

Ondes gravitationnelles : une nouvelle fenêtre sur l'Univers.

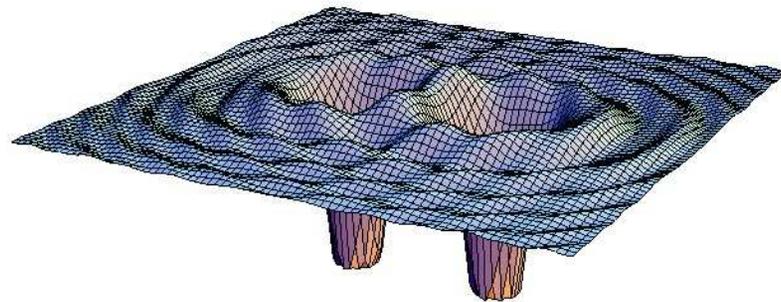
Jérôme Novak

LUTH : Laboratoire de l'Univers et de ses THéories

CNRS / Observatoire de Paris

F-92195 Meudon Cedex, France

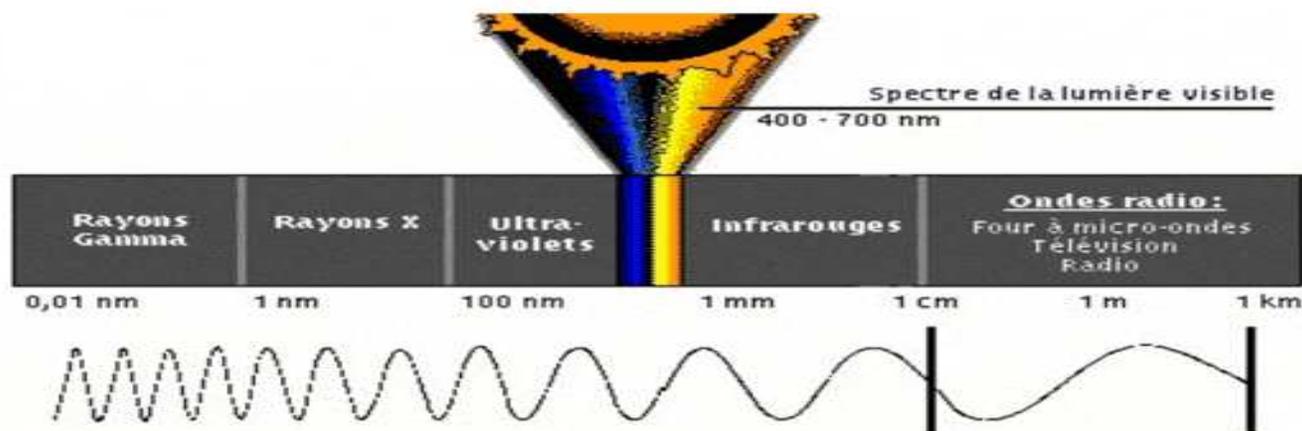
<http://www.luth.obspm.fr/>



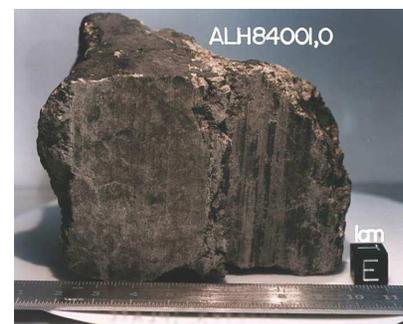
Journées du patrimoine, 18 septembre 2004

Comment a-t-on des informations sur l'Univers ?

- en regardant la lumière \Rightarrow *ondes* électromagnétiques



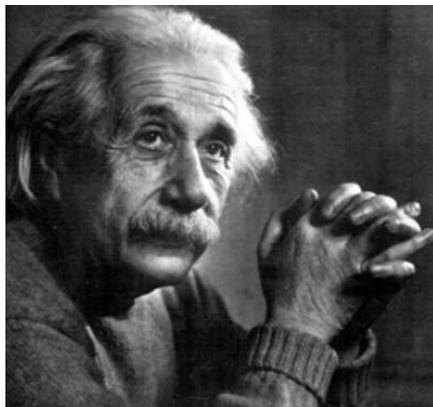
- en examinant ce qui tombe du ciel ...



- en allant chercher des indices sur place (Apollo, Mars Explorer, Genesis(?!)...)
Ces deux dernières méthodes sont limitées au système solaire.
- dernier canal en date : les neutrinos
- et, à l'avenir les *ondes gravitationnelles*

Qui a inventé cette idée ?

Dans la théorie de Newton, la force de gravité se déplace *instantanément*

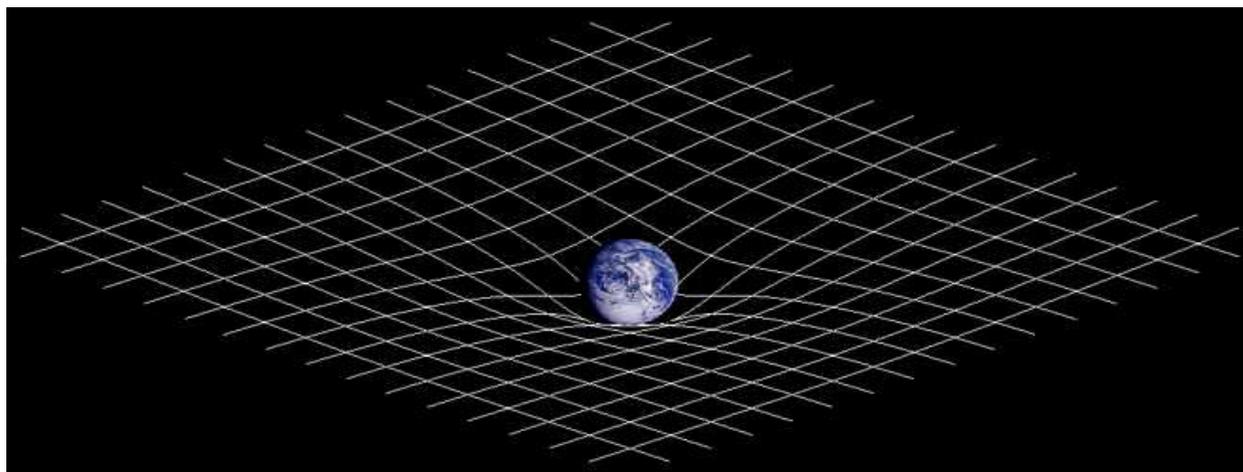


Dans le cadre de la *Relativité Générale*, cette force se propage, au maximum à la vitesse de la lumière

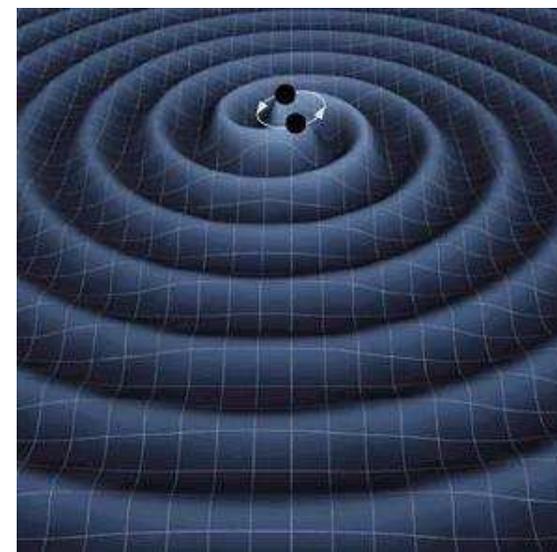
⇒ c'est cette théorie (Einstein, 1915) qui prédit l'existence d'ondes gravitationnelles.

C'est quoi, les ondes gravitationnelles ?

D'après la Relativité Générale d'Einstein (et aussi des tests et des observations), les masses courbent l'espace-temps.



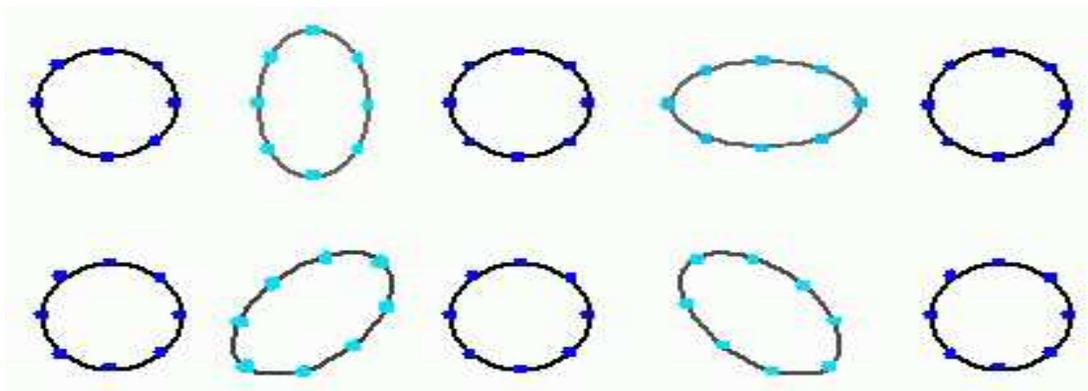
Quand les masses bougent, cette courbure se propage, comme des vagues à la surface de l'eau \Rightarrow *ondes gravitationnelles*



Loin des masses, ces plis d'espace-temps se déplacent à la vitesse de la lumière.

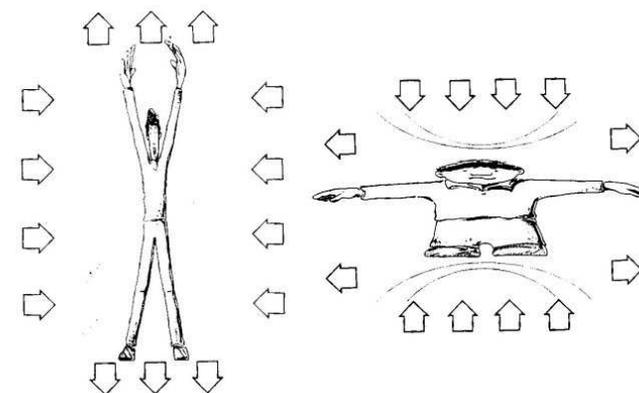
Qu'arrive-t-il au passage d'une onde gravitationnelle ?

L'espace-temps est légèrement modifié \Rightarrow les *distances* changent pendant un bref moment.



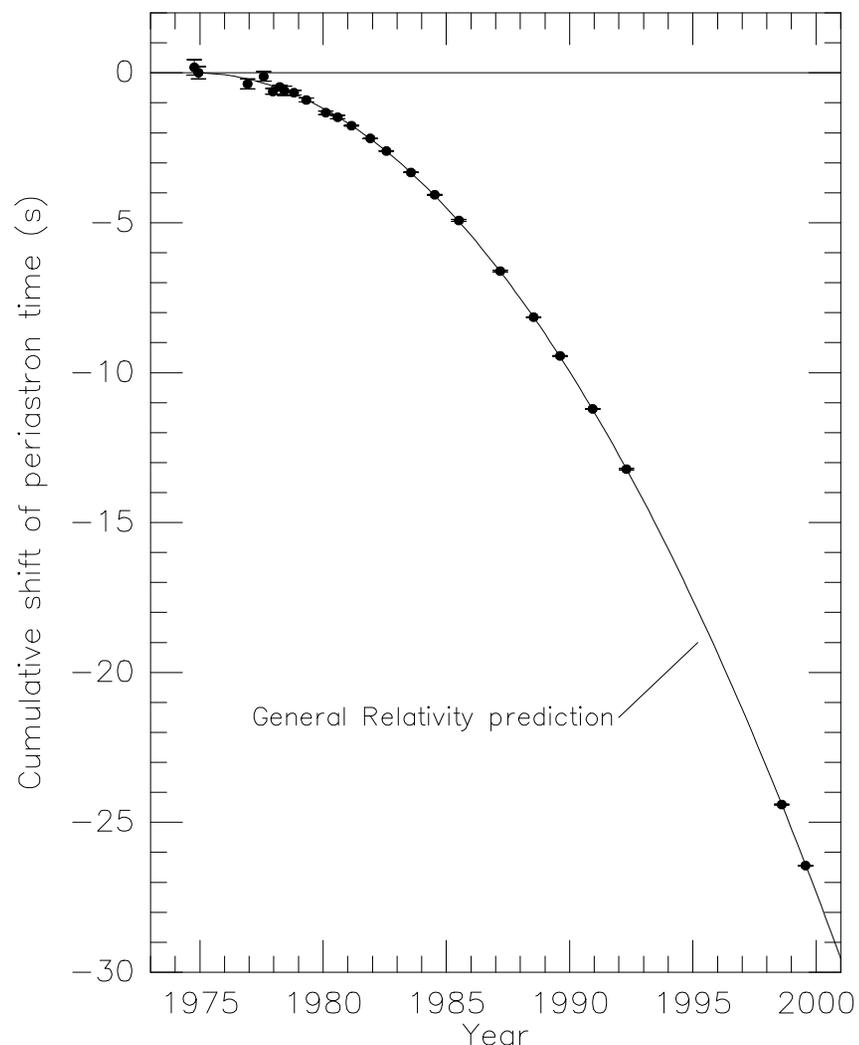
Après le passage de l'onde, tout redevient "comme avant", comme au passage d'une vague unique au milieu de l'eau.

Les amplitudes sont **énormément** grossies...

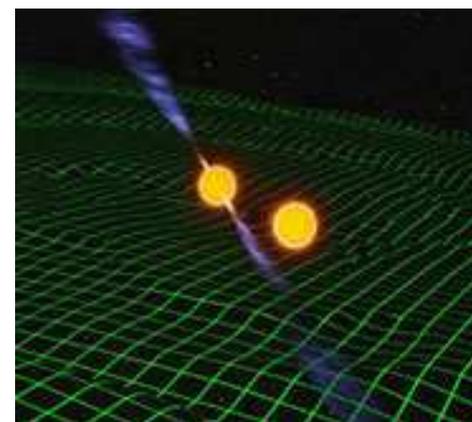


Les ondes gravitationnelles existent-elles vraiment ?

Oui !!



Le rapprochement des deux étoiles à neutrons (pulsars) de PSR1913+16 correspond, avec une précision extrême, à ce qui est prédit si ces deux étoiles émettent des ondes gravitationnelles.



⇒ Prix Nobel de Physique pour Hulse et Taylor en 1993

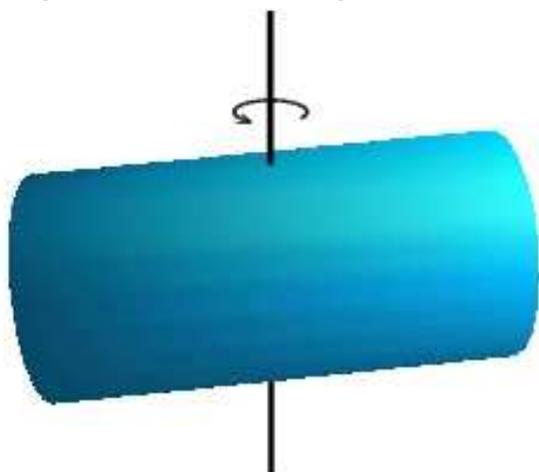
Comment produire des ondes gravitationnelles ?

Sur Terre...

Au XIX^e siècle, le physicien allemand Hertz prouve l'existence des ondes électromagnétiques en les produisant dans son laboratoire. Peut-on faire la même chose pour les ondes gravitationnelles ?

- les *ondes électromagnétiques* sont produites par l'accélération de *charges électriques*,
- les *ondes gravitationnelles* sont produites par l'accélération de *masses*.

Le plus efficace pour accélérer un objet, c'est de le faire tourner :



un cylindre d'acier

- d'un mètre de diamètre et de **vingt** mètres de long,
 - qui pèse **490 tonnes**,
 - qui peut tourner à plus de 260 tours/mn (limite de rupture de l'acier),
- ⇒ **aucun** espoir de détection (émission trop faible).

Comment produire des ondes gravitationnelles ?

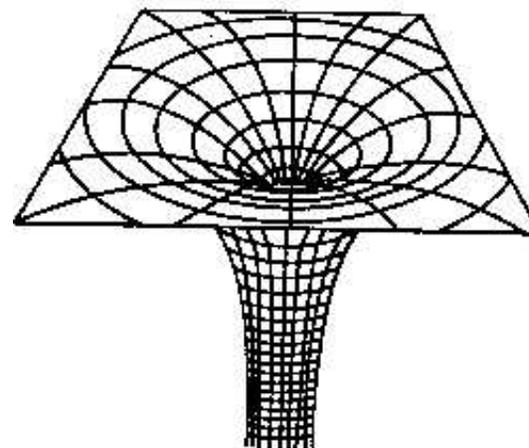
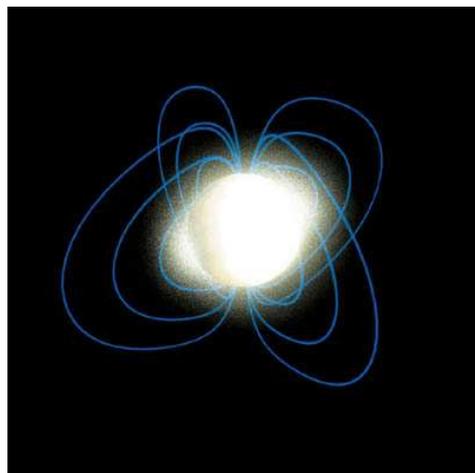
Dans l'espace...

Avec l'aide de la Relativité Générale, on peut estimer que les ondes gravitationnelles les plus fortes peuvent être émises par des masses accélérées :

- qui possèdent un très fort champ gravitationnel,
- qui vont à une vitesse proche de celle de la lumière,
- qui n'ont pas une forme sphérique.

Dans le “bestiaire” astrophysique, les plus efficaces semblent être :

les étoiles à neutrons,



et les trous noirs.

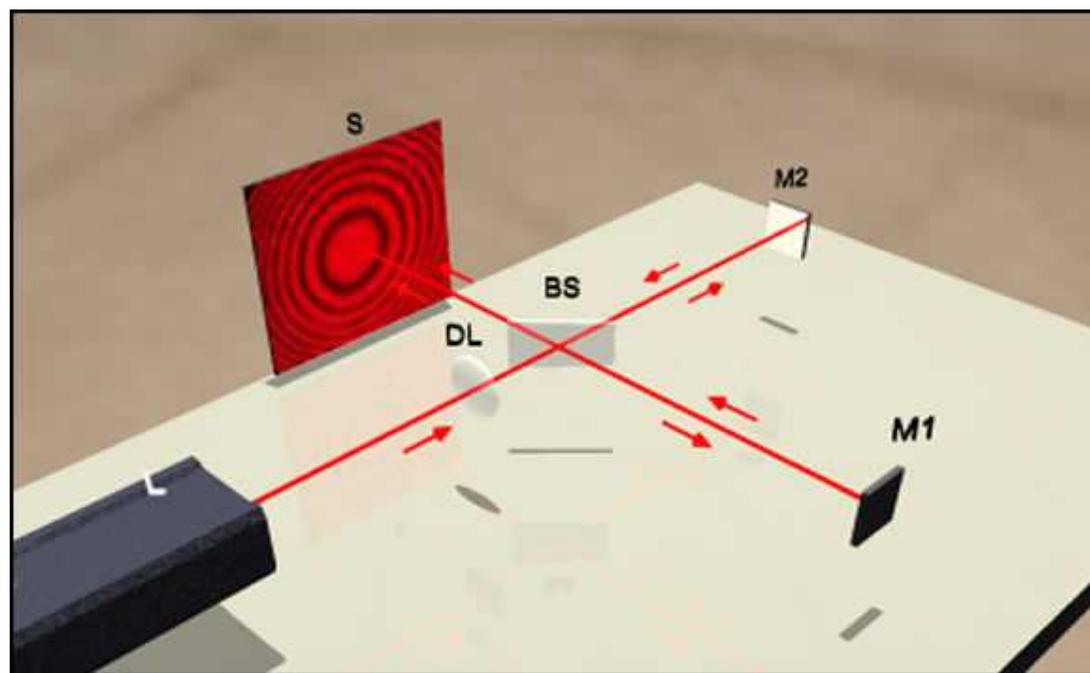
... surtout s'ils sont à deux, tournant l'un autour de l'autre...

Comment détecter des ondes gravitationnelles ?

Même avec ces “champions”, la taille des ondes gravitationnelles arrivant sur Terre est très faible et la variation de distance à mesurer correspond à :

la taille d'un atome par rapport à la distance Terre-Soleil !!

⇒ mesure par LASER des déplacements des miroirs d'un *interféromètre*



Existe-t-il des détecteurs qui fonctionnent ?

VIRGO



France/Italie, à Pise



LIGO États-Unis, à Livingston (Louisiane) et Hanford (Washington)

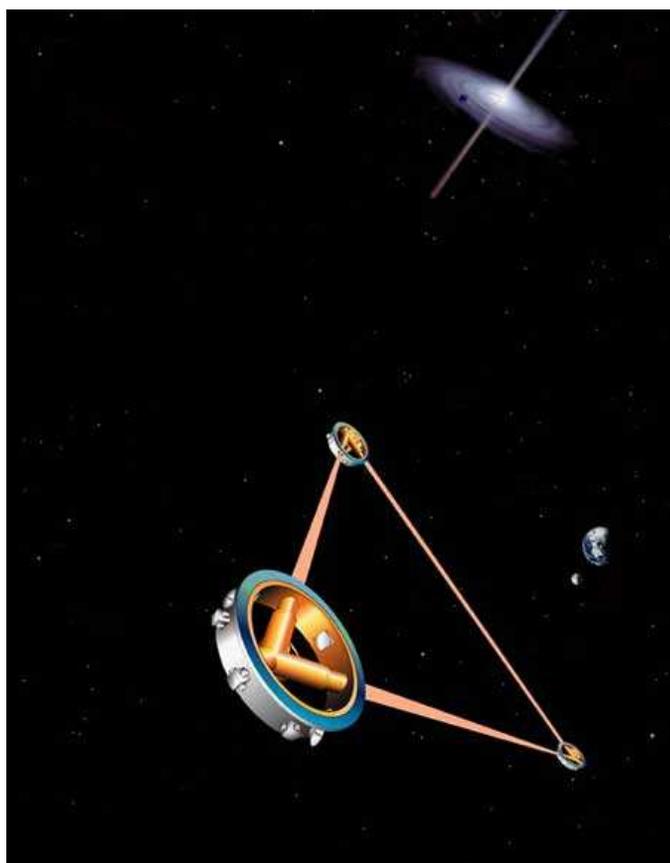


Les bras où passe le LASER font 3 km (VIRGO) et 4 km (LIGO) de long
... avec un vide quasi-parfait !

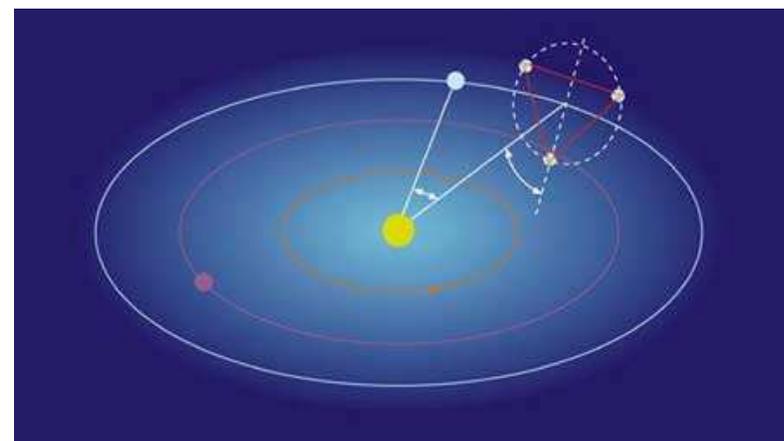
⇒ viennent d'être construits et sont en phase de réglages/tests.

Est-il plus facile de détecter ces ondes dans l'espace ?

Sur Terre, les vibrations du sol (routes, activité sismique, ...) limitent les détecteurs.



⇒ projet LISA (ESA / NASA) prévu pour être lancé en 2012 : 3 satellites à 5 millions de kilomètres les uns des autres, tournants autour du Soleil...



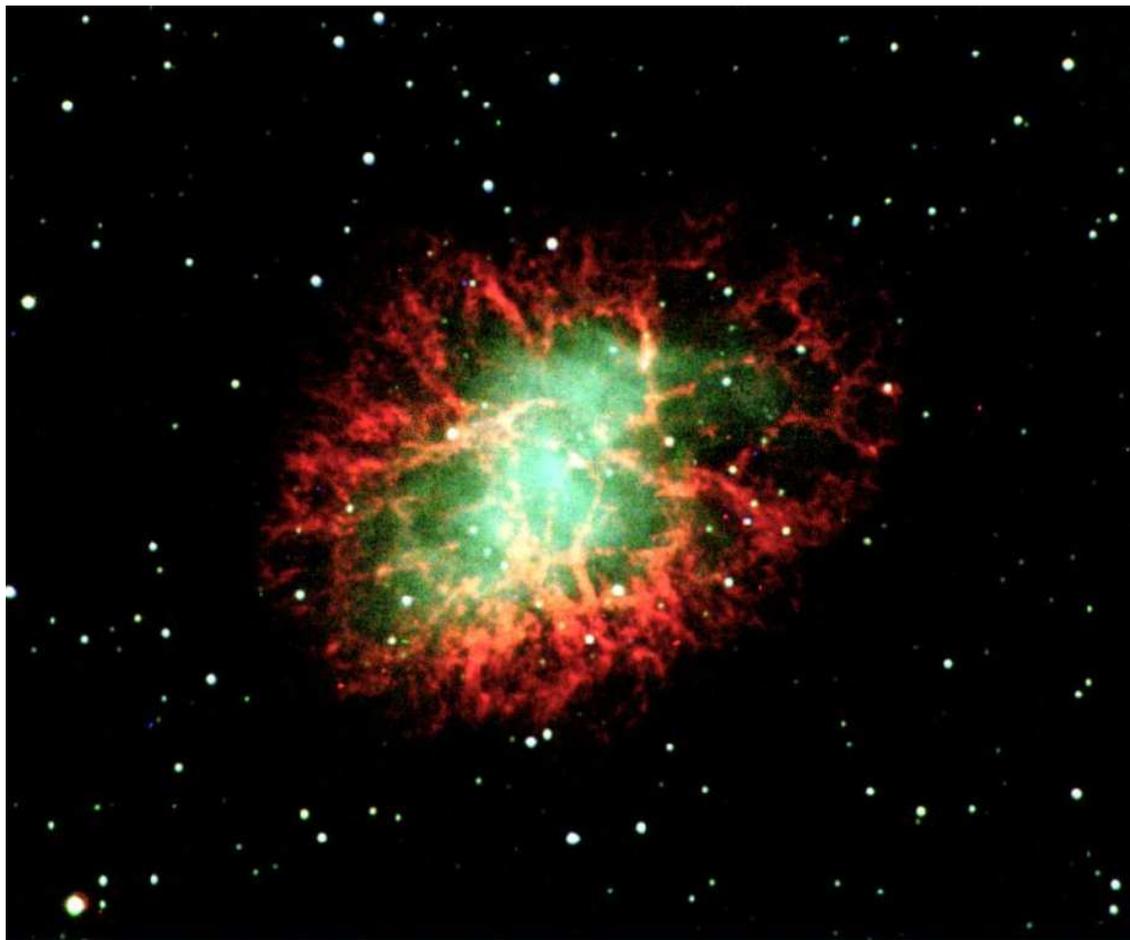
Beaucoup plus de sources visibles (basses fréquences).

Que peut-on apprendre ?

Les *supernovæ*

Les ondes gravitationnelles traversent les milieux les plus denses sans problème.

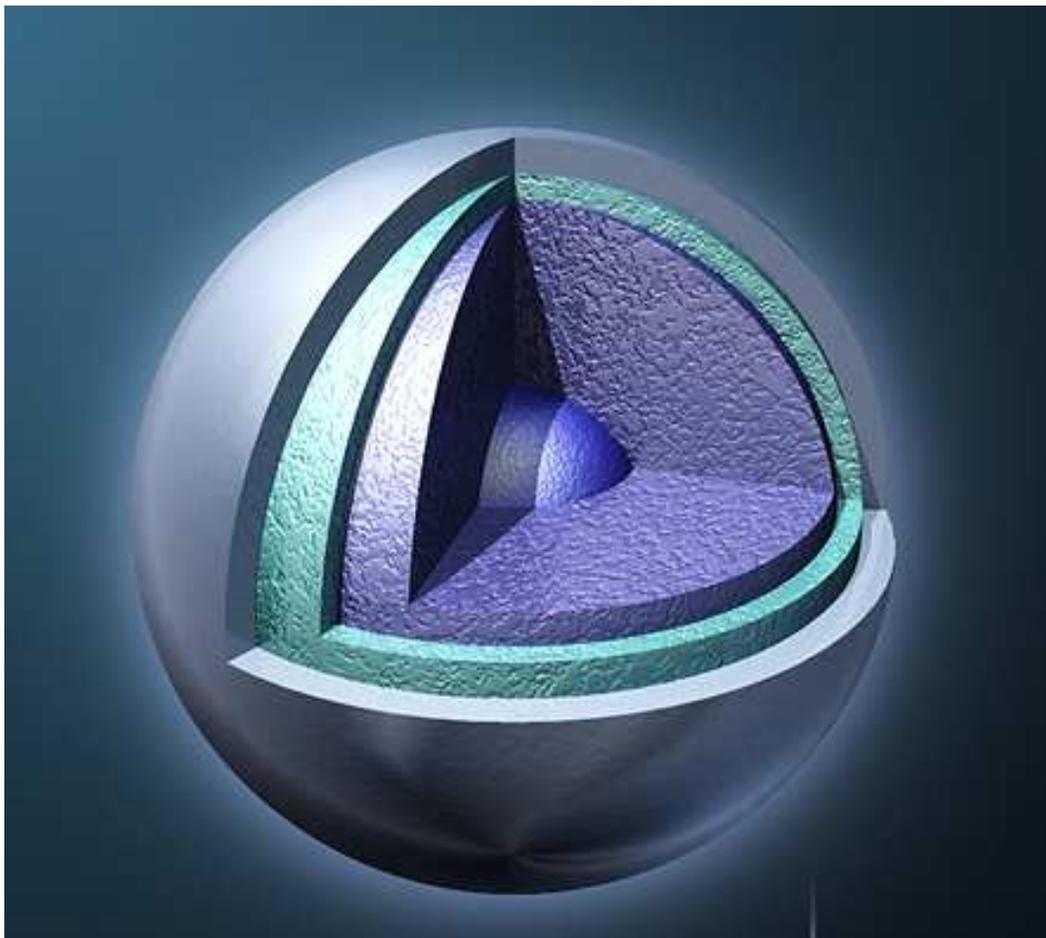
- que se passe-t-il au cœur d'une *supernova* ?
- comment naissent les étoiles à neutrons ?



Que peut-on apprendre ?

Les étoiles à neutrons

Les densités incroyables de ces astres rendent leur composition incertaine.

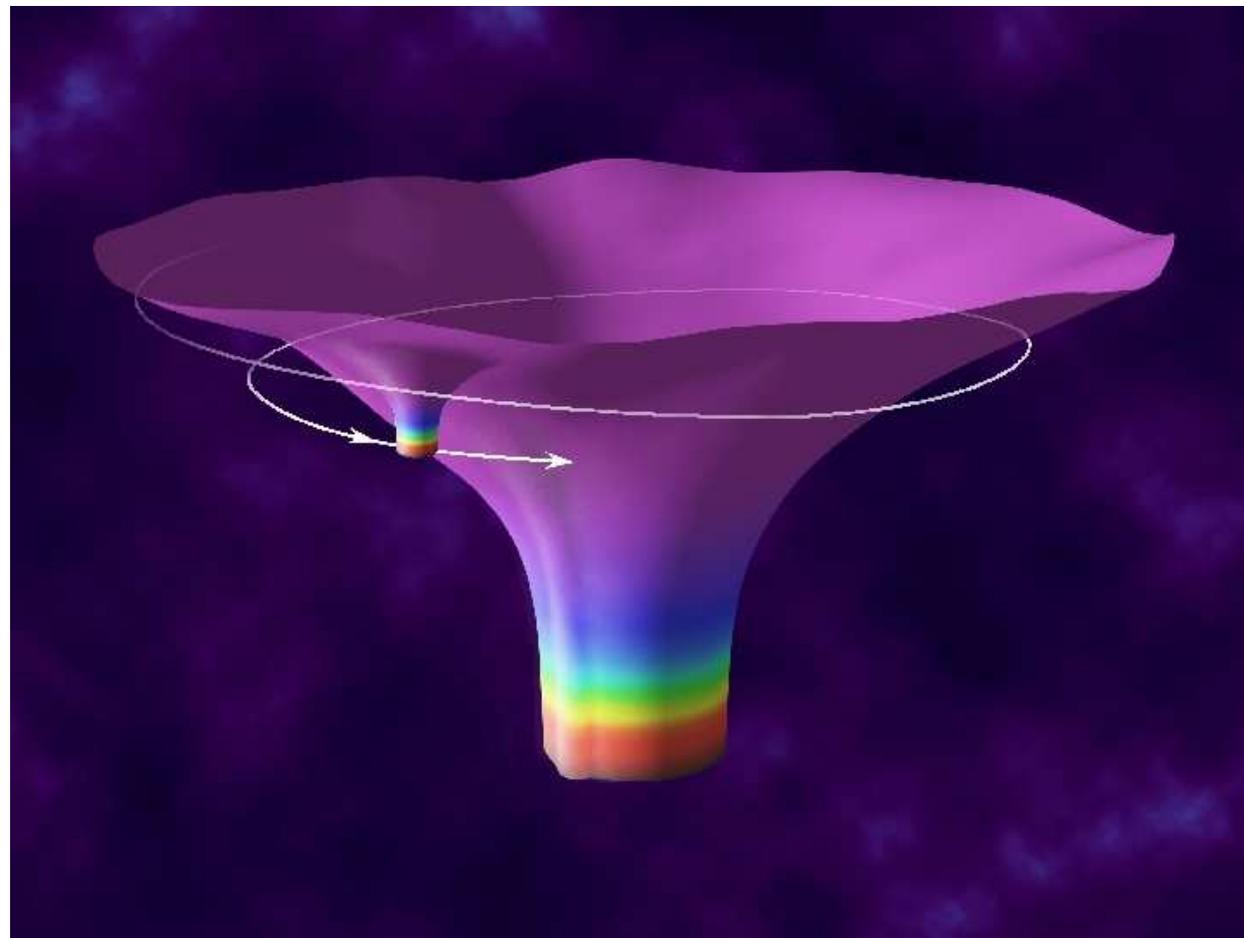


- comment vibre une étoile à neutrons ?
- comment se comporte la matière ultra-dense ?

Que peut-on apprendre ?

Les trous noirs

À quoi ressemble le voisinage d'un trou noir ?

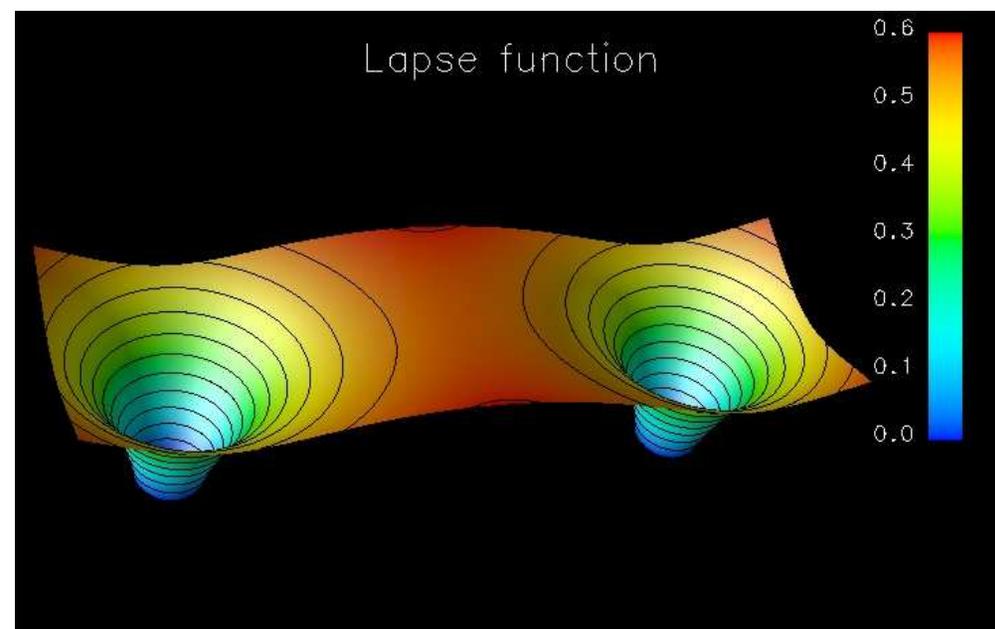
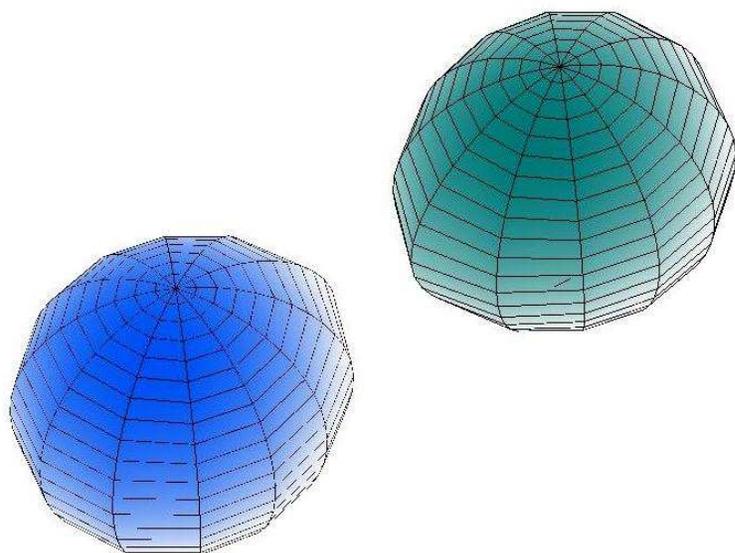


⇒ preuve définitive que les trous noirs sont comme nous nous les représentons...

Que peut-on apprendre ?

Les binaires

Deux étoiles à neutrons



ou deux trous noirs,

tournant l'un autour de l'autre, se rapprochant jusqu'à fusionner...

⇒ événements catastrophiques rares, mais très riches en ondes gravitationnelles,

⇒ informations sur le nombre de tels "couples" et ainsi sur la vie des étoiles,

En bref : c'est nouveau !

- nouveaux messagers provenant des objets les moins bien connus de l'Univers ;
- nouveau type de physique, avec de nouvelles équipes se mettant en place partout dans le Monde ;
- nécessité d'accomplir des prouesses technologiques ("un atome sur la distance Terre-Soleil") ;
- des détecteurs qui viennent d'être construits.

... et peut-être des surprises ...

