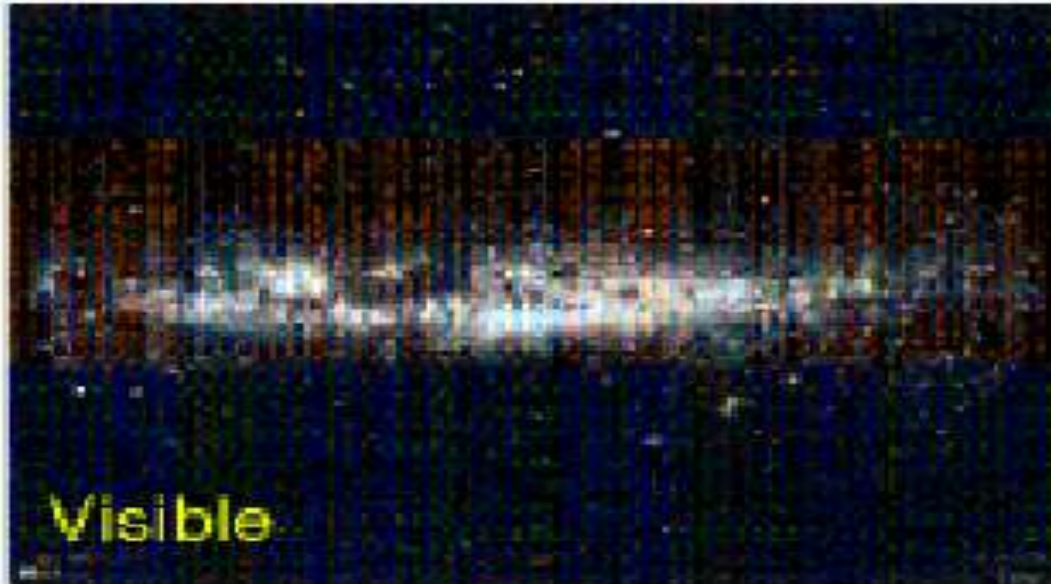


LISA

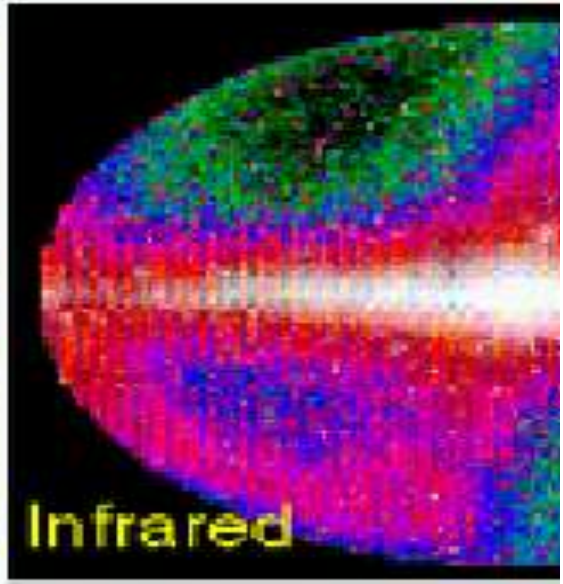
- Motivations et principe de détection
- Défis scientifiques et techniques
 - (liens avec la géodésie)
 - Mission
 - Senseurs inertiels
 - Interférométrie
 - Traitement des données
- Agenda-Organisation

Motivations

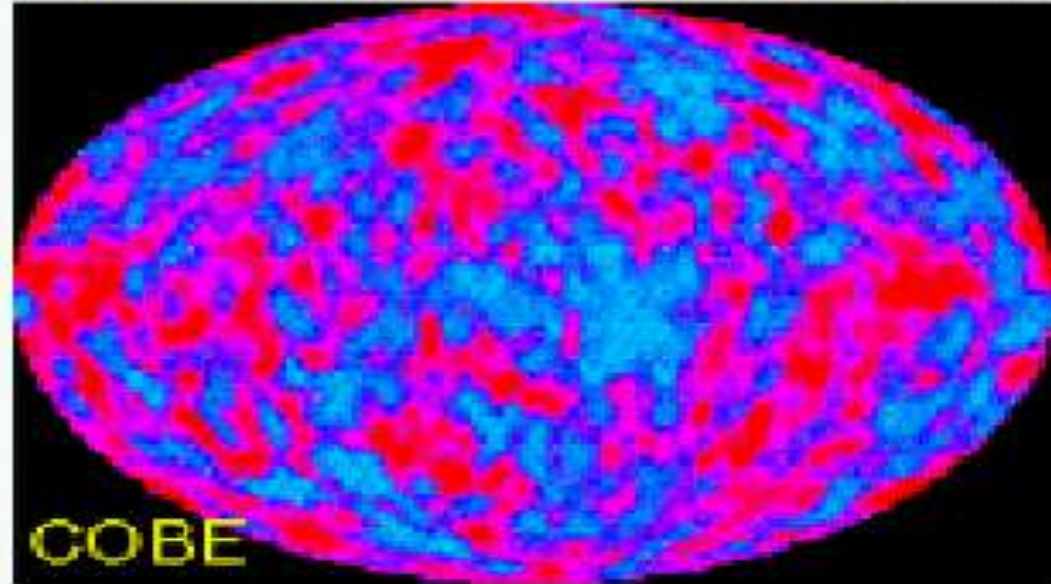
- Une nouvelle vision de l'Univers
 - Faible interaction → Transparence
 - Nouveau vecteur → Nouveaux émetteurs
- Univers primordial
 - Fond stochastique $t=10^{-32}$ s
- Trous noirs massifs et supermassifs
- Théorie de la gravitation (R.G. et autres)
 - Sources connues, signaux calculables



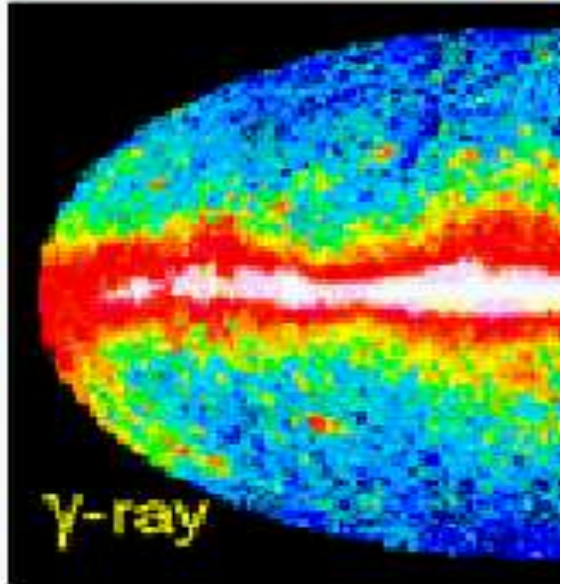
Visible



Infrared



COBE



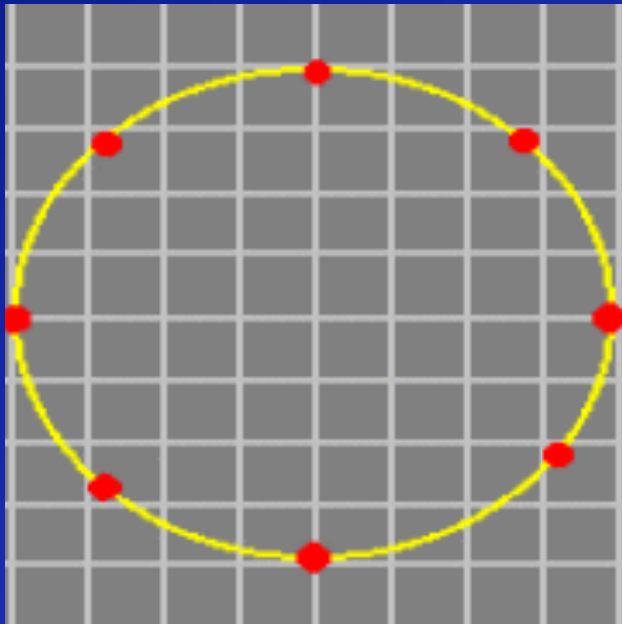
γ-ray

1-



t
B

Ondes de Gravitation ?



*Action sur un réseau circulaire
de masses libres*

Une prédiction de la Relativité Générale:

- distorsion de l'espace-temps par des masses en mouvement
- propagation par ondes transverses (spin 2)

Sources d'O.G.:

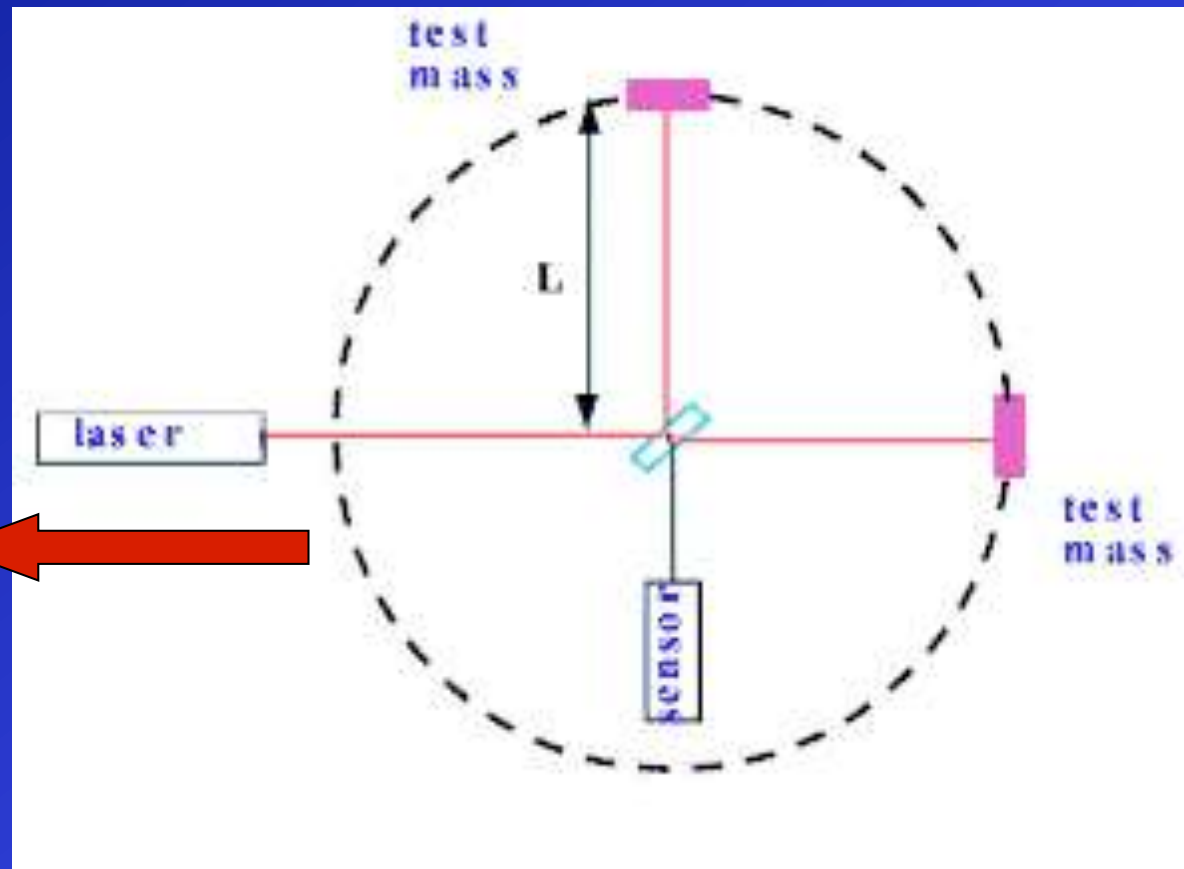
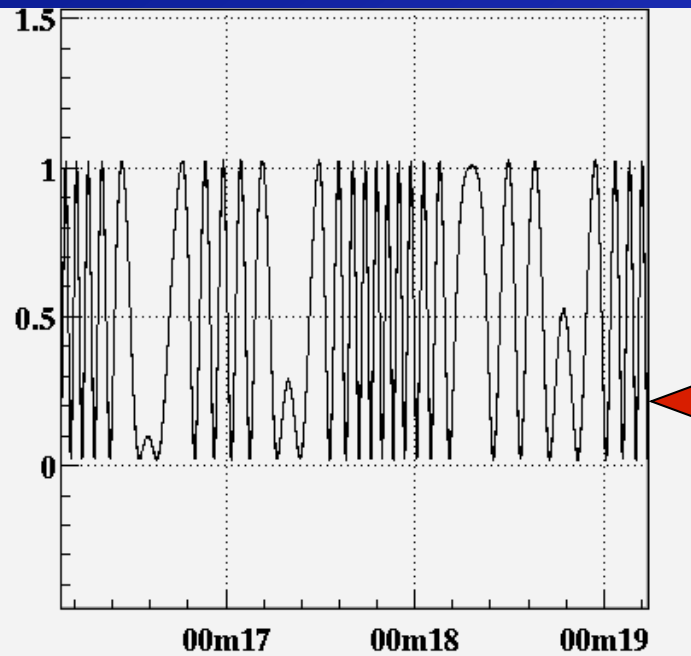
- Objets denses, étoiles à neutrons, trous noirs
- Mouvement rapide, collision, coalescence
- Asymétrie, moment quadrupolaire

Existence:

- vérification indirecte

Détection par un interféromètre de Michelson

Franges d'interférence



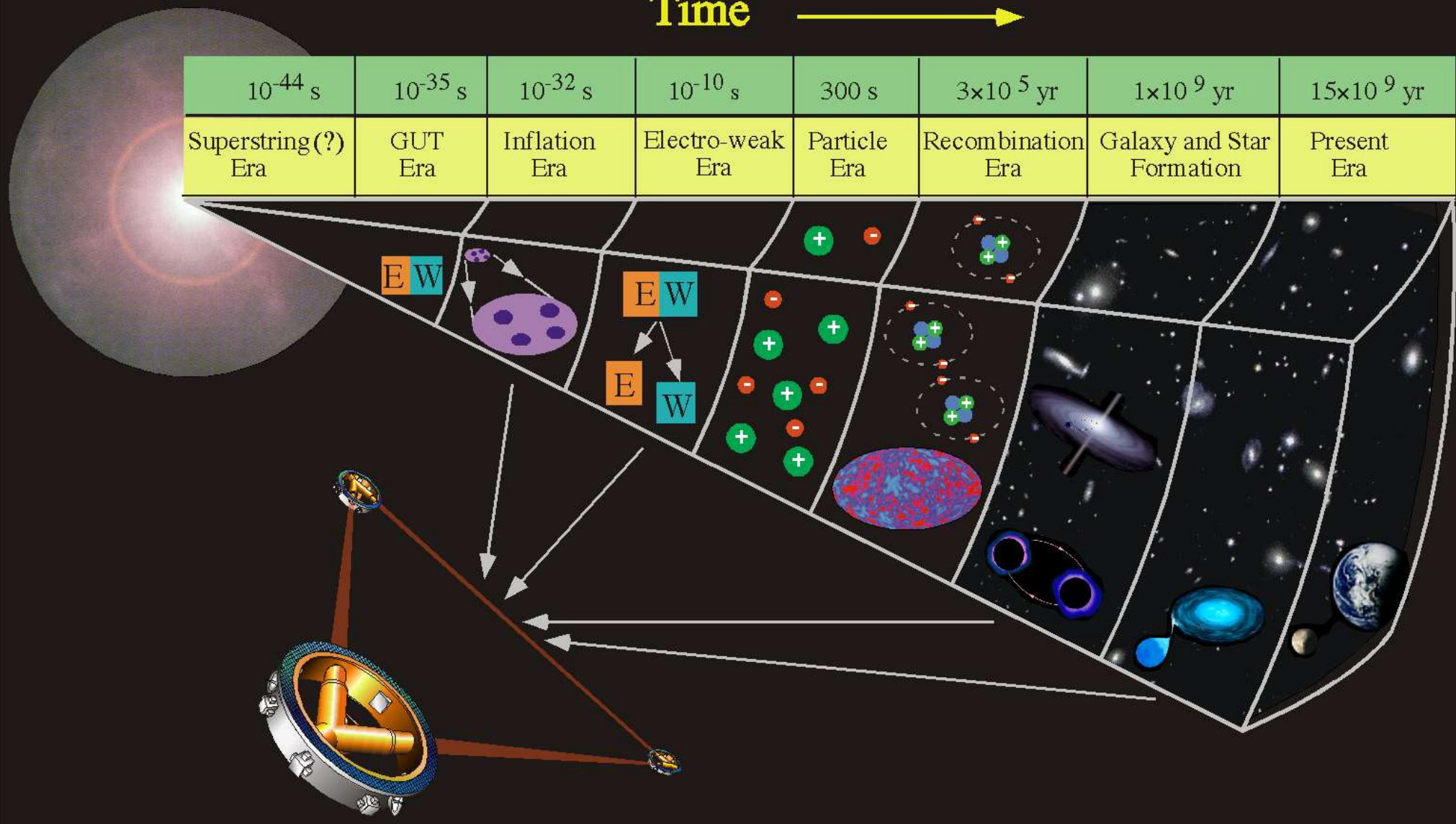
La mission LISA

- 3 satellites, distance $5 \cdot 10^6$ km
- Durée: > 5 ans
- 6 liens laser
 - Redondance → évaluation des bruits
 - Résolution angulaire (1° ?)
- Principe de détection:
 - GW = variation anisotrope de l'indice du vide
 - Détection interférométrique:
$$\Delta\Phi = 2 \cdot \pi \cdot h \cdot L / \lambda < 10^{-4} \text{ rd.Hz}^{-1/2}$$

Big Bang

Time →

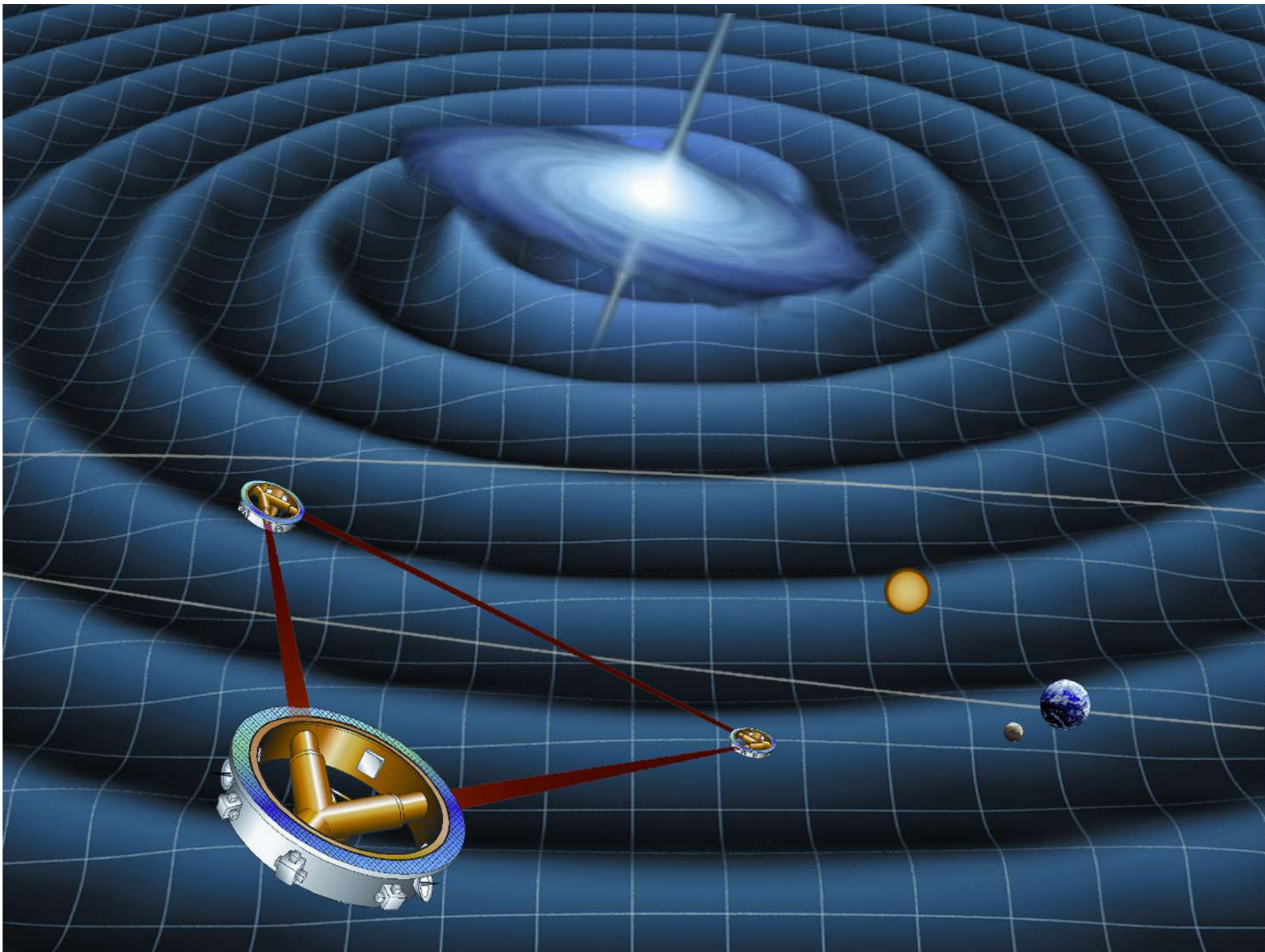
10^{-44} s	10^{-35} s	10^{-32} s	10^{-10} s	300 s	3×10^5 yr	1×10^9 yr	15×10^9 yr
Superstring (?) Era	GUT Era	Inflation Era	Electro-weak Era	Particle Era	Recombination Era	Galaxy and Star Formation	Present Era

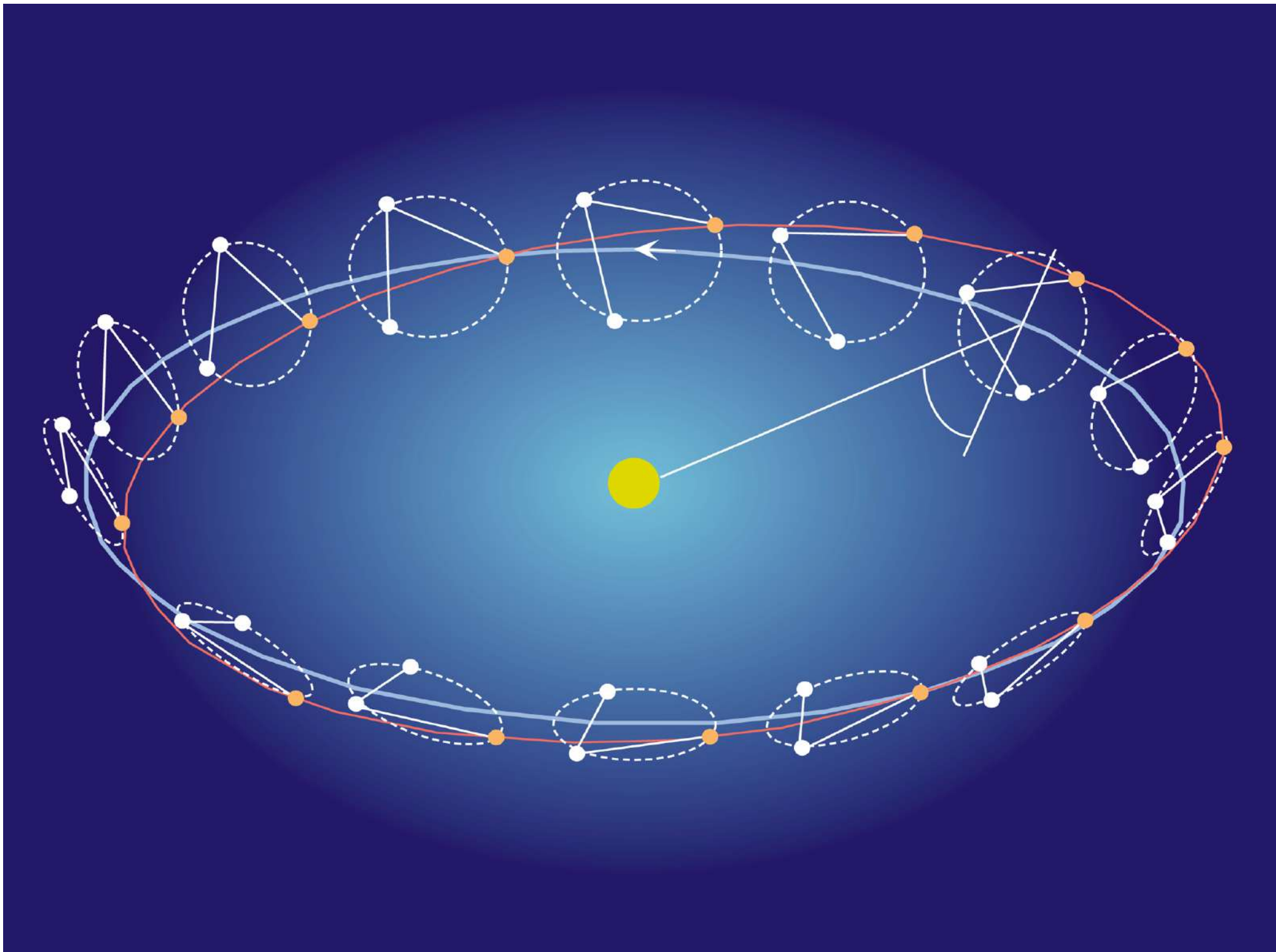


Science requirements

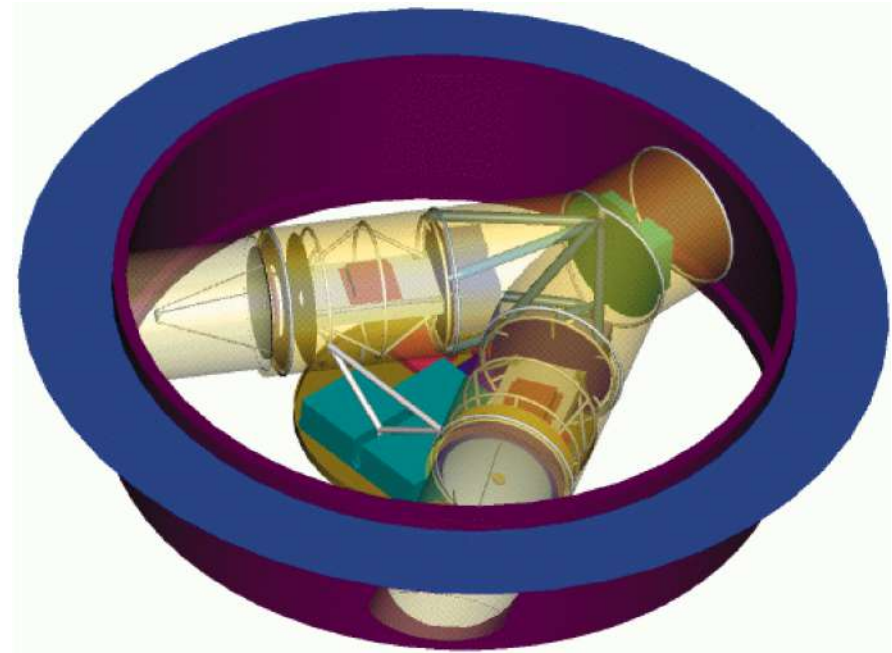
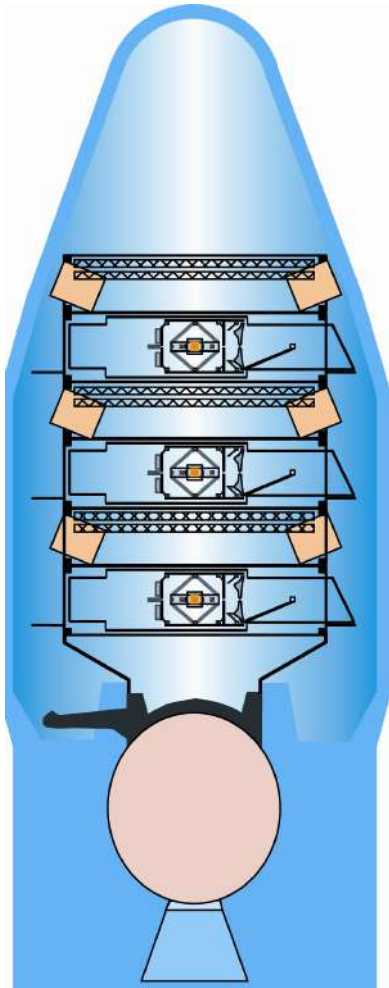
	0.1 mHz	1 mHz	5 mHz	10 mHz	0.1 Hz	Durée
Binaires galactiques	“	$3 \cdot 10^{-19}$	$3.5 \cdot 10^{-20}$	$4 \cdot 10^{-20}$	“	2 ans
Trous noirs supermassifs	$4 \cdot 10^{-17}$	$8 \cdot 10^{-19}$	$4 \cdot 10^{-17}$	“	“	5 ans
Intermediate mass/seed Black Holes	“	“	“	$2 \cdot 10^{-19}$	$7.5 \cdot 10^{-20}$	1 an
Capture gravitationnelle	“	$3 \cdot 10^{-19}$	$1 \cdot 10^{-20}$	$1.3 \cdot 10^{-20}$	“	3 ans

Objectif	10^{-20}	10^{-22}	$2 \cdot 10^{-23}$	10^{-23}	10^{-22}	5-10 ans
-----------------	------------	------------	--------------------	------------	------------	-----------------





Spacecrafts et configuration de lancement



1-Sep-04

LISA

Alain Brillet

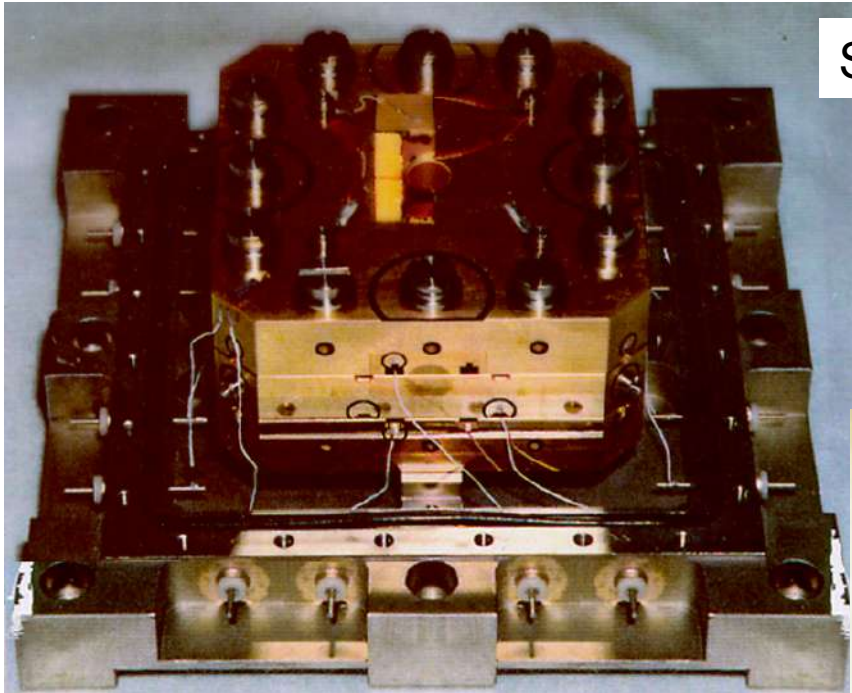
11

Défis technologiques

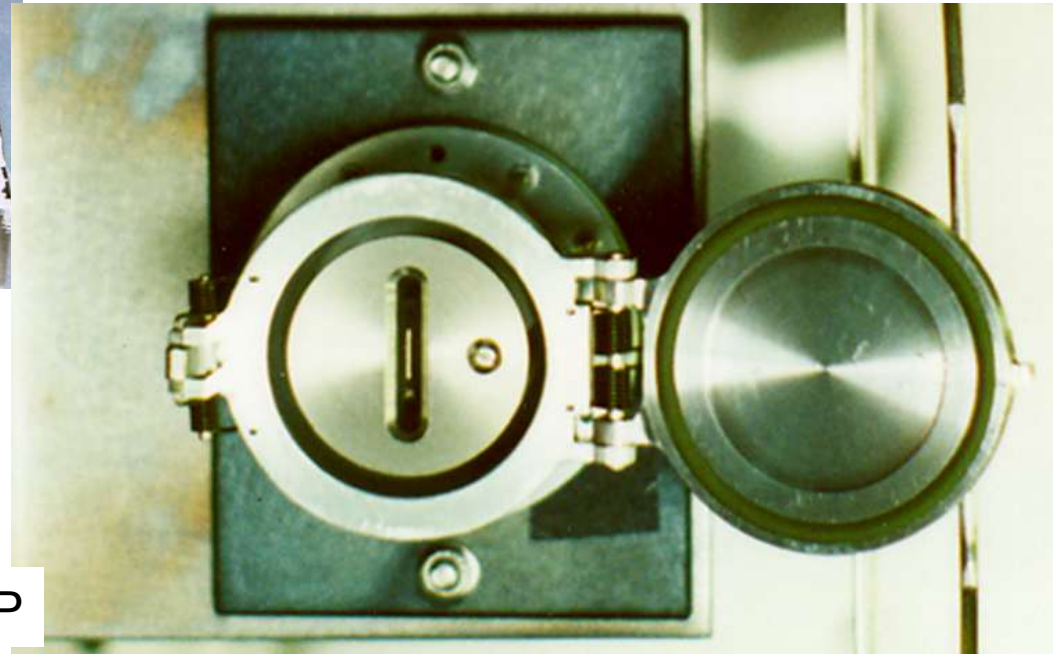
- **Senseurs inertiels et compensation de traînée**
 - Masse libre et senseur capacitif ou interférométrique
 - Micropropulseurs (FEEP, autres)
 - Contrôle multidimensionnel

(voir P.Touboul)

Prototypes



Senseur inertiell JPL (Stanford?)



Propulseur FEEP

1-Sep-04

LISA

Alain Brillet

13

Principe interférométrique

- 1 laser “maître”, pilotant 5 lasers asservis en phase avec “frequency offset”
- 1W émis, télescopes de 40 cm → 100pW détectés
$$\delta\Phi = (P/h\omega)^{1/2} = 4 \cdot 10^{-5} \text{ rd} \quad (\delta x = 10^{-11} \text{ m} \cdot \text{Hz}^{-1/2})$$
- Effets Doppler < 20 MHz (qques m/s)
(perturbations gravitationnelles)
- Modulation de phase
- Alignement automatique sur le faisceau détecté

Défis technologiques

- Interférométrie

- Phase optique: $\Phi = 2.\pi.L/\lambda = 3.10^{16}$ rd (+ ambiguïté)

- Bruit de mesure: $\delta\phi = (h\nu/P)^{1/2}$ rd.Hz^{-1/2}

- Sensibilité ultime:

$$h = \delta\phi / \Phi = 6. 10^{-22} \text{ Hz}^{-1/2} \text{ (P=100 pW)}$$
$$(6.10^{-23} \text{ sur 100s})$$

Bruit de fréquence: $\delta\phi/\Phi = \delta f/f_{\text{laser}}$

$\delta f/f_{\text{laser}} < 6. 10^{-22} \text{ Hz}^{-1/2}$? → impossible !

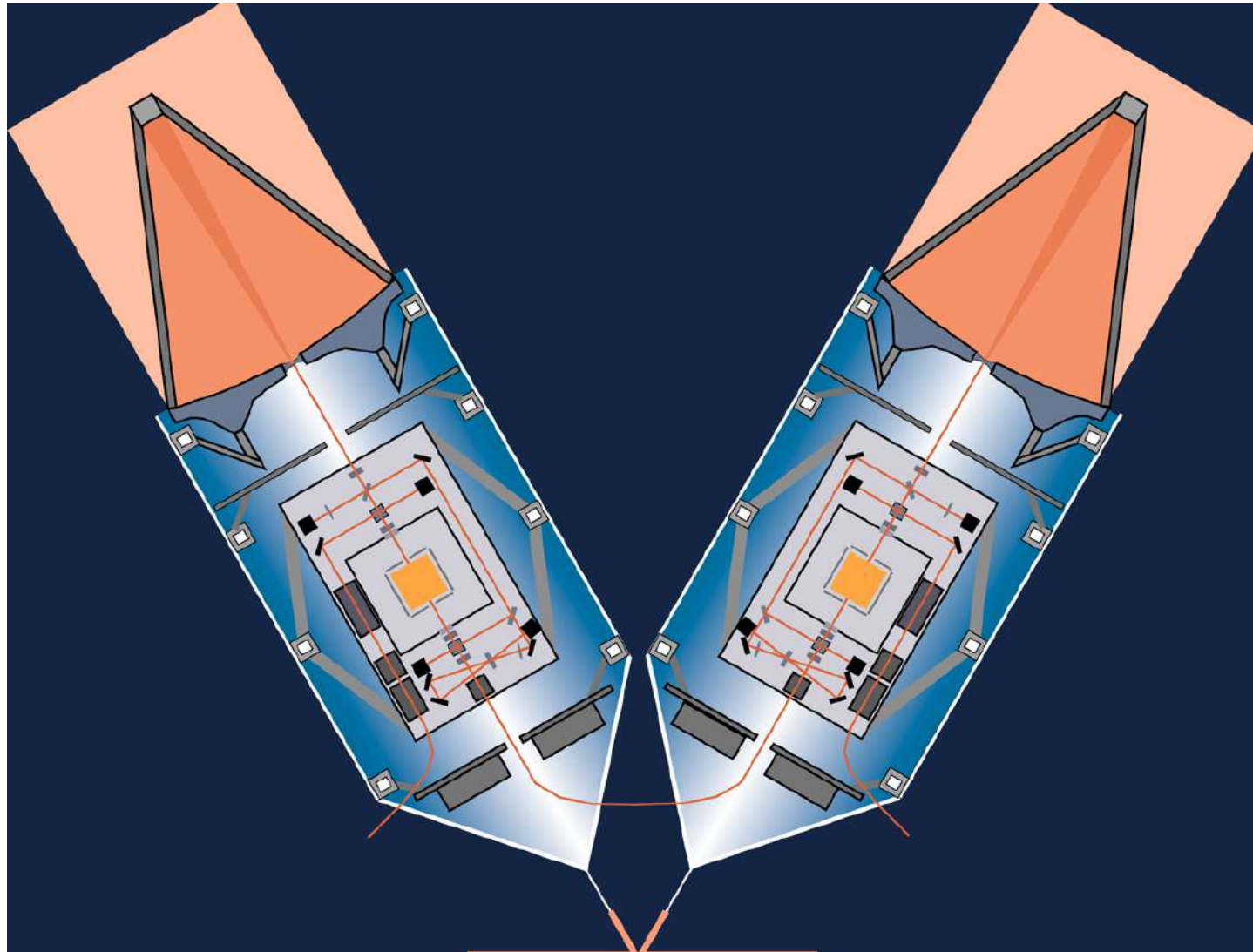
Méthode différentielle : $\Phi_{\text{diff.}} = 2.\pi.(L1-L2)/\lambda$

Déterminer L1-L2 à mieux que 100m

$$\rightarrow \delta f/f > 6. 10^{-22} . 5. 10^9 / 100 = 3. 10^{-14} \text{ Hz}^{-1/2}$$

(difficile, mais possible)

Systeme interferométrique



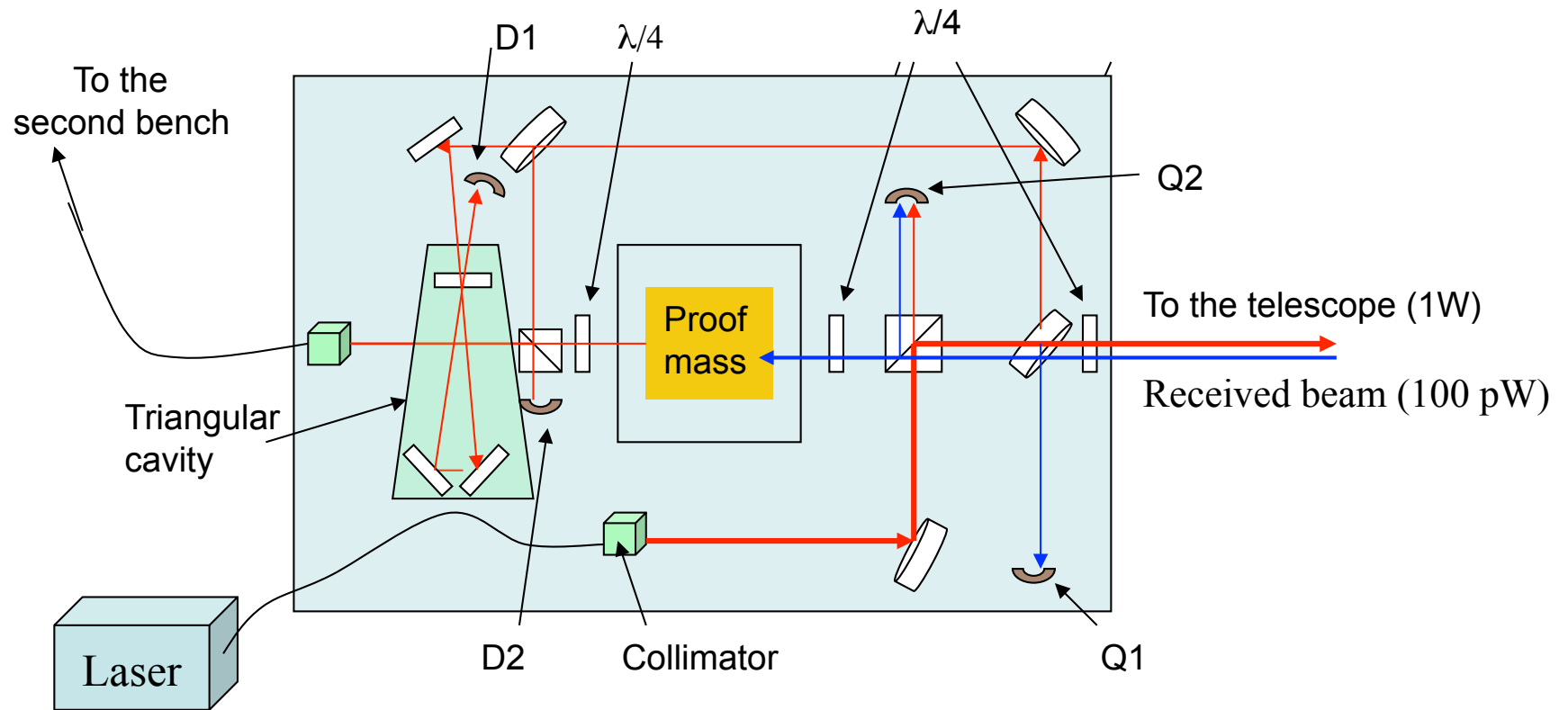
1-Sep-04

LISA

h Brillet

16

Banc optique



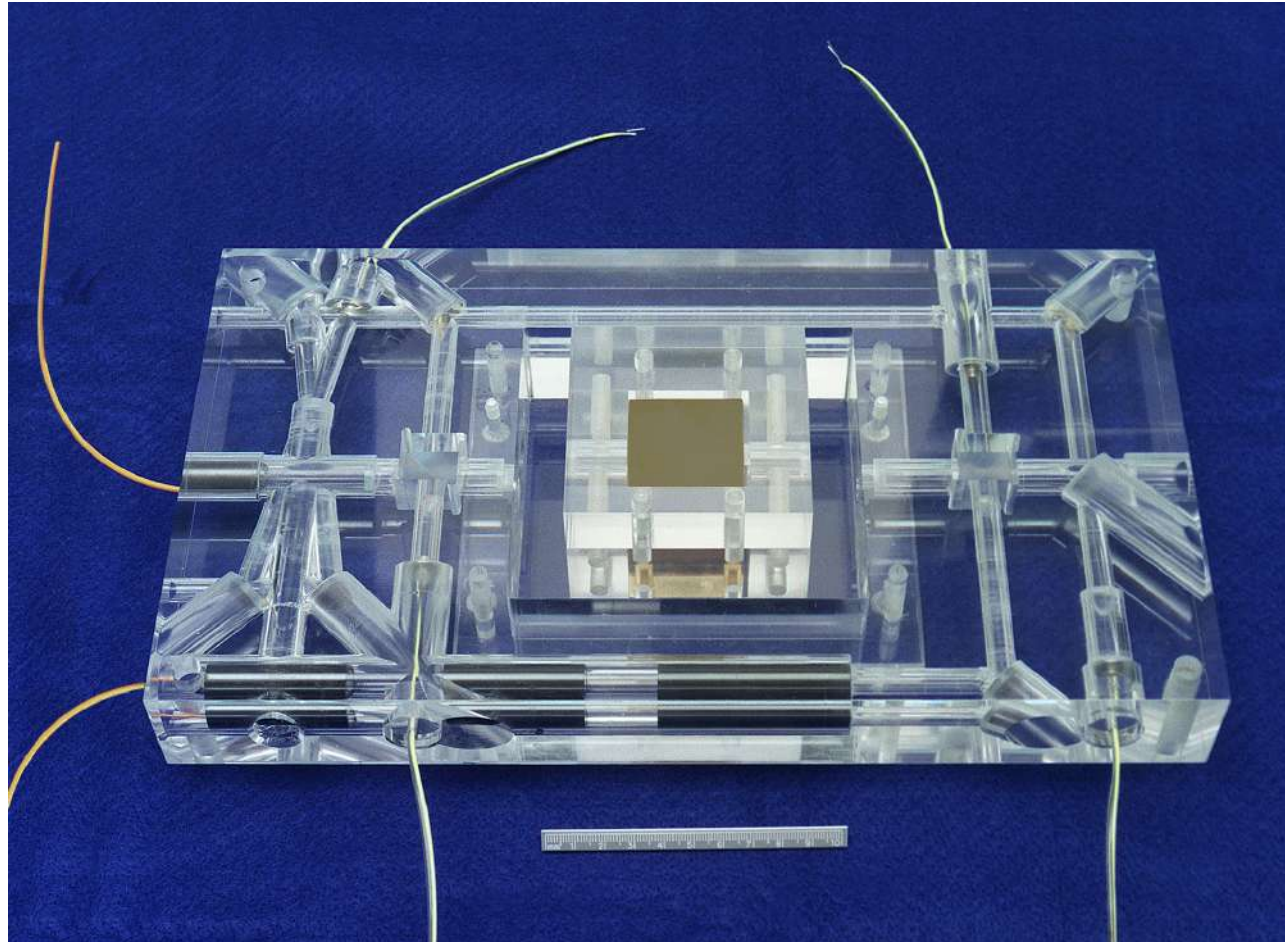
1-Sep-04

LISA

Alain Brillet

17

Banc optique (maquette JPL)



1-Sep-04

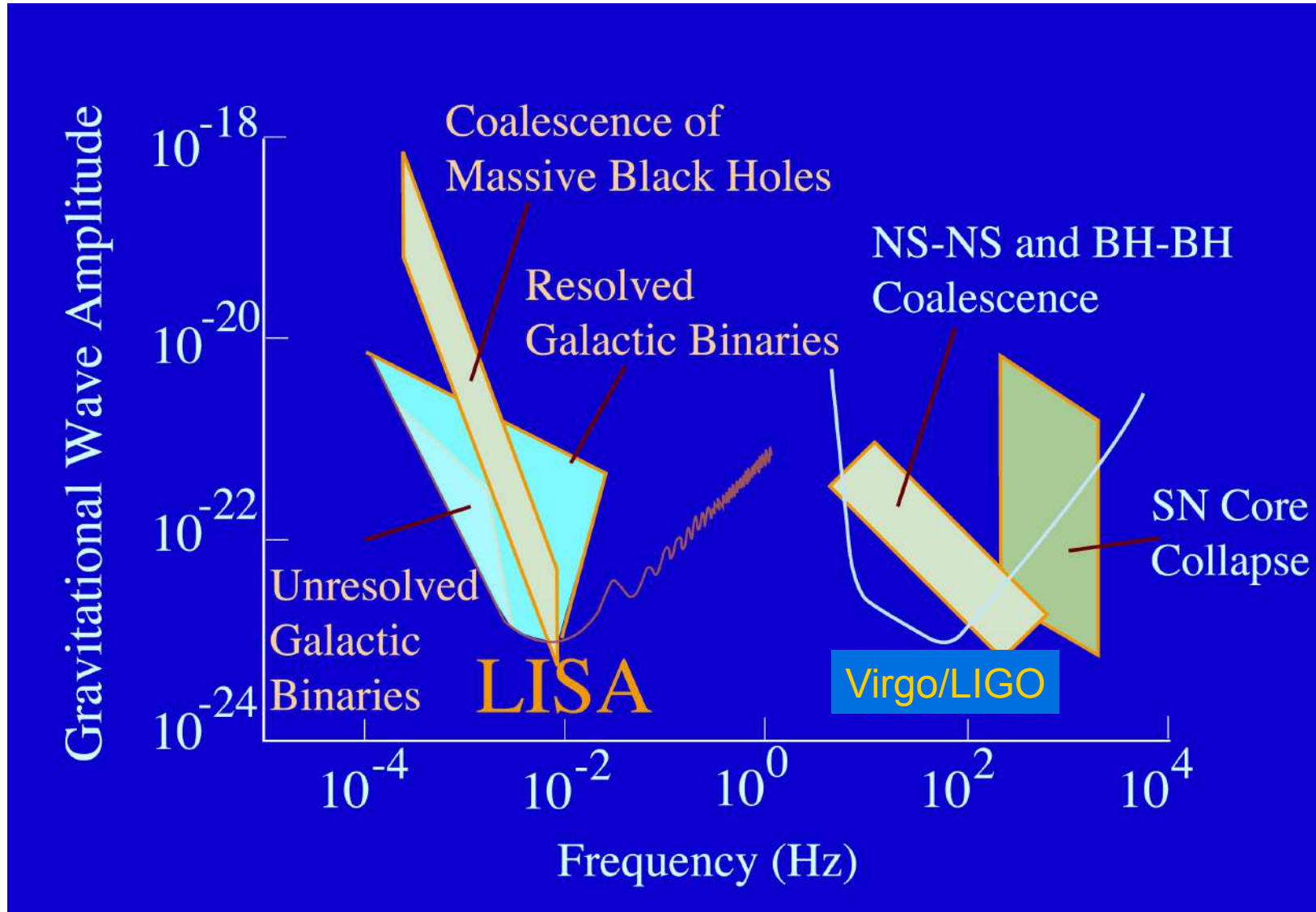
LISA

Alain Brillet
18

Défis technologiques

- Analyse des données:
 - 6 flux de données principaux (2x3 bras)
 - 2 signaux gravitationnels par source (h_+ et h_x)
 - Détermination des différences L1-L2 et L1-L3
 - Bruits à supprimer : fréquence laser, perturbations des masses
- Difficultés:
 - Couplage avec autres degrés de liberté
(rotations, mvts transverses, ...)
 - Fonctions de transfert, retards,
 - Diagrammes d'antenne
- Solution (?) Time–delay interferometry (JPL, OCA)
- Difficulté: superposition des signaux

Sensibilité espérée



Organisation-Agenda

- 1970's P.Bender @ JILA
- 1990 Contacts ESA
- 1994 Projet ESA
- 2000 Collaboration ESA/NASA
- Management scientifique: LIST
- 2007 (?) Démonstrateur technologique
 - SMART 2- Pathfinder senseurs inertiels, micropropulseurs, interférométrie
 - NASA et ESA: démonstrateurs indépendants
 - Collaboration vs. compétition , TBD
- 2013 ? Lancement
- 2025 ? Post-LISA : projet BBO