

## Groupe Thématique Physique Fondamentale

Anne Amy-Klein, Pierre Astier, Andrea Bertoldi, Martin Boutelier (thématicien), Philippe Brax, Frédéric Cleva, Clément Courde, Christophe Leponcin-Lafitte, Antoine Petiteau (président), Manuel Rodrigues, Peter Wolf

## Contexte et grandes questions scientifiques

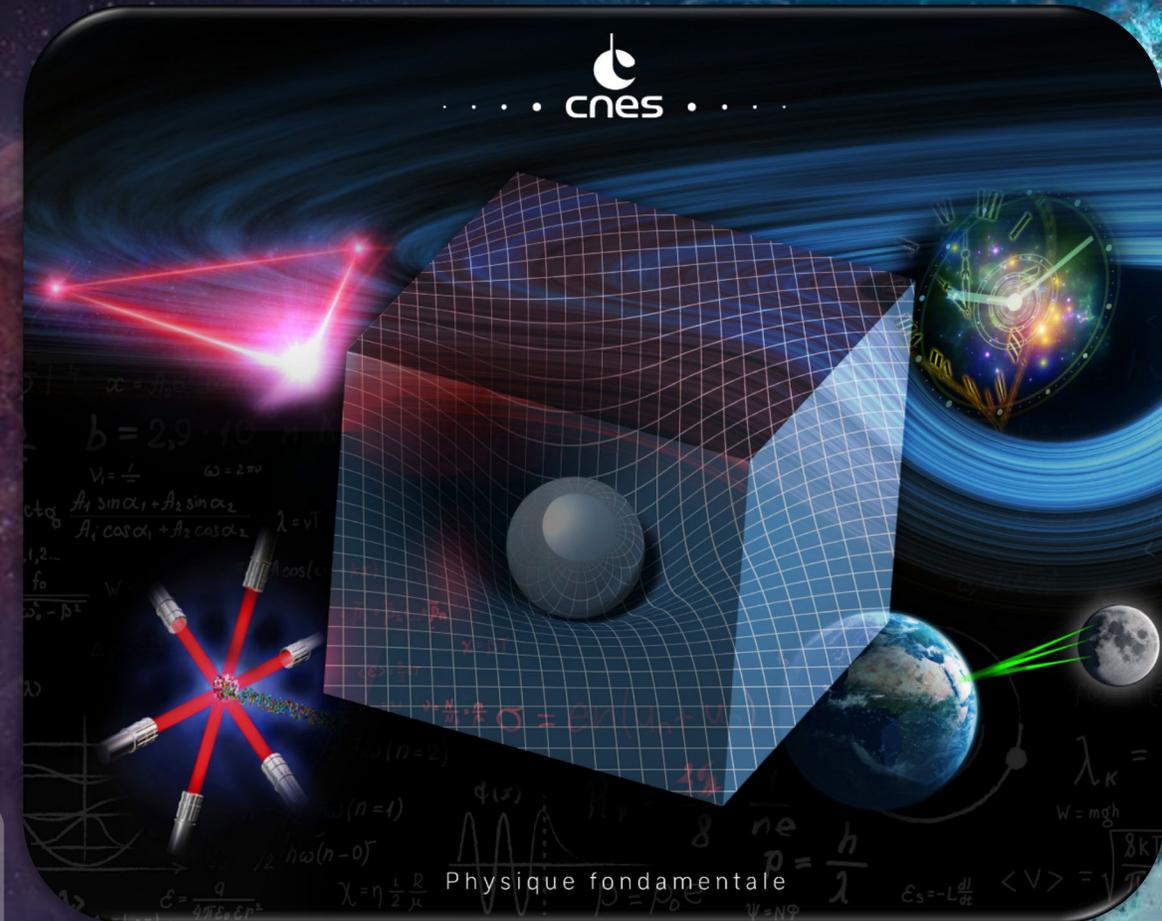
UNIFIER LA RELATIVITÉ GÉNÉRALE  
ET LES THÉORIES QUANTIQUES ?

DÉCRIRE LES CONSTITUANTS DE  
L'UNIVERS À GRANDE ÉCHELLE ?

OBSERVER LES EFFETS DE LA GRAVITÉ À TOUTES LES ÉCHELLES  
CONTRAINdre LA STRUCTURE DE L'ESPACE-TEMPS

AMÉLIORER L'EXACTITUDE DES TESTS DES  
VIOLATIONS PRÉDITES PAR LES THÉORIES  
D'UNIFICATION

UTILISER LES ONDES GRAVITATIONNELLES,  
NOUVEAUX MESSAGERS DE LA GRAVITÉ



## Pourquoi le spatial pour la physique fondamentale ?

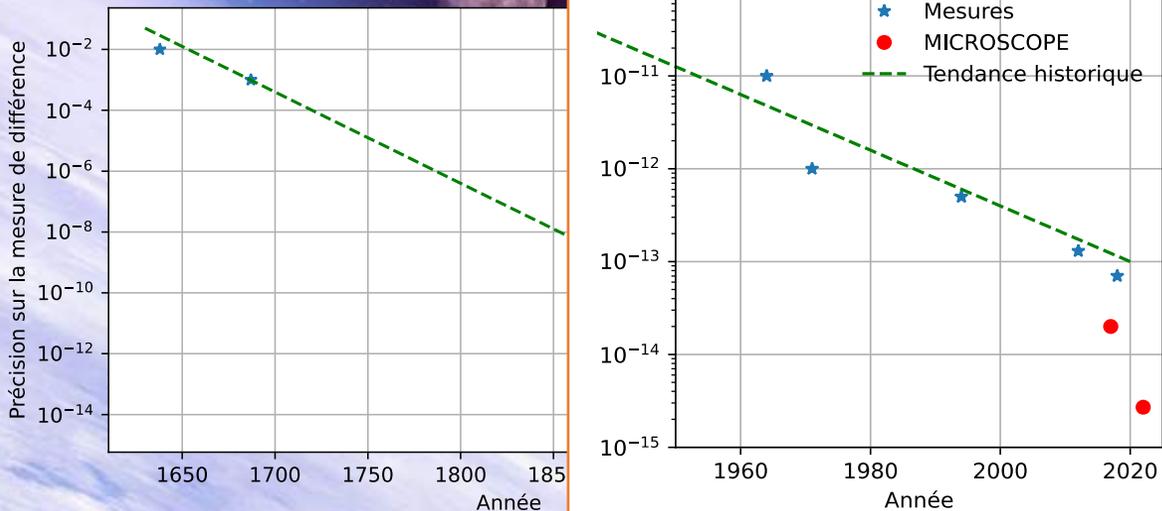
### Accéder à une précision inatteignable au sol :

- Perturbations réduites dans l'espace
- Augmentation des temps de mesures en chute libre

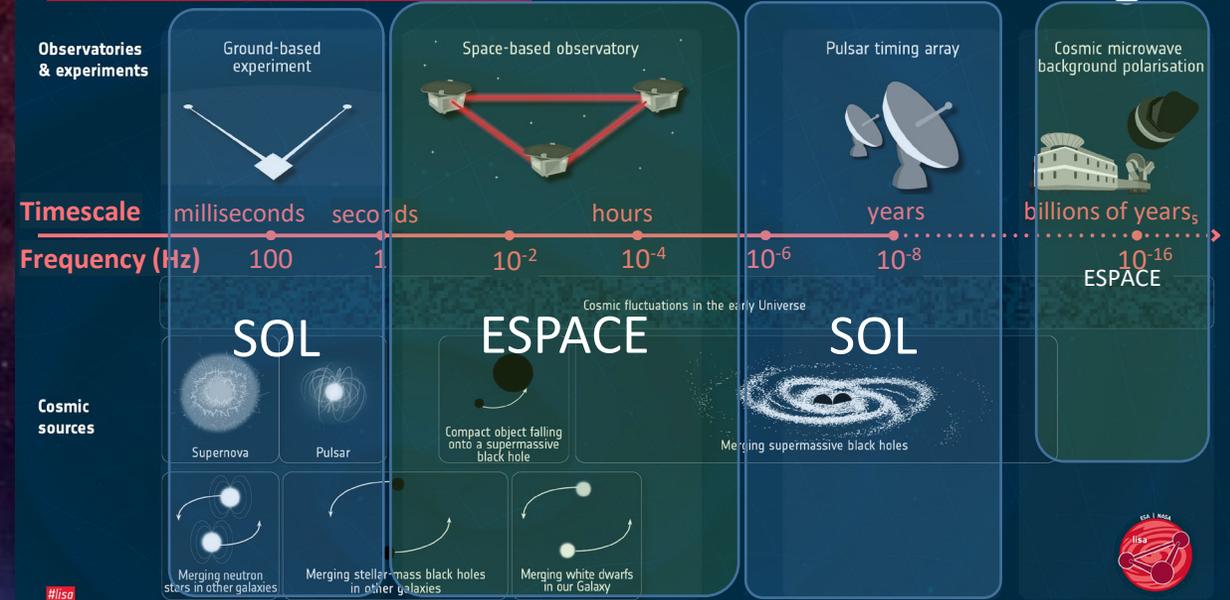
### Accéder à une gamme étendue d'observation des ondes gravitationnelles :

- Seules quelques gammes de fréquence peuvent être atteintes au sol
- L'espace permet d'explorer d'autres bandes (taille des instruments, réduction des perturbations)

Evolution de la précision sur le test du PF



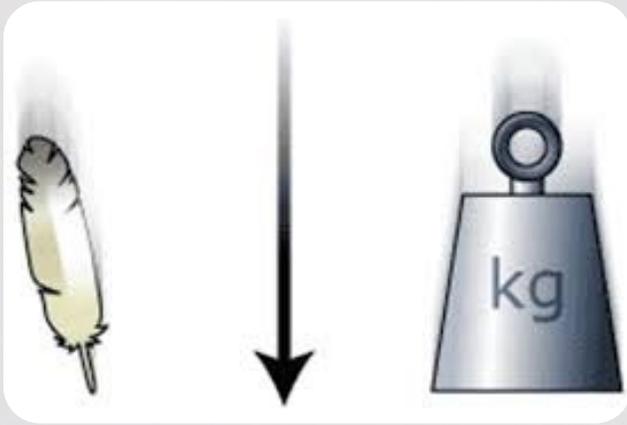
THE SPECTRUM OF GRAVITATIONAL WAVES



## Bilan scientifique en physique fondamentale

### Test des violations prédites par les théories d'unification

#### Universalité de la chute libre



- Résultats finaux de MICROSCOPE publiés en septembre 2022 (FM1)

violation exclue jusqu'à  $10^{-15}$

2 ordres de grandeur gagnés

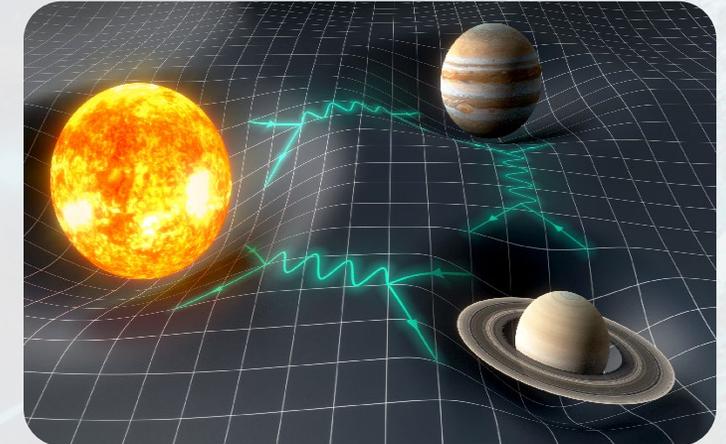
#### Symétrie de Lorentz/CPT



- Compilation de 50 ans de données de tir laser lune (03/2021)

3 ordres de grandeur gagnés

#### Masse du graviton



- Ephémérides planétaires intégrant de nouvelles données dont **GAIA**, Juno et Cassini (06/2023)

nouvelle contrainte :  $1,01 \times 10^{-24} \text{ eV}c^{-2}$

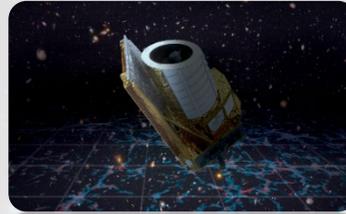
1 ordre de grandeur gagné

## Bilan scientifique en physique fondamentale

### Matière noire et énergie noire

#### Matière noire

- Elimination des scénarios super symétriques simples
- Exclusion des trous noirs primordiaux
- Exclusion de nombreux domaines d'énergie



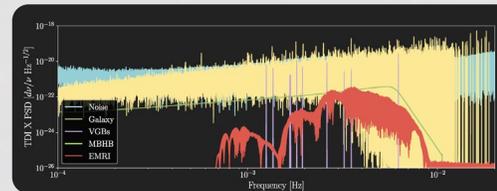
#### Energie noire et expansion de l'Univers

- Résultats issus des grands relevés de galaxies (ex: DESI 2024) compatibles avec une constante cosmologique
- Résultats à venir avec le cisaillement gravitationnel et les relevés (EUCLID, VRO, ...)

### Ondes gravitationnelles (FM2)

#### Au 10 Hz – kHz :

- Preuve de l'existence des trous noirs
- Mesure de la vitesse de propagation des OGS
- Nouvelle contrainte sur la constante de Hubble
- Test de la Relativité Générale en champ fort



#### Au nHz:

- Forte évidence pour un signal d'ondes gravitationnelles avec la chronométrie de réseaux de pulsars (06/2023)

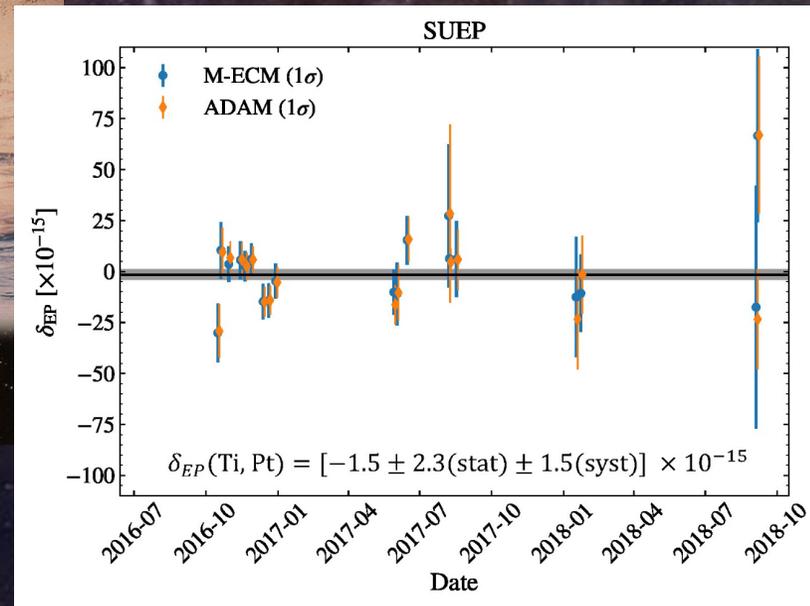
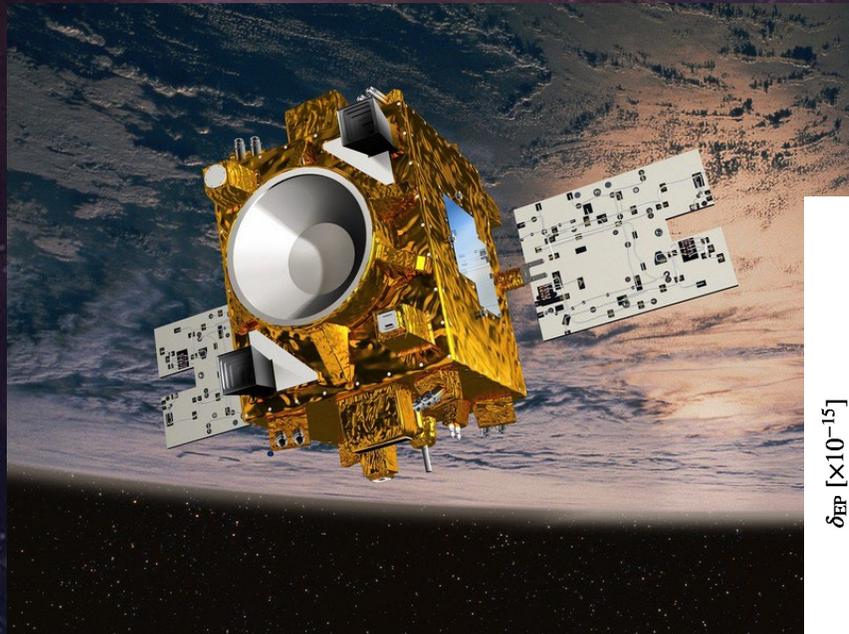
## Fait marquant: résultats finaux de MICROSCOPE

### Mission CNES

Opérations : 2016 – 2018 (~ 1900 orbites)

Première publication en 2017 : violation exclue à  $10^{-14}$

Analyse finale publiée en 2022 : violation exclue à  $10^{-15}$



## Fait marquant: observation d'ondes gravitationnelles

### 10 Hertz – kiloHertz : LIGO, Virgo, KAGRA

#### • Observations

- 90 sources durant les runs O1, O2 et O3 (2015 - 2020)
- > 140 sources sur le run O4 en cours (depuis mai 2023)
- Beaucoup de binaires de trous noirs de masses stellaires
- Quelques binaires d'étoiles à neutrons

#### • Avancées scientifiques

- Sources exotiques,
- Mesure de  $H_0$ ,
- Population de sources

### NanoHertz: Pulsar Timing Array

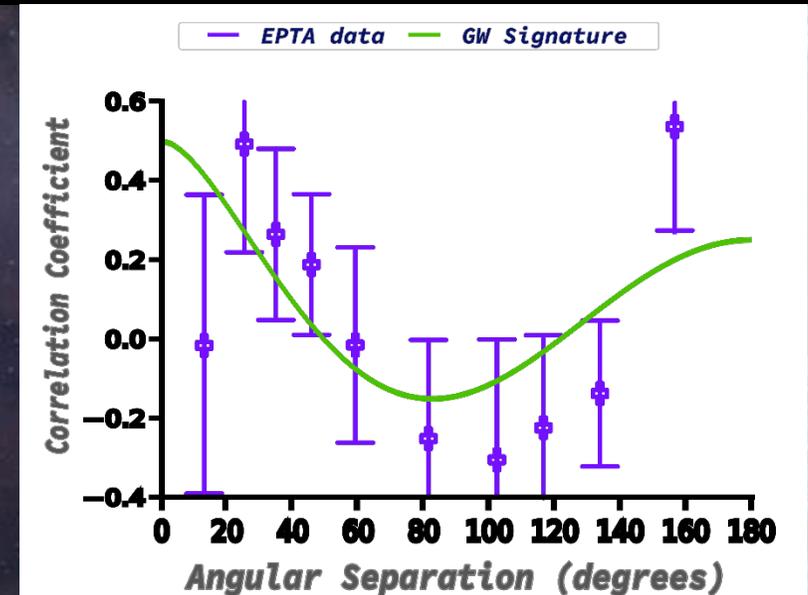
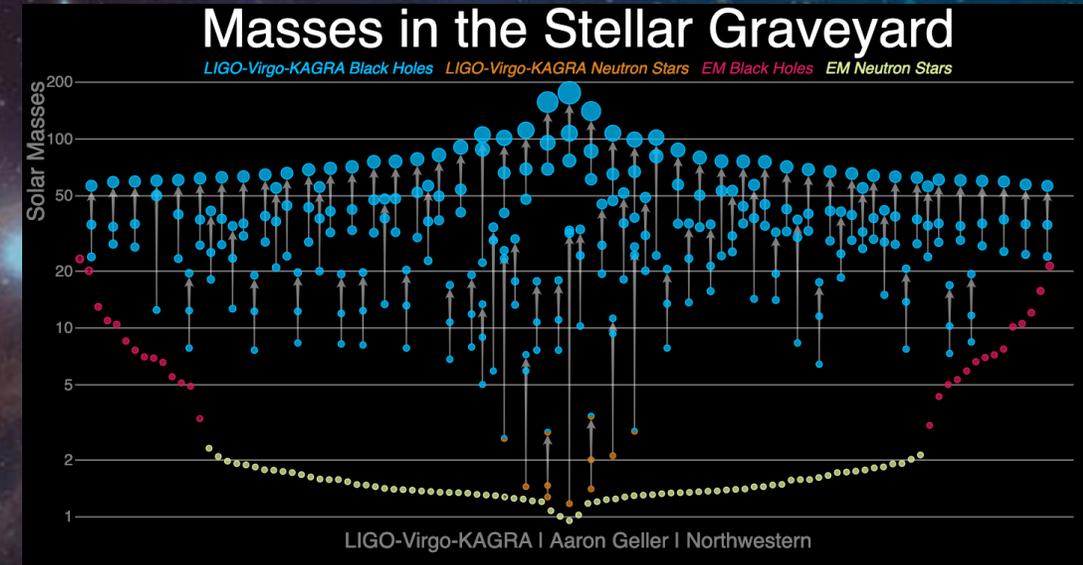
Les ondes gravitationnelles apparaissent comme un signal cohérent dans les données de chronométrie radio de plusieurs dizaines de pulsars millisecondes.

#### • Résultats (juin 2023)

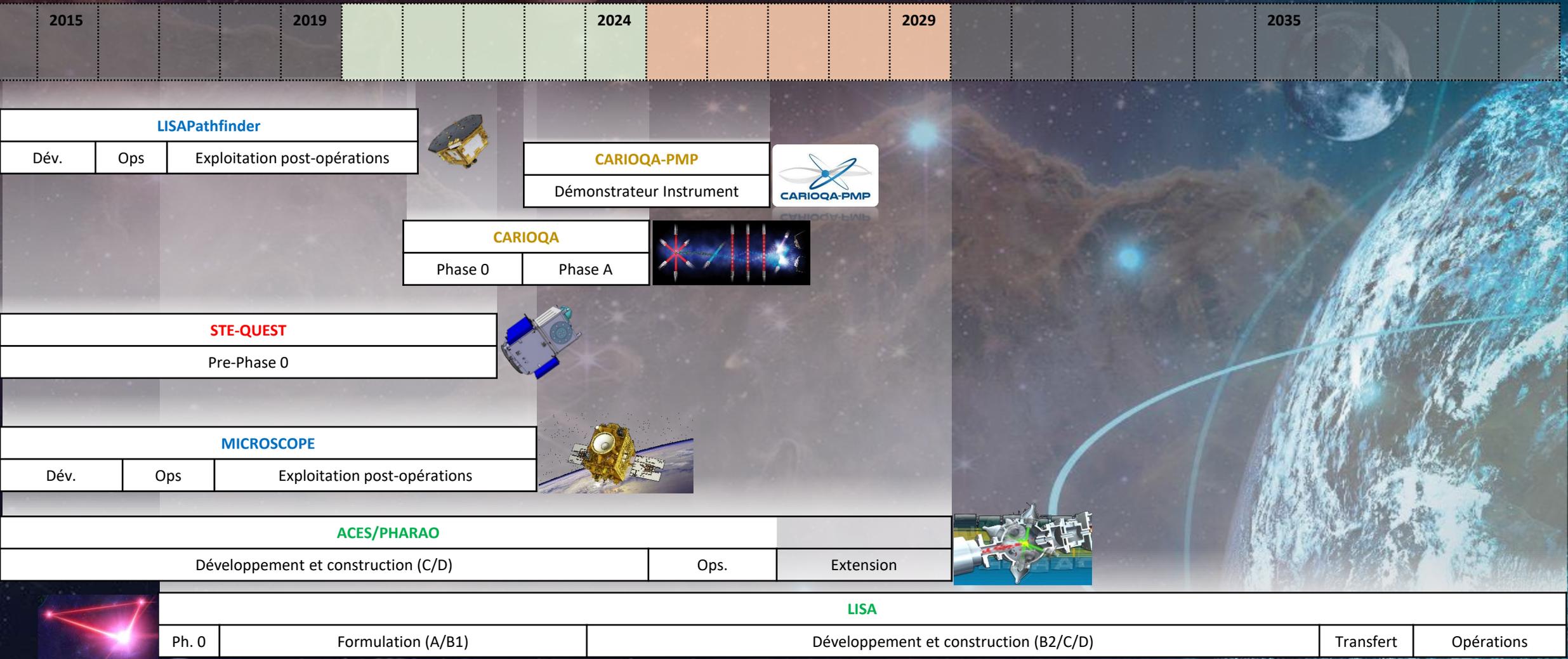
- Evidence forte pour un fond stochastique d'ondes gravitationnelles autour de quelques nanohertz
- Résultats indépendants obtenus par 4 collaborations (EPTA,

### MilliHertz:

LISAPathfinder : excellents résultats => faisabilité de LISA



# Situation programmatique de la physique fondamentale



Merci

