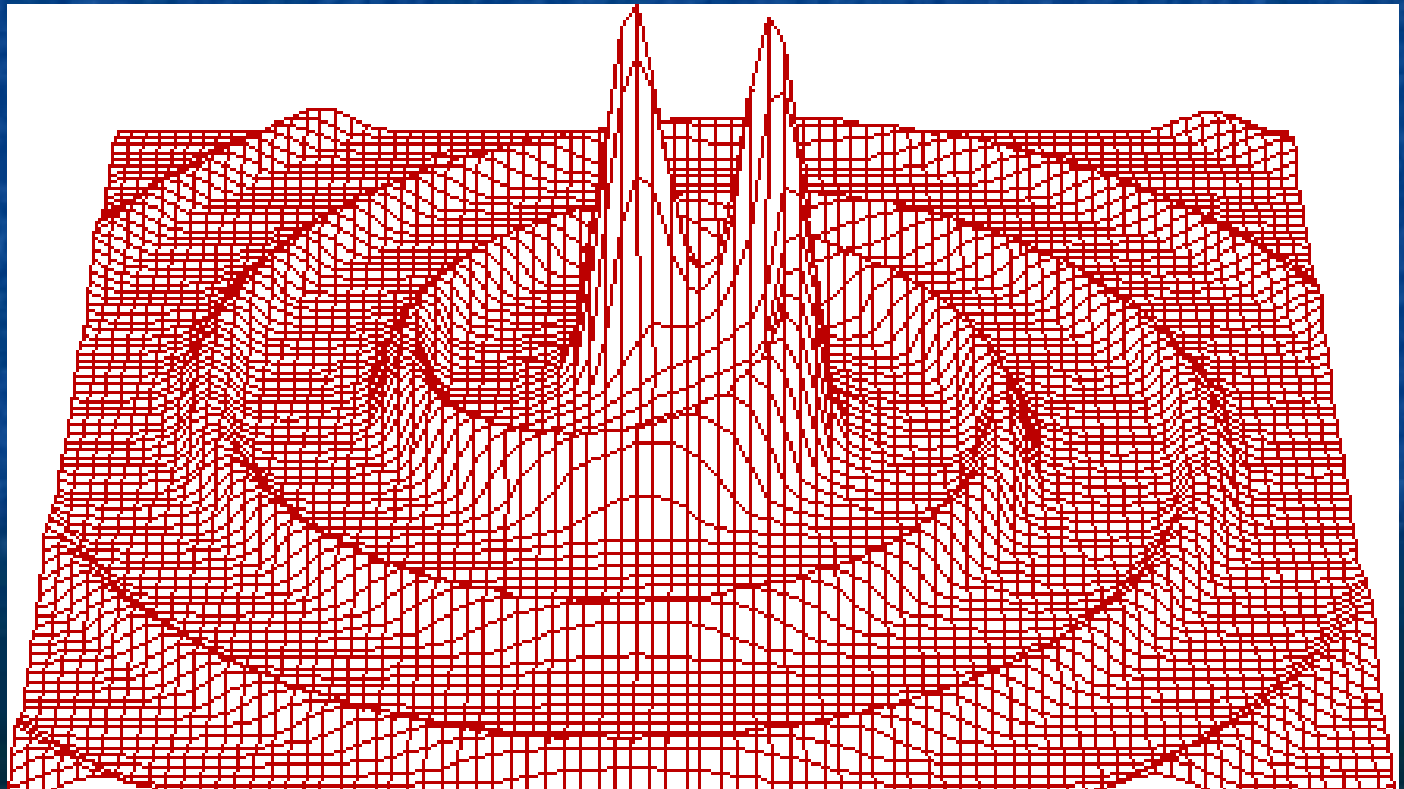
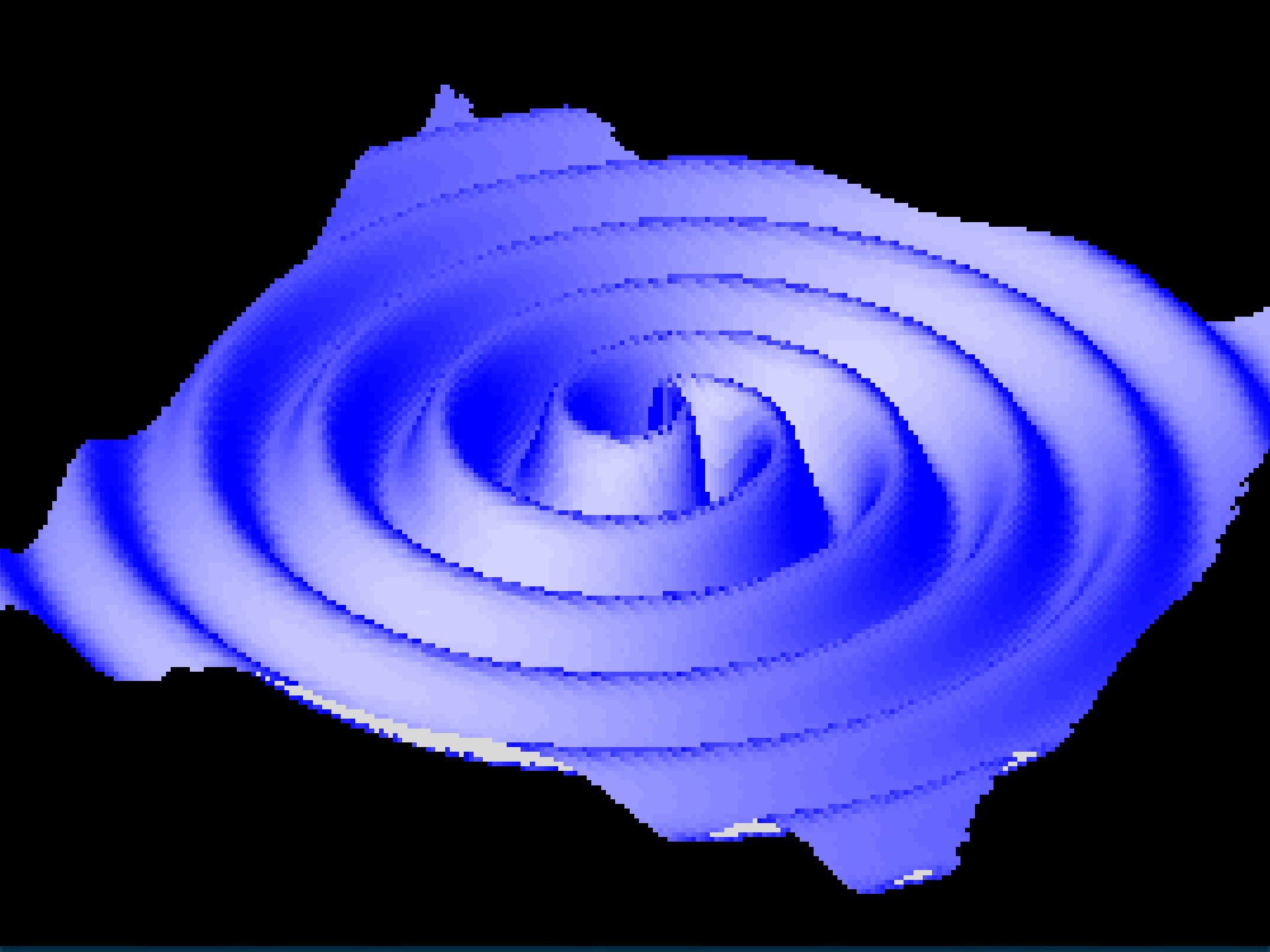


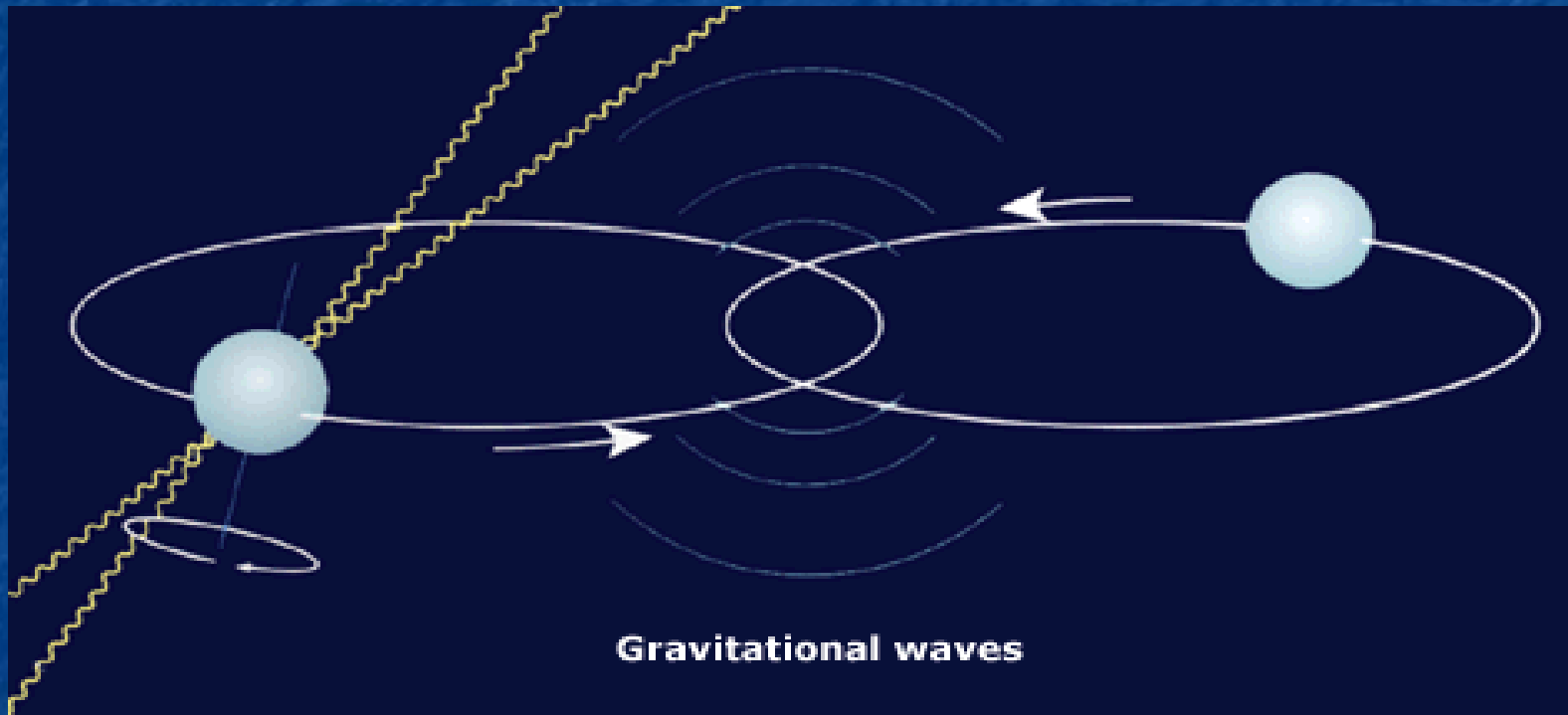
Ondes gravitationnelles

- Petites perturbations dans la courbure de l'espace-temps, générées par le mouvement de masses





Ondes gravitationnelles par le pulsar PSR1913+16



$$P=27906.9807807(9) \text{ s}$$

$$dP/dt= -2.425(10) 10^{-12}$$

- Pulsars sont des horloge naturels d' une stabilité intrinseque exceptionnelle.
(Au moins comparable aux horloges atomiques)
- Les résidues temporels sont influencés par des effets relativistes divers
(e.g. Roemer, Einstein and Shapiro time delays)

- Le fit de la formule du timing (après 27 ans d'observations!), permet de déterminer les paramètres keplerien avec une très bonne précision:

$$a_1 \sin i = 2.341774(1) \text{ s}, \quad e = 0.6171338(4)$$

$$T_0 \text{ (MJD)} = 46443.99588317(3), \quad \omega = 226.57518(4) \text{ deg}$$

$$P = 27906.9807807(9) \text{ s}$$

- 3 paramètres post-keplerien:

$$d\omega/dt = 4.226607(7) \text{ deg/yr}, \quad \dot{\omega} = 0.004294(1)$$

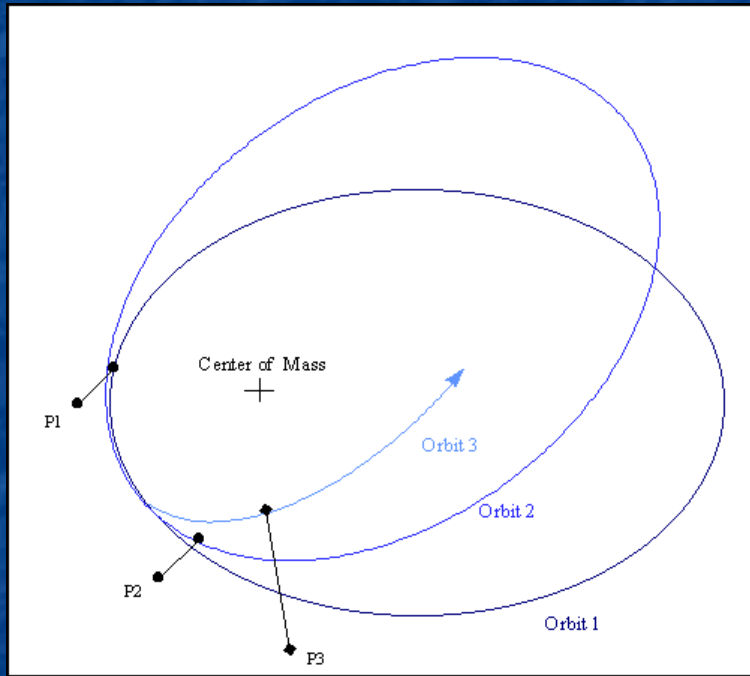
$$dP/dt = -2.4211(14) \times 10^{-12}$$

- $d\omega/dt$, $\dot{\varphi}$ fixé par la RG en fonction des masses m_p et m_c

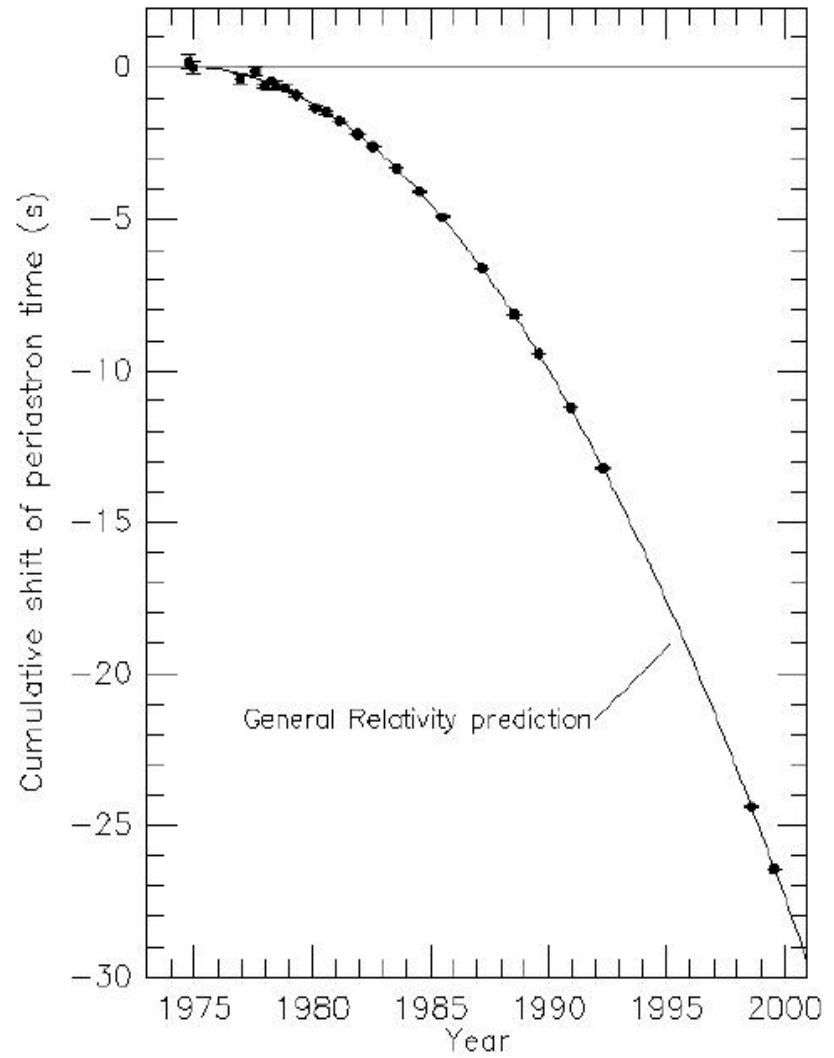
- dP/dt fixé par la formula du quadrupole pour l'émission d'ondes gravitationnelles.

- $\dot{\varphi}$ $m_p = 1.4408(3) M_S$, $m_c = 1.3873(3) M_S$

$$(dP/dt)_{\text{exp}} / (dP/dt)_{\text{GR}} = 1.002 \pm 0.005$$



Hulse-Taylor,
Nobel Prize 1993

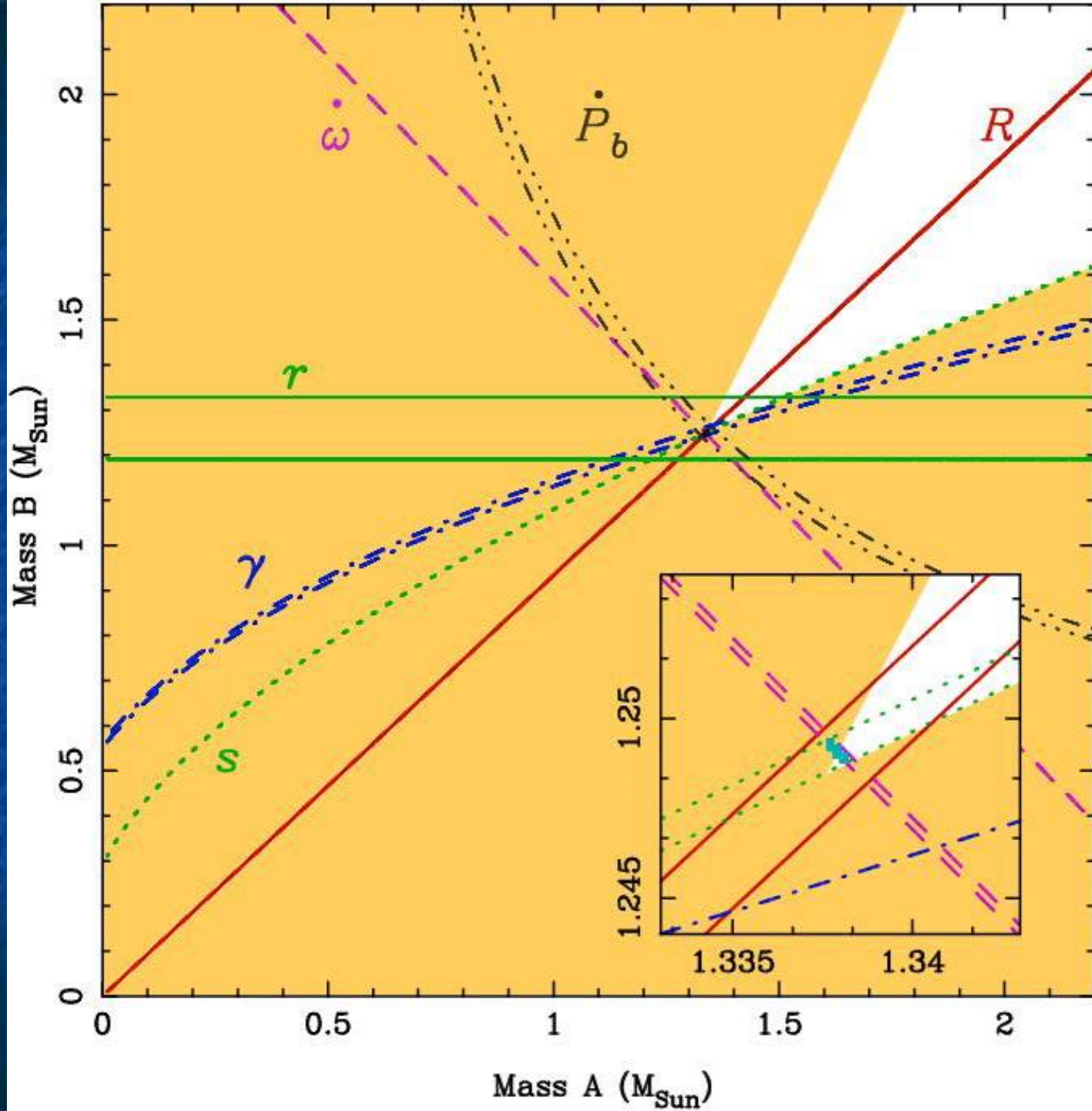


double pulsar PSR J0737-3039

- deux étoiles à neutron, détectées comme pulsars
- période de l'orbite 2.4 hr !
- presque 'edge-on' (Shapiro delay)
- pulse étroit, faible mouvement propre , $d=500$ pc petites corrections dues à accélération différentielle de la galaxie).

5 paramètres post-Keplerien mesurés

après juste 2.5 ans de données, test de la RG au niveau de 0.05%, beaucoup mieux que le pulsar de Hulse-Taylor



What we learn from this

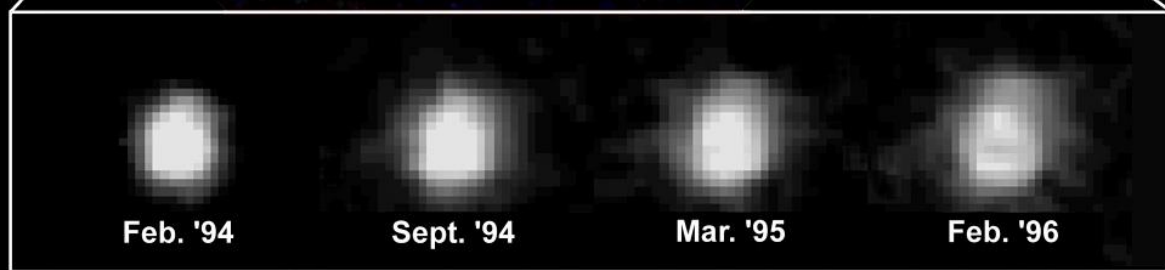
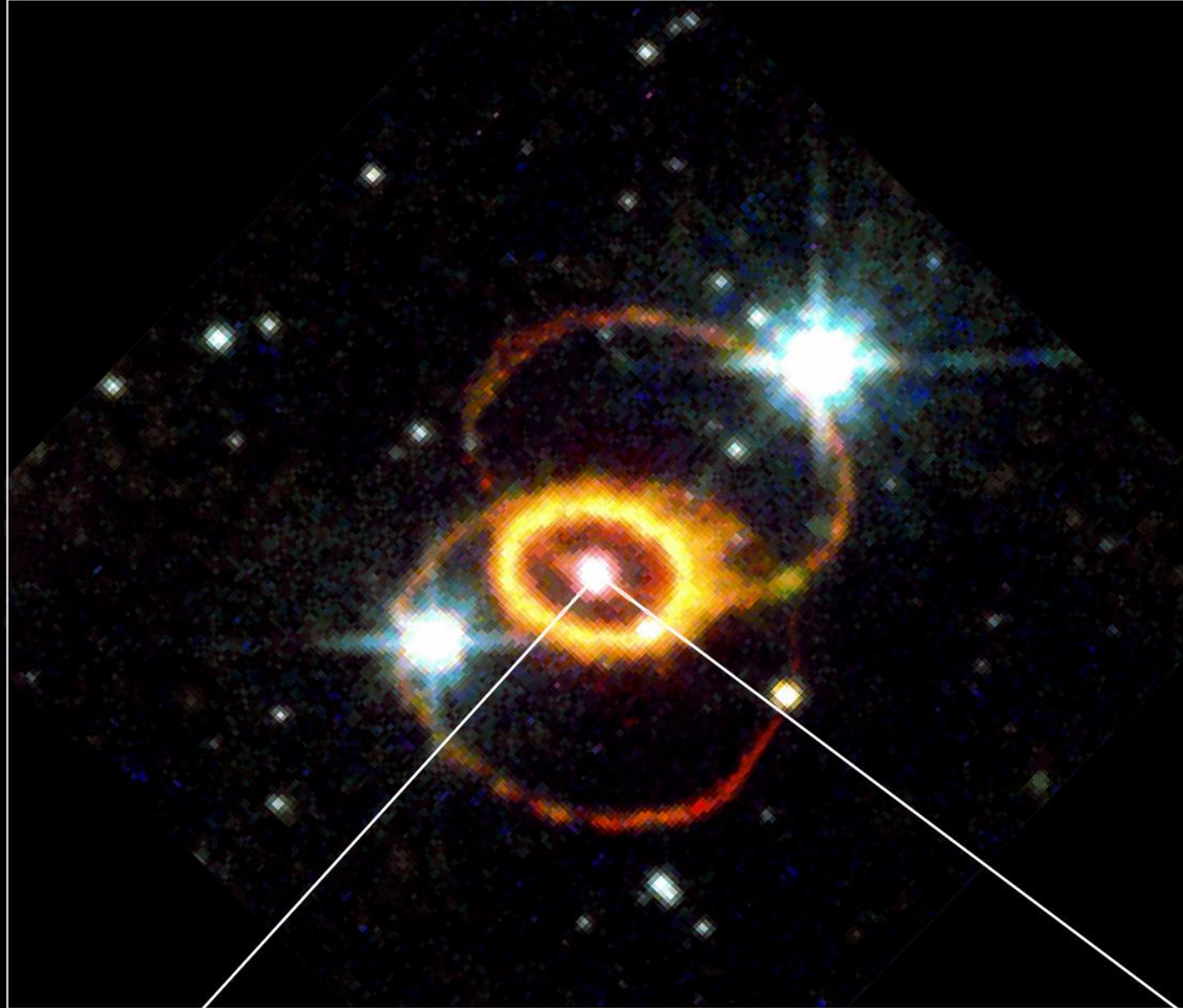
- **GWs exist !** (Not obvious theoretically until the 1950s)
- **We are able to compute their emission,** even when the sources have strong gravitational fields
- **We understand how GWs backreact on the sources**

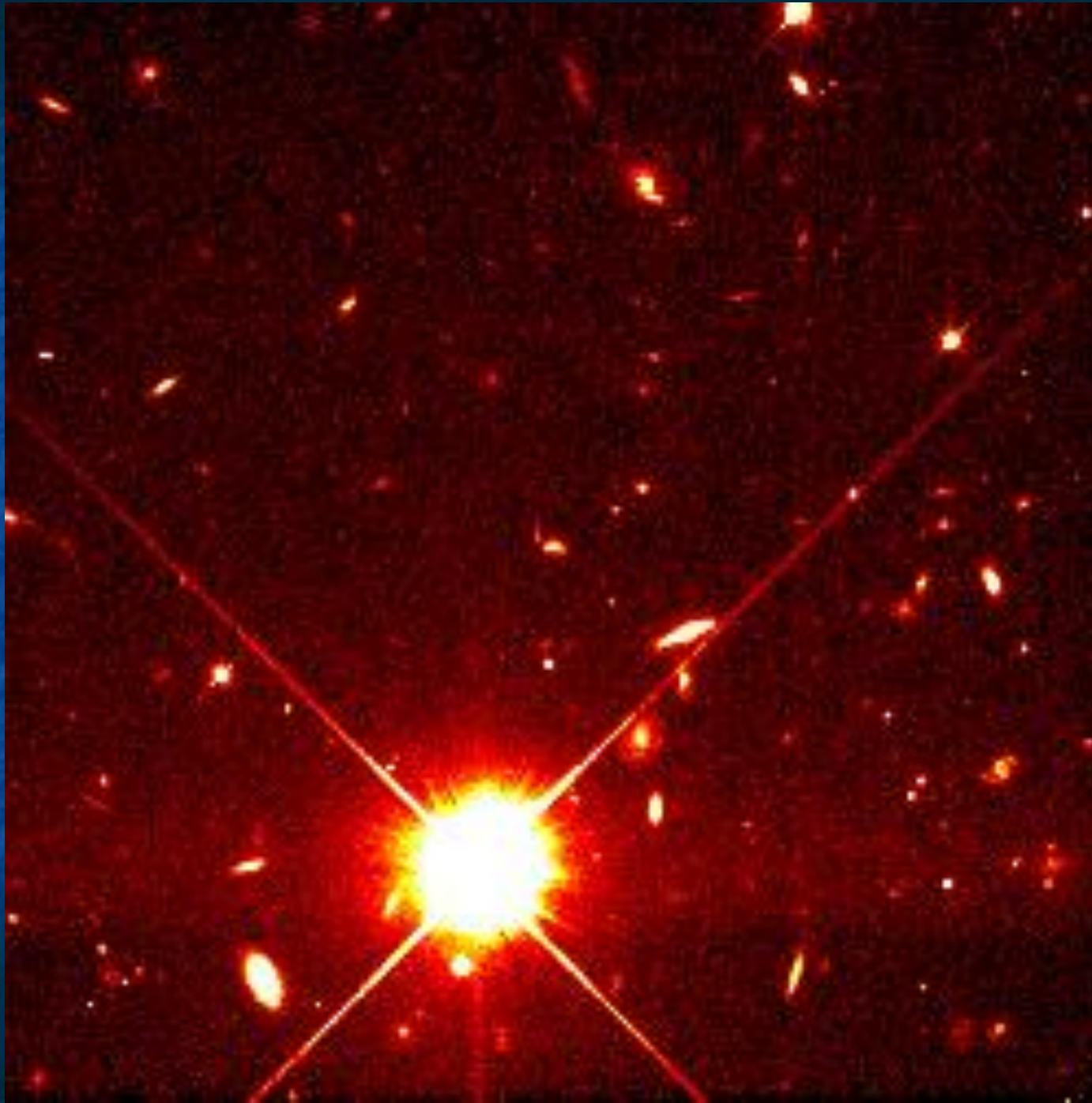
Not obvious theoretically (because of the non-linearity of GR) until the 1980s-1990s

La gravitation est la plus faible des forces.
Pour produire des OG mesurable, il faut
des événements **titanesques**...

...qui, d'un autre côté, ne sont pas si rares
dans l'Univers

SN1987A

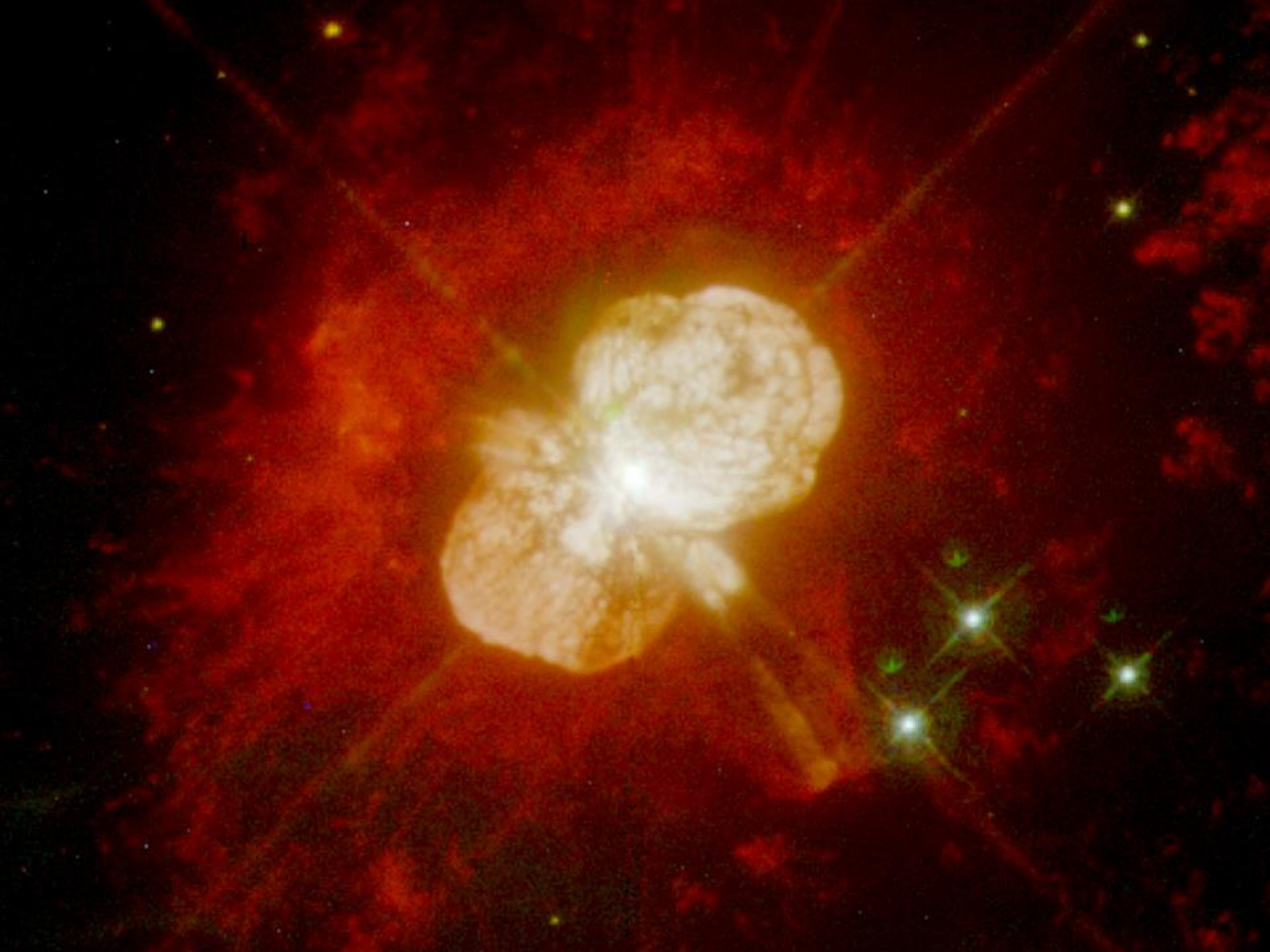


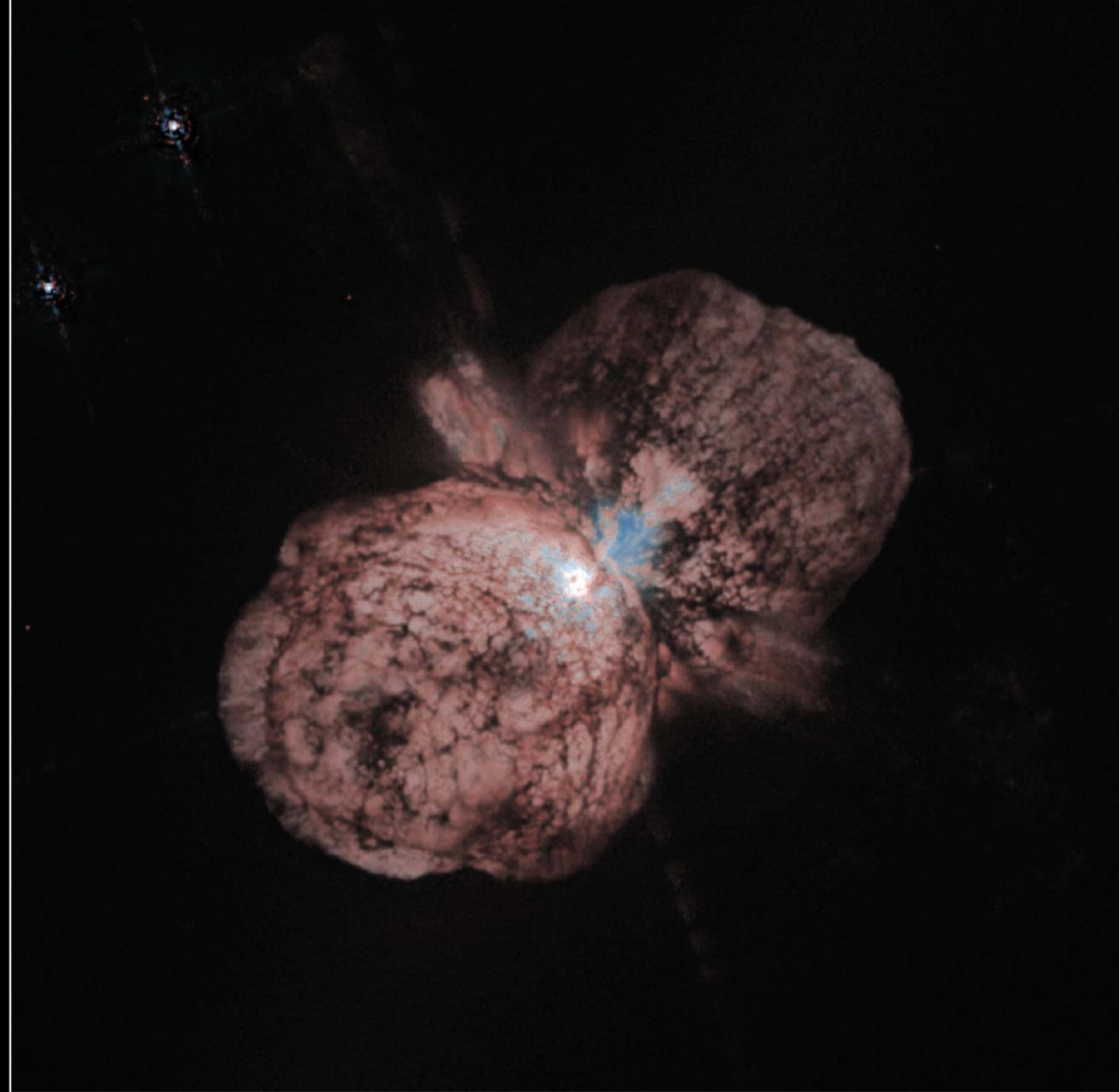


Supernova
1997ce
Très loin:
5 milliard a.l.



Nébuleuse
NGC3372





Dans la Voie Lactée,
à 9000 a.l.

En 1840 elle avait rivalisé
en brillance avec Sirius,
l' étoile la plus lumineuse
du ciel

Largeur de l' image env.
1 a.l.

Vitesse du gaz: 700km/s
 $1 \text{ a.l.} / (700 \text{ km/s}) \approx 150 \text{ ans}$

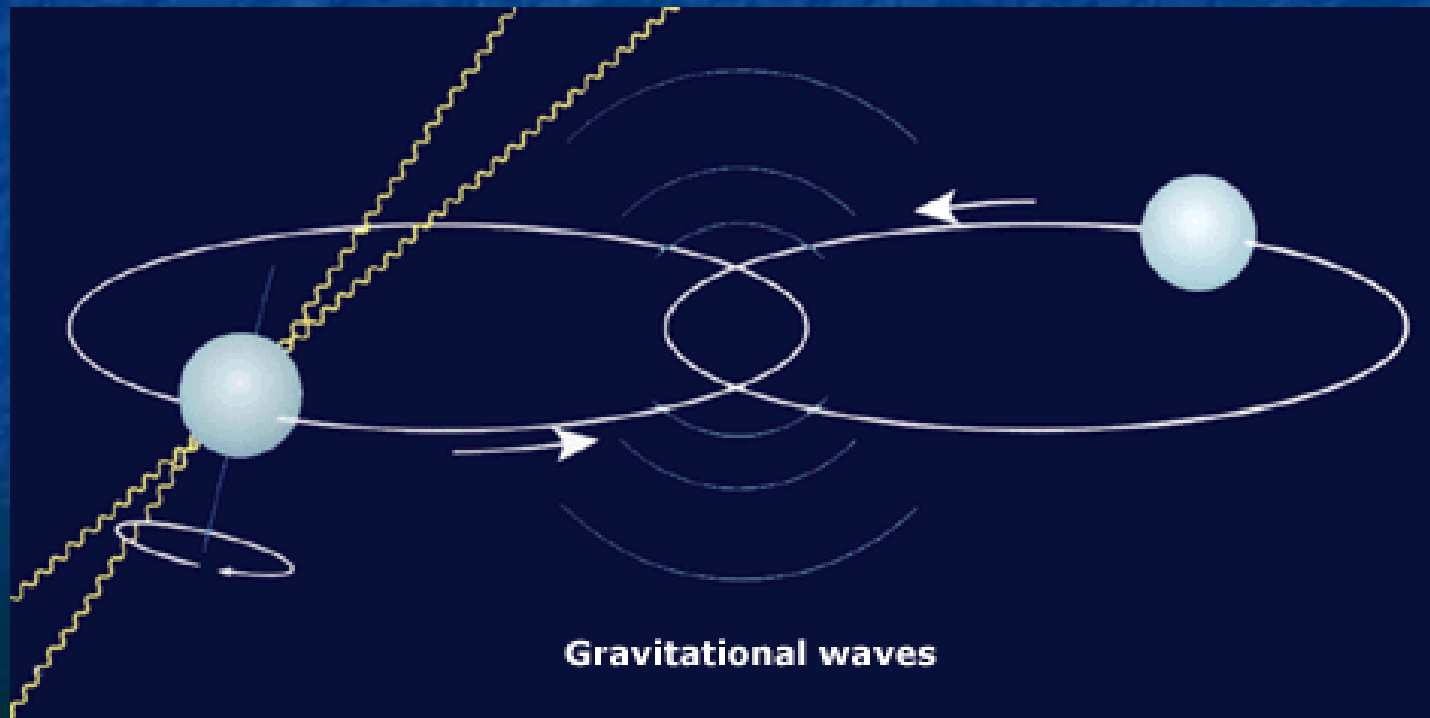
C' est un objet très
énigmatique:
une future supernova?

Eta Carinae

Hubble Space Telescope • WFPC2

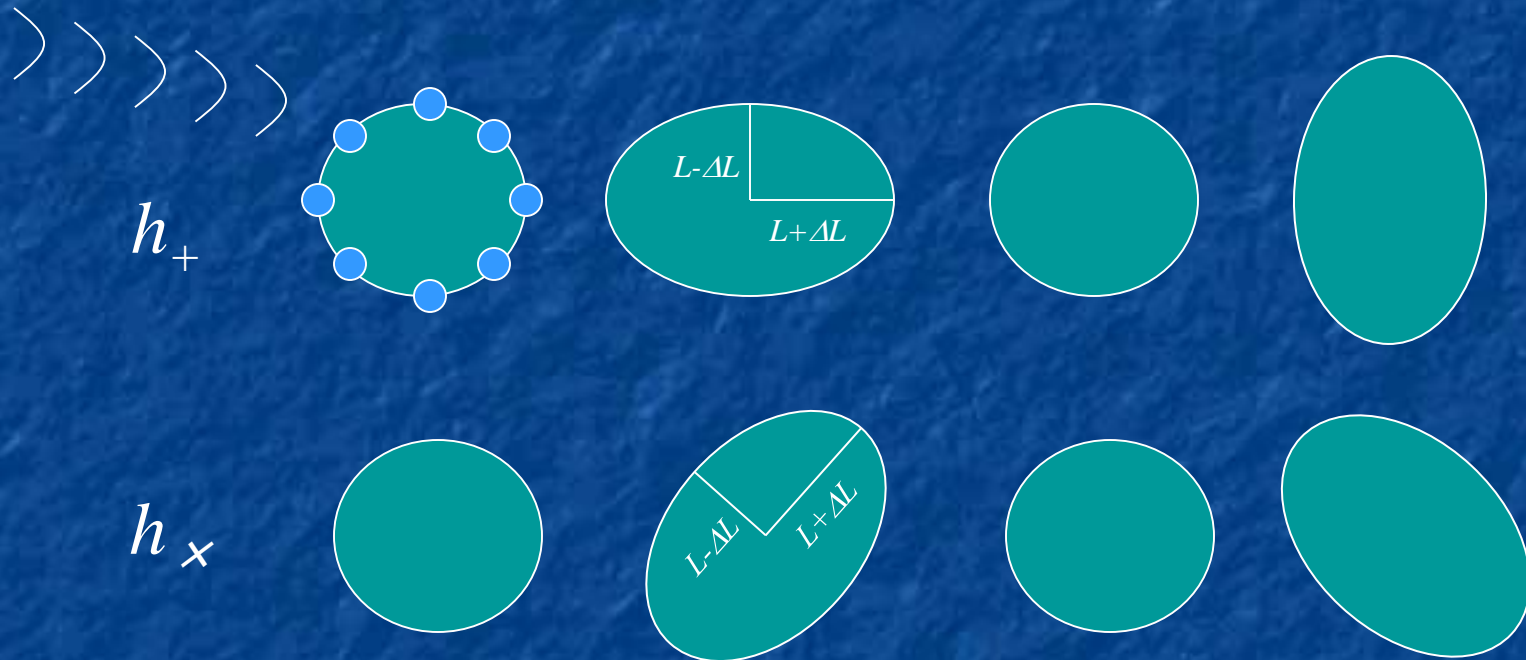
Une autre source très puissante d'ondes gravitationnelles:

l'explosion d'un système binaire
de deux étoiles à neutron





La détection des ondes gravitationnelles



$$DL = \frac{1}{2} hL$$

Un schéma de détection

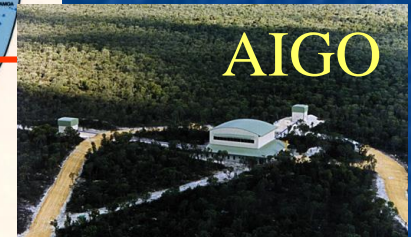
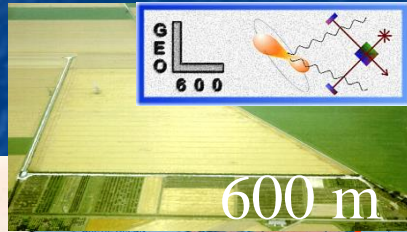
- Interféromètre:



$\Delta L \approx 10^{-16} \text{ cm} \approx 10^{-3} \text{ noyaux atomique!!}$

Après plus de 20 ans de préparation, des expériences de ce type sont entrées en fonction

- **VIRGO** (Italie et France, à Pise) et **LIGO** (USA)
 - Longueur de bras 3km (Virgo), 4 km (LIGO)
 - Longueur effective: **plusieurs centaines de km**
 - **Laser très puissant**, et techniques pour amplifier la lumière à l'intérieur des bras
 - **Isolation sismique extrême**



June 1998

Boundary representation is not necessarily authoritative.

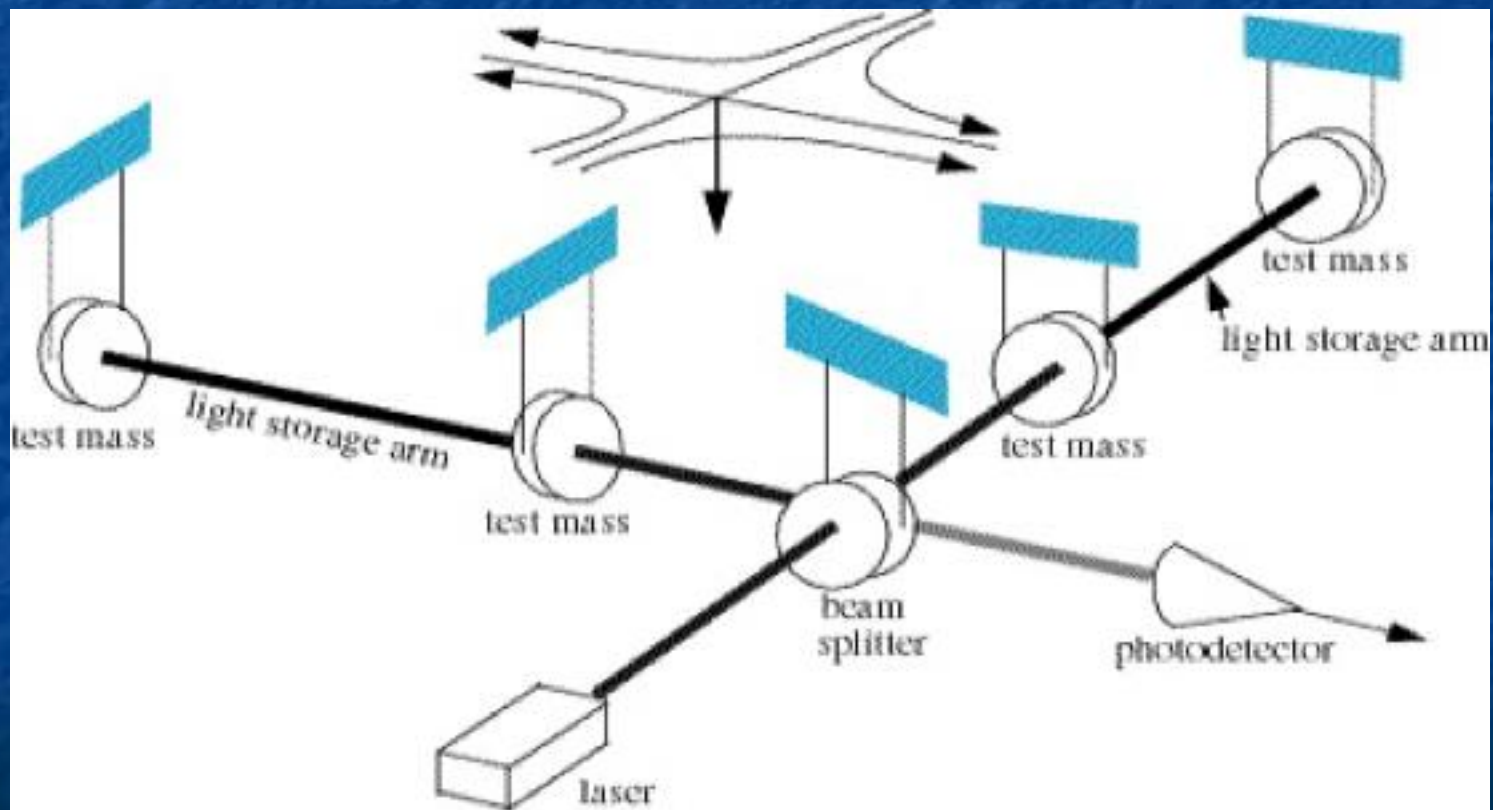
802599 (R00352) 6-98

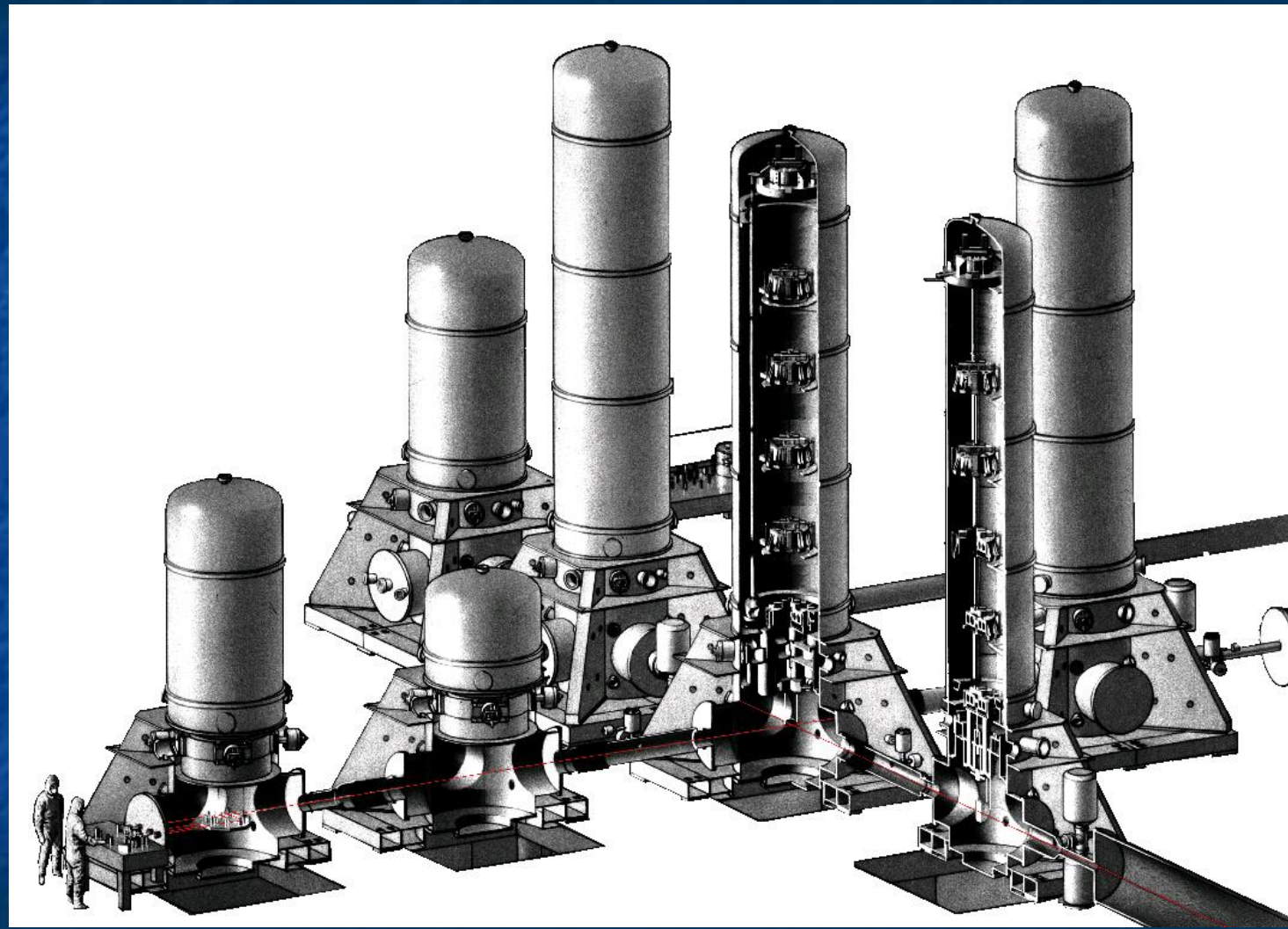
VIRGO

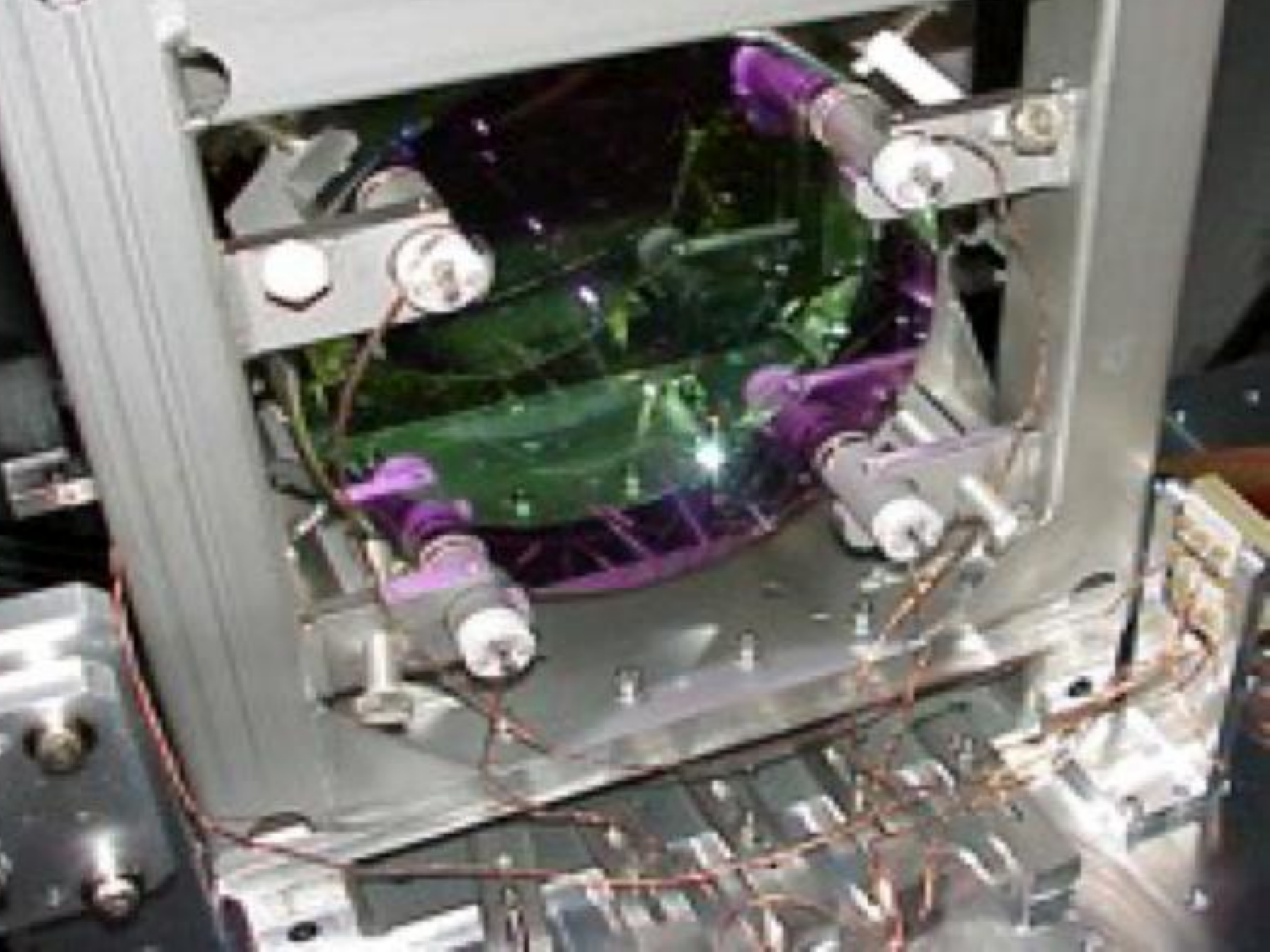


LIGO, Livingstone site



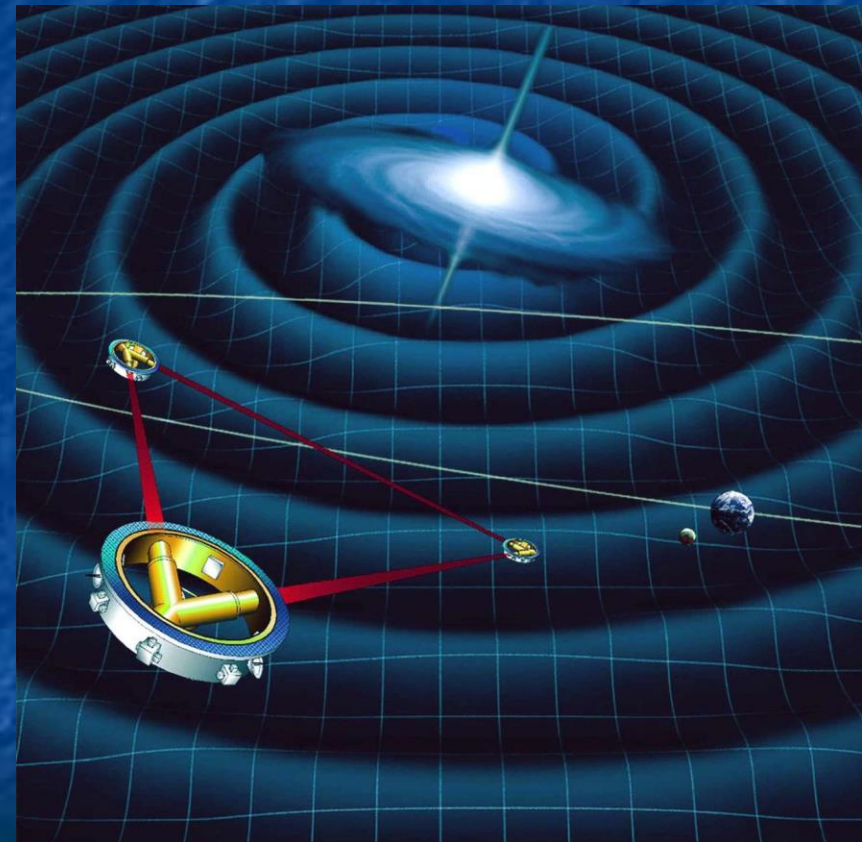


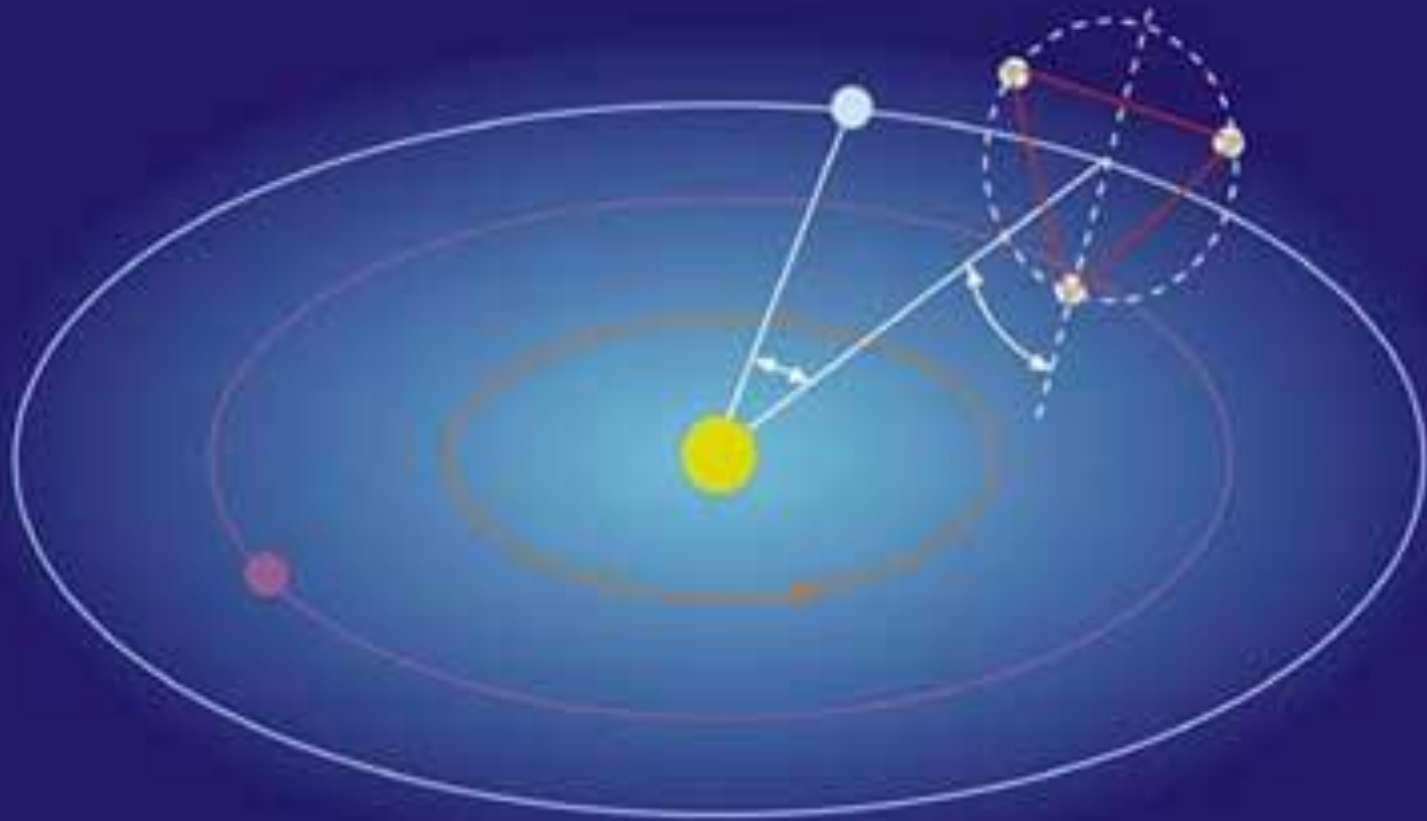




Le futur: LISA

- Interféromètre dans l'espace
 - ESA
 - si approuvé lancé en 2020 ?
 - pas de bruits sismiques
 - bras de 5 millions de km !!!
 - sensibilité exceptionnelle
 - cherche les OG de petites fréquences





Bras: 5Mkm

distance Terre-Soleil: 150 Mkm

Spacecraft #3

Secondaries

Spacecraft #2

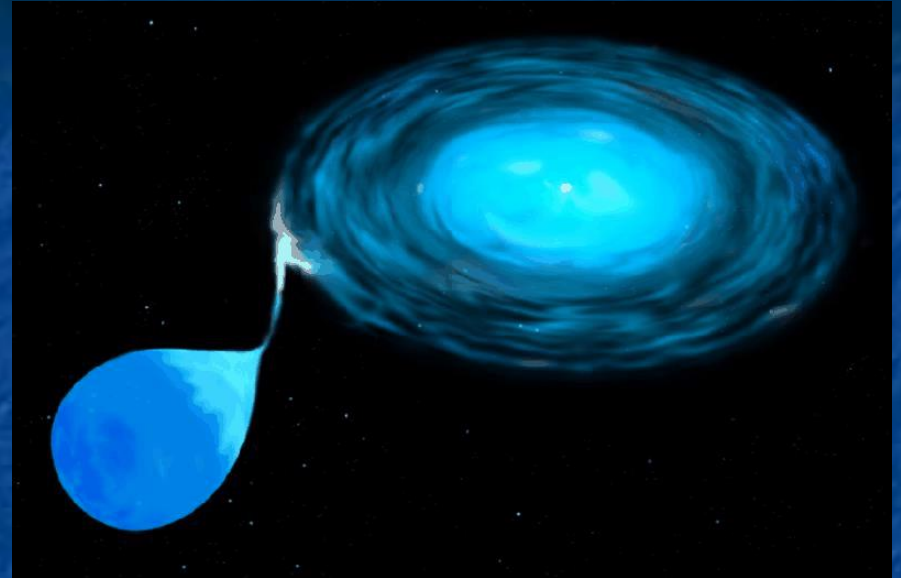


Main
Spacecraft

Potentialities of LISA

Galactic Binaries:

SNR up to 500 in 1 year



Massive black hole binaries from merging galaxies cores

SNR up to 2000 in one year at $z \approx 1 - 3$

Angular resolution few' -few^o

