

# HISTORIQUE DES ONDES GRAVITATIONNELLES ET DE VIRGO - FRANCE

Catherine-Nary MAN

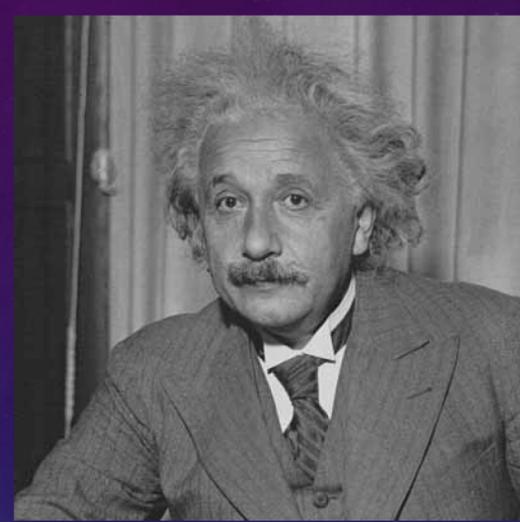
Les ondes gravitationnelles: bref rappel

Les pionniers

Préparation de Virgo: 1980-1993

Débuts de Virgo: > 1993

# BREF RAPPEL CHRONOLOGIQUE



- → fin 60's: OG était curiosité théorique conséquence de la RG; Einstein en doutait parfois car hors d'atteinte par leur faible amplitude
- Leur existence va pouvoir être démontrée grâce à l'apparition de nouvelles technologies (lasers, semi-conducteurs, calculateurs, ...)
- Plusieurs étapes : Joe Weber avec résonateurs solides: barres de Weber (71-75), Robert Forward (Hughes Aircraft) avec interféromètre Michelson (78).
- Puis améliorations des barres de Weber avec la cryogénie (Australie, USA, Italie, Cern)
- Et enfin les interféromètres prototypes (Glasgow , Garching, Caltech ) dans les années 80
- Dans ce contexte, apparut Virgo projet Franco-Italien financé dès 1994

En 1905, dans un C.R.A.S., Poincaré stipulait que la gravité était transmise par une onde qu'il appela onde gravifique (gravitational wave)

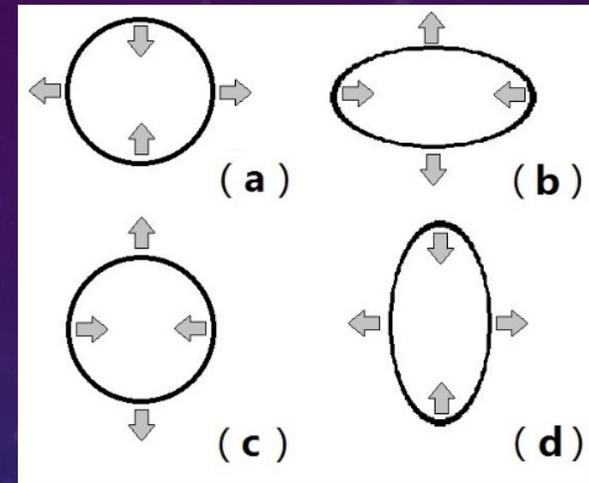
### Einstein:

- en 1915, finalisa sa théorie de la RG en 1915 et montra que la gravité est une courbure de l'espace-temps et conjectura l'existence des OG.
- émigré aux US, en Juin 36, il écrivit à Max Born: « Together with a young collaborator (Rosen), I arrive at the interesting result that **gravitational waves do not exist**, though they have been assumed a certainty to the first approximation” .
- en Déc 36 , après de nombreuses discussions, il admit l'existence des OG bien que Rosen continuait à penser que c'est une construction mathématique et non une réalité physique.

## Débuts des O.G. /2

Pour prouver leur existence, il faut les détecter ou détecter leur effets

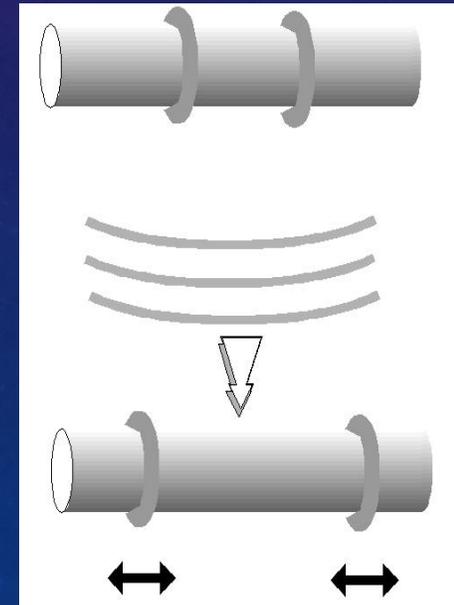
Pirani (50's) montra par analyse que les OG bougent les masses en "oscillation"



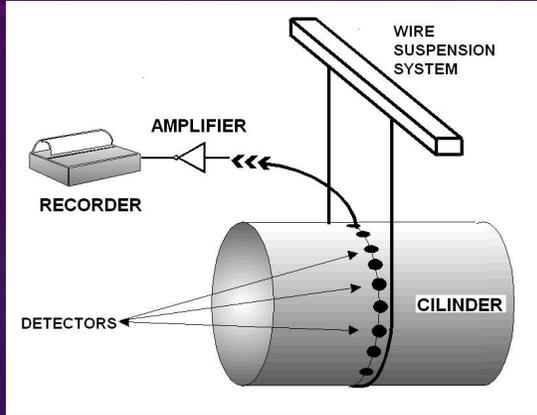
La question de savoir si les OG produisaient de l'énergie, fut donc soulevée dès mi-50's

C'est ainsi que Feynman proposa en 57 (conférence de Chapel Hill = GR1), « the Sticky bead argument »

- Dans l'assistance il y avait un nommé Joe Weber fasciné par ces discussions.....
- Weber a eu l'idée des barres métalliques qui résonneraient sous l'effet d'une OG à la bonne fréquence.



## Les Pionniers: barres de Weber



Joe Weber (Maryland Univ)

Barres Alu 1m, 2m



Silvano Bonazzola (Obs Paris)

2 barres à Obs Meudon pour confirmer Weber ?

Mais il comprit: atteindre bonne sensibilité difficile avec les barres et se consacra à l'étude théorique des sources

dès 1967, a pu détecter des coïncidences dans le changement du niveau de vibration de deux barres distantes de quelques centaines de km mais intensité et fréquences trop grandes

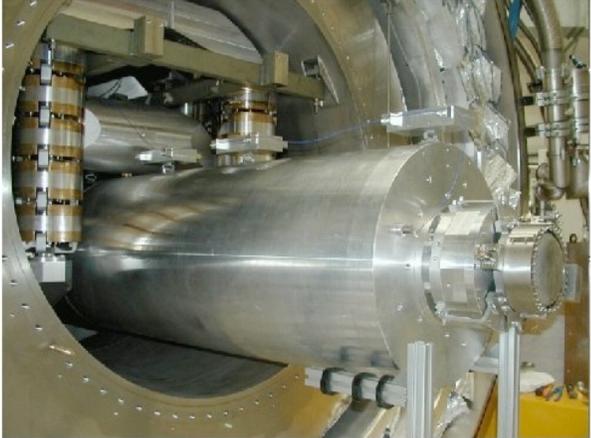
# Barres de Weber

Pour baisser le bruit thermique : baisser la température → Barres cryogéniques



NAUTILUS 0,13°K, 2.3 T: Frascati (It)

**AURIGA**



Massimo Cerdonio  
INFN Section and Department of Physics  
University of Padova, Italy

 **AURIGA** [www.auriga.infn.it](http://www.auriga.infn.it) **CommII@Roma** **Oct 6<sup>th</sup> 2005** 

EXPLORER 2°K: Cern

ALLEGRO 6°K : Louisiane

NIOBE (5K): West Australia

Stanford (Peter Michelson)

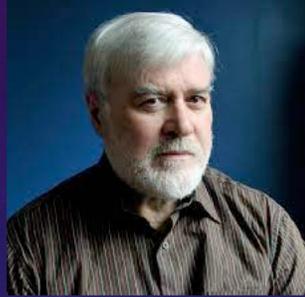
Garching : groupe de Billing

Glasgow (Ron Drever)

Moscou, Tokyo, ...

Les barres de Weber dans les diff config ne détecteraient des OG que dans notre galaxie (limitées à qq  $10^{-18}$  )

# L'INTERFÉROMÉTRIE COMME TECHNIQUE DE DÉTECTION



Dans les années 74-75, Jean-Yves Vinet, dans son travail de thèse, effectuait une comparaison théorique des performances atteignables par différents types de détecteurs résonnants, électromagnétiques ou élasto-optiques.

Il a évalué toutes les techniques de détection et démontré que seule l'interférométrie pouvait arriver aux sensibilités de détection nécessaires.



Forward fut le pionnier dans la détection des ondes de gravitations par interférométrie. Il réalisa un interféromètre laser de Michelson, mais la faible puissance de son laser He-Ne ne lui donna aucun résultat.

# Confirmation de l'interférométrie comme technique

Dès 73, Rainer Weiss évalua (Blue Book) la plupart des limitations : bruits de photons, thermique, sismique etc...

Il en conclut que pour détecter des signaux @ kHz, l'idéal serait:

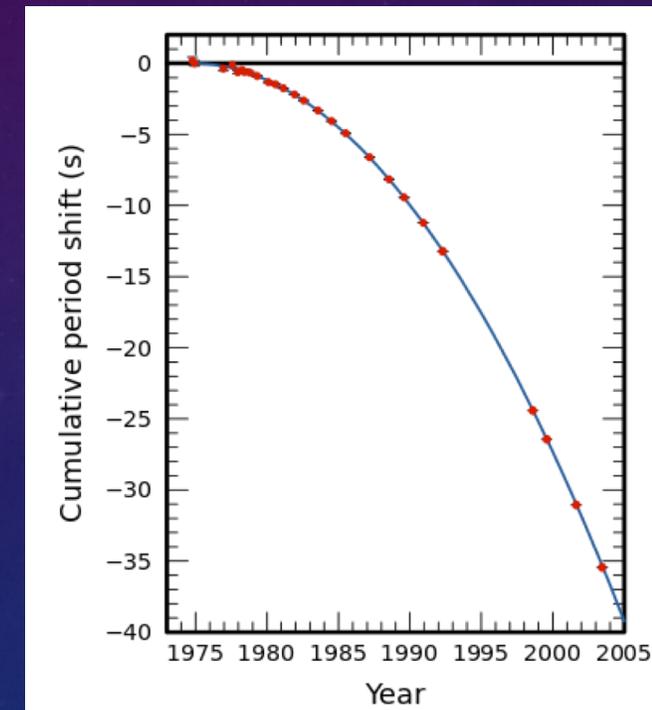
- Un interféromètre de type Michelson avec 2 bras de 150 km de longueur (qu'on peut obtenir en repliant le faisceau dans les bras)
- Un laser de 1 kW ultra stable en fréquence et en puissance: obstacle principal à cette époque
- Une isolation sismique performante
- Une expérience sous vide pour éviter les fluctuations de pression etc.....

# Prototypes d'interféromètre

*Encouragé par les observations de Hulse et Taylor qui sont une preuve indirecte de l'existence des OG*

Dès 75, Prototypes d'interféromètre laser type Michelson avec des bras « complexes »:

- Garching (Michelson de 30m avec lignes à retard dans chaque bras)
- Glasgow (Michelson de 10m avec Fabry-Perot dans chaque bras)
- Caltech (Michelson de 40 m avec Fabry-Perot dans chaque bras), à partir de 81 quand Robbie Vogt fit venir Drever aux US



# 1979-1985 DÉBUTS DE L'INTERFÉROMÉTRIE GRAVITATIONNELLE EN FRANCE

79: rencontre à Trieste (meeting MG) de A. Brillet avec Ron Drever et les gens de Garching

Puis à la suite d'un workshop en Bavière que commença à germer l'idée d'étudier en F l'approche interférométrique, en collaboration avec Thibaut Damour, Christian Bordé, Philippe Tourrenc et Jean-Yves Vinet

Des 80, Philippe et Alain organisèrent plusieurs réunions européennes (avec souvent la présence d'un membre de la NSF), réunions soutenues ensuite par le CNRS en 'groupement de recherches'

Après 2 contrats européens avec Glasgow & Garching, l'idée du détecteur unique européen fut rejetée par Max-Planck (GEO était sur les rails)

Dès 82, à la fin de ma thèse, avec Alain, nous décidions de concentrer nos efforts sur les lasers et l'interférométrie plutôt que de construire un autre prototype

Jean-Yves V. développait la théorie du recyclage

Philippe T et Christian B. étudiaient l'interaction de l'OG avec l'interféromètre

Nathalie Desruelles et Thibaut T. , Silvano B. et B.Carter amélioraient la théorie de la modélisation des sources ..

# LES PROGRÈS DANS L'INTERFÉROMÉTRIE LASER

Les évènements marquants dans l'amélioration de la sensibilité des itf de Michelson furent:

- Recyclage de lumière (Picasso du Cern l'avait publié pour les oscillateurs microondes, Drever l'a transposé au Michelson en 82)
- Replier les faisceaux avec un Fabry-Perot au lieu d'une ligne à retard
  - Recyclage de signal (en large bande ou résonnant en 89)
- Injection de laser (transfert de stabilité d'un laser compact stabilisé vers un laser de puissance monomode libre) (80's)
- Disponibilité des lasers de puissance à solide (85) pompés par diodes laser (90's)

*Possibilité d'avoir des miroirs performants réalisés en interaction avec la demande*

11

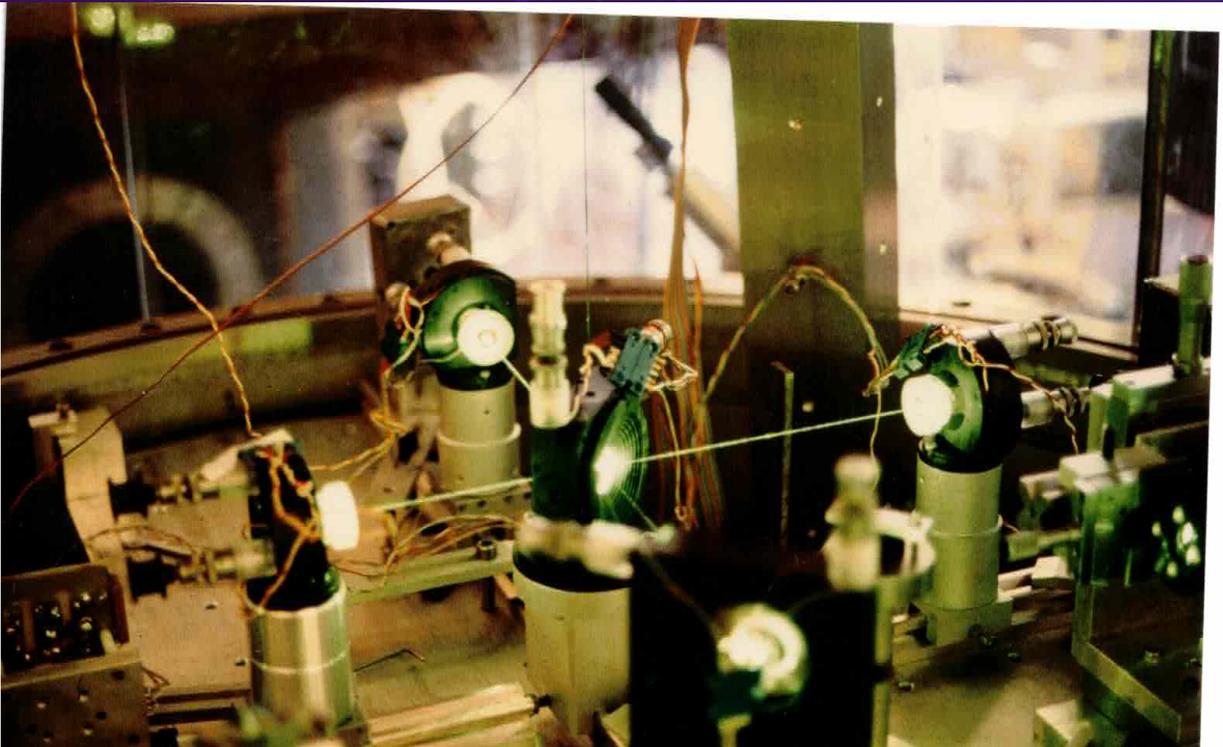
## 85-99 Vers un projet Franco-Italien

Lors d'un MG à Rome en 85, Alain rencontra A.Giazotto qui présentait les résultats d'un système d'isolation sismique efficace dans la gamme 10Hz -10 kHz (la gamme de coalescence du binaire de neutrons de Hulse et Taylor rayonnerait @ de 100 Hz)

Le projet Franco-Italien était né entre Orsay et Pise rejoint par le groupe de l'INFN de Naples (conception des alignements)

## R&D à Orsay 85-89

85-89: notre groupe hébergé au CSNSM (IPN Orsay), je menais les activités expérimentales, sommation cohérente de lasers Argon, démonstration du fonctionnement d'un Michelson à recyclage, lasers YAG pompé par diode laser (thèse de David), post-doc de Dan Dewey (MIT),



Jean Yves Vinet avec Patrice Hello (thèse) mit au point le modèle numérique à base de Transformée de Fourier (propagation + défauts des optiques, etc...) qu'il appela Dark F, une version fut transmise à LIGO et GEO et démontra qu'un laser Infra-rouge était plus efficace qu'un laser visible.

Dès 86, en F le projet fut placé en TGE mais précédé par le VLT

Mai 89: un projet F-I d'un itf à 2 bras de 3 kms soumis au CNRS et INFN: un point délicat dans l'évaluation du projet par le comité P. Fleury, fut l'absence de prototype, mais le rapport fut favorable grâce à Patrick F., Christian Bordé, etc ...

## 1989-1994 Evaluation et approbation de Virgo

LIGO 2x itf de 4 kms était en passe d'être approuvé

GEO 3000 (RFA) fut approuvé puis rapidement supprimé, pour renaître ensuite sous forme GEO600 germano-britannique

La situation du projet Virgo devint favorable grâce à 2 évènements:

- VLT venait d'être approuvé et apport du soutien des astrophysiciens à Virgo
- Le LEP prenait fin au CERN et libéré de nombreux physiciens des particules F et It
- le LAPP rejoignit Virgo, puis le LAL qui nous accueillit de 90 à 99 .

En Italie avec Rome, Perugia, Florence, et de nombreux physiciens à Pise.

*En 92, Pierre Curien annonça son approbation au projet ce qui accéléra la prise de décision en It*

*L'accord fut signé en Juin 94 entre le Dir du CNRS F. Kourilsky et le président de l'INFN L. Maiani*

## Quelques aspects de la construction de Virgo

Compte tenu du site en Italie, le financement du projet est défini 45% Fr et 55% It

La direction du projet fut alors attribuée à un comité de groupeleaders pour chaque équipe

Pour la construction de Virgo, un triumvirat responsable devant les institutions, fut créé:

project leader, deputy project leader et technical director

Site de Cascina: sol argileux et nappe phréatique fluctue selon les saisons entre 0 et -20 m:

- les 3 bâtiments reposent sur des piliers de 50m
- la dalle de béton de 6 kms supportant les enceintes à vide, repose sur des piliers 'flottants' de 20m et placés par paire tous les 15 m

Optiques: Les simulations de Jean-Yves ont conclu à la nécessité de miroirs excellents en polissage, planéité et qualité des couches minces à partir de substrats à très faible absorption

Contacts avec l'institut d'optique: trop risqué

Contacts avec industriels de l'optique: pas assez de marché

Finalement PMS (Boulder, Colorado) s'est intéressé aux miroirs (lasers He-Ne autres que rouge)

Alain rencontra Jean-Marie Mackowski (lors d'une réunion à la DRET);

En commun avec Claude Boccara (ESPCI) et en partenariat avec PMS et Hereaus, ils prirent en charge les problèmes de réalisation et de métrologie optiques.



Pise 1992: Alain, Marcel Jacquemet, Jean-Marie



Alain, Jean-Marie , Kimio Tsubono et son étudiant à Tokyo