de longueur à mesurer **est de l'ordre de 10^{-19} m!!!**

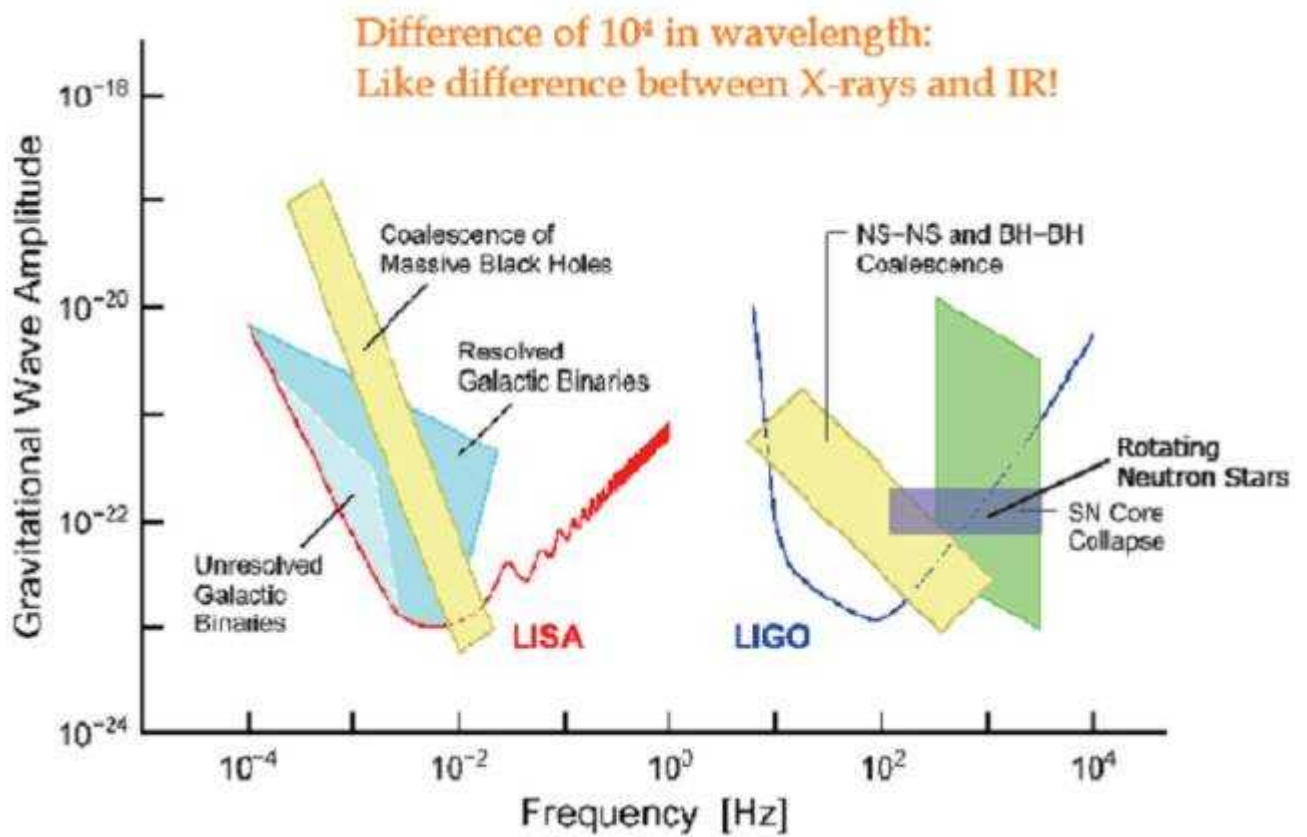
On peut se demander comment détecter un déplacement aussi faible.

On mesure le déplacement collectif de N atomes d'une couche atomique sur la surface d'un miroir, on tombe alors à des distances à détecter de l'ordre de l'Angstrœm, c'est à dire de l'ordre de grandeur des distances inter-atomiques

Il existe actuellement quelques détecteurs d'OG sur Terre notamment les projets suivants :

- [VIRGO](#) franco-italien en Italie (Pise)
- [LIGO](#) américain à Hanford dans l'état de Washington
- [GEO](#) germano-britannique près de Hanovre en RFA.

Il existe aussi un projet très ambitieux dans l'espace, [c'est LISA](#) qui est un ensemble de trois engins spatiaux très éloignés les uns des autres devant permettre la détection d'OG. Ce projet est en phase expérimentale et le prototype de faisabilité (LISA Pathfinder) est en construction à l'ESA.



Si les projets comme VIRGO étudient le domaine des fréquences entre 10Hz et 10.000Hz, LISA se penche elle sur le domaine des très basses fréquences : un dix millième à un dixième de Hz. Ils ne correspondent pas aux mêmes sources astronomiques comme on le voit sur ce graphe.

POUR ALLER PLUS LOIN.

[Les ondes gravitationnelles](#) par Th Lombry de Luxorion;

<http://www-cosmosaf.iap.fr/MIT-RG6F.pdf>

[Les pulsars](#) par nos amis d'Astropolis.

[Site de Virgo.](#)

Conférence sur "[les ondes gravitationnelles](#)" par Alain Brillet

[Virgo, en chemin vers les ondes gravitationnelles](#) par Fabien Cavalier de IN2P3.

[VIRGO, les ondes gravitationnelles, la relativité générale et les trous noirs](#) Éric Gourgoulhon Laboratoire de l'Univers et de ses Théories (LUTH)