



LISA: principe et contributions techniques

Développements en métrologie optique ultra-stable pour
l'étude des ondes gravitationnelles

GdR DID2I

Hubert Halloin
17 juin 2026

Ondes gravitationnelles et ordres de grandeur

🚀 Onde gravitationnelle ?

🚀 Déformations élastiques de la métrique de l'espace-temps

🚀 Un messenger de la gravité en champ fort

🚀 Binaires de trous noirs, d'étoiles à neutrons, cordes cosmiques, etc.

🚀 Tests de physique fondamentale

🚀 Une détection difficile

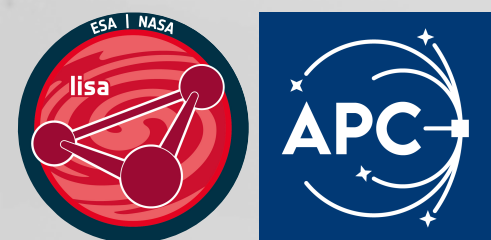
🚀 Observable: variation de distance entre masses inertielles

🚀 L'effet est infime !

$$h = 2 \frac{\Delta L}{L} \lesssim 10 \frac{\Xi}{10^{-1}} \cdot \frac{M}{10^5 M_{\odot}} \cdot \frac{50 \text{ Gpc}}{D_1} \text{ pm/Mkm}$$

$$\Xi = \frac{GM}{Rc^2} < 1 : \text{Compacité}$$





LISA, une mission spatiale unique



🚀 LISA : interféromètre spatial géant

🚀 3 bras de 2,5 Mkm

🚀 2 masses inertielles par satellite

🚀 3^{ème} mission 'Large' du programme 'Cosmic Vision' de l'ESA

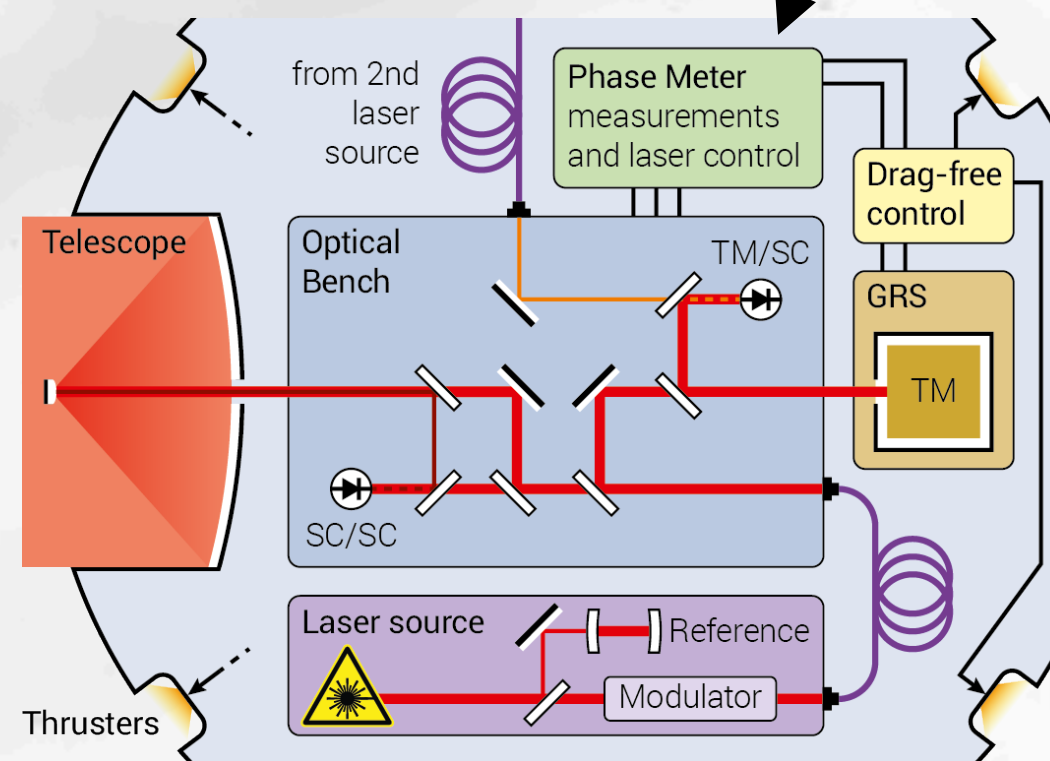
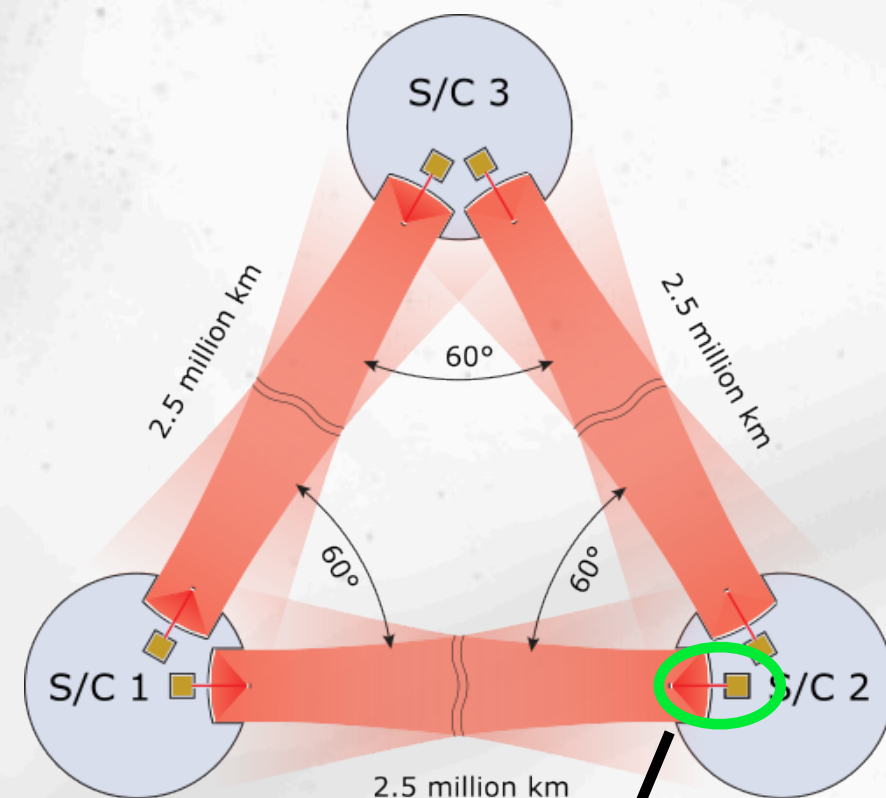
🚀 Sélectionnée en 2017

🚀 Adoptée en janvier 2024

🚀 Lancement en 2034 / 2035

🚀 Exploitation scientifique : 4 à 10 ans

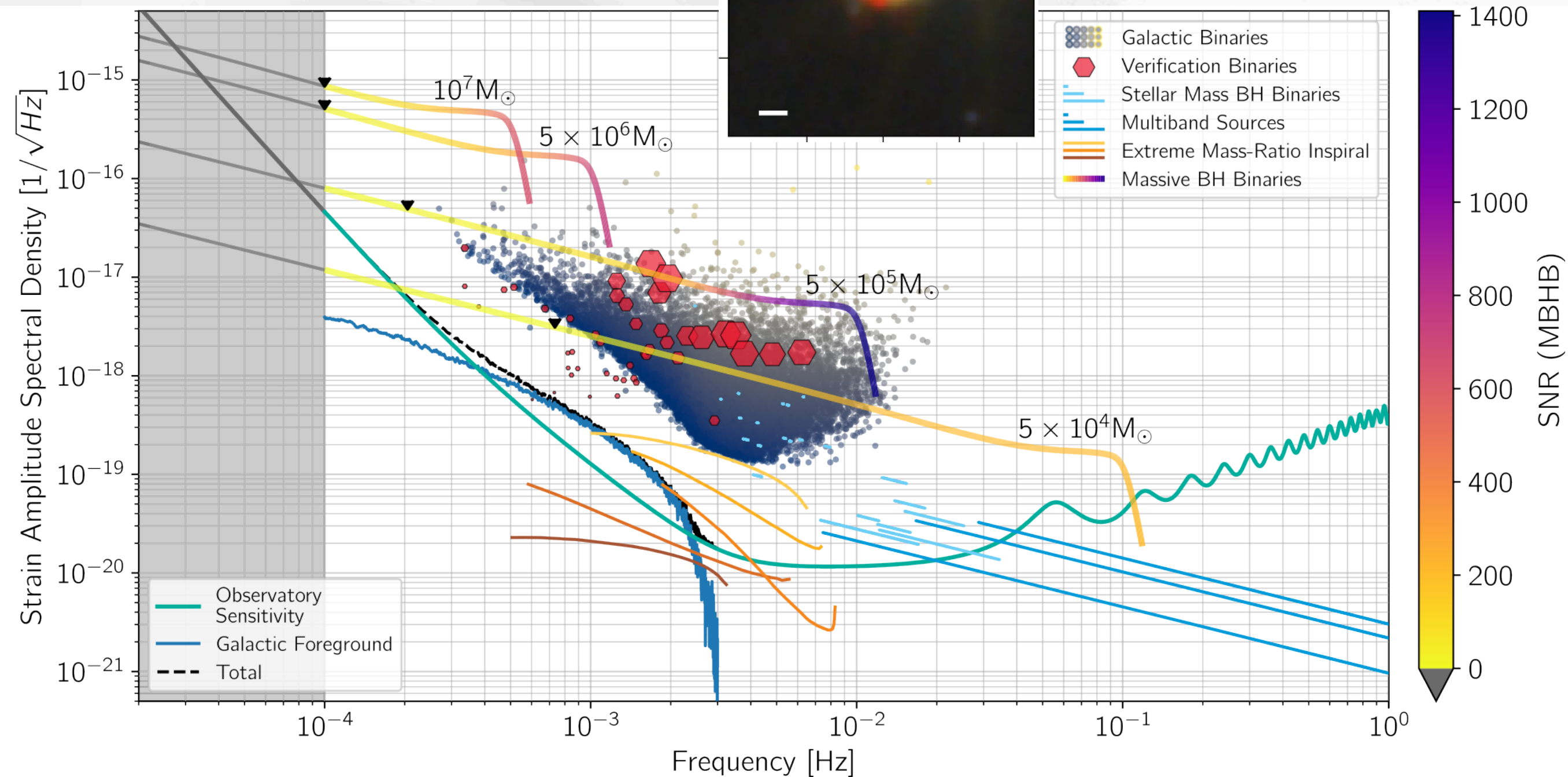
🚀 Coût ~2 Md€



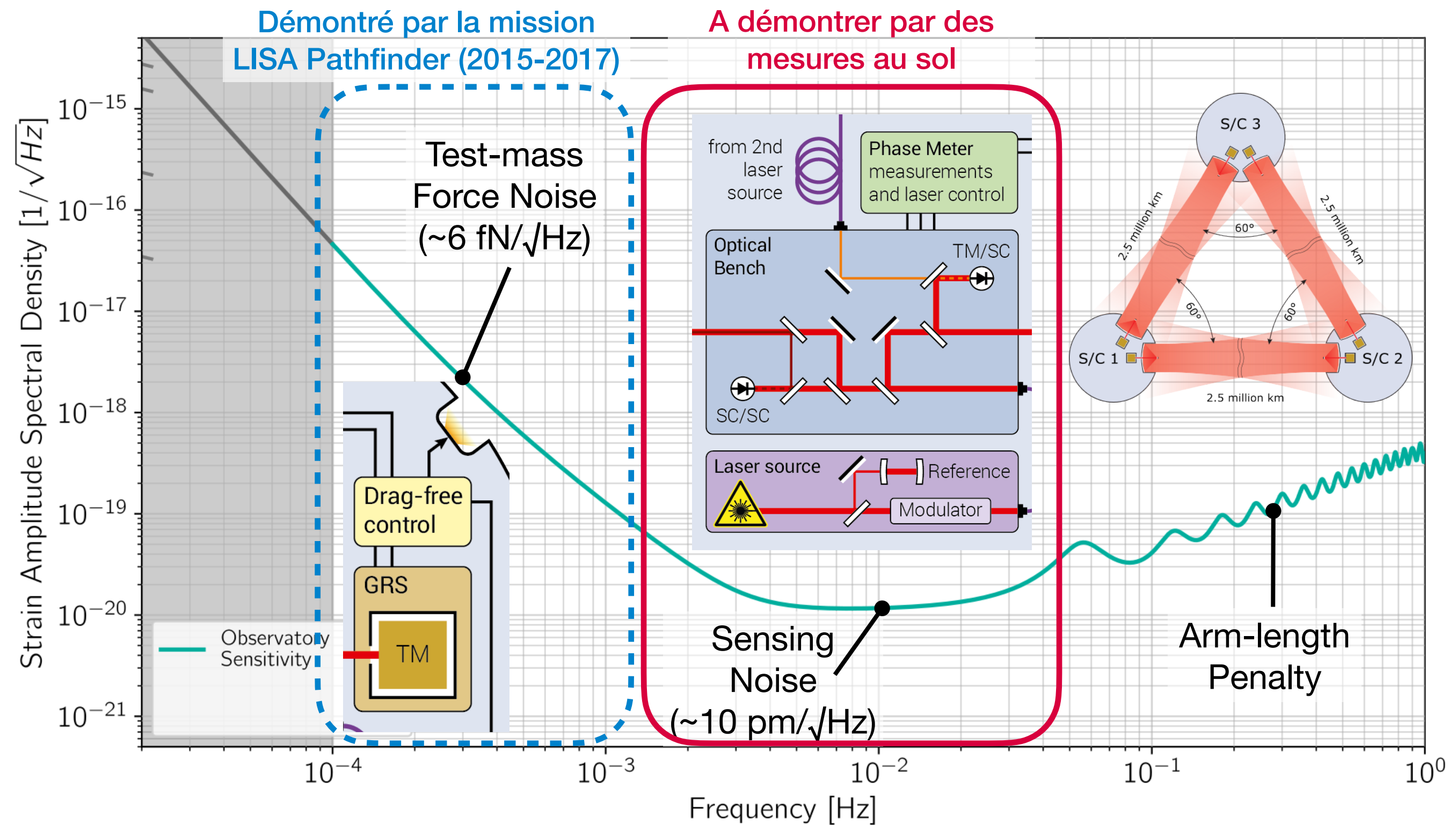
Article | [Open access](#) | Published: 14 January 2026

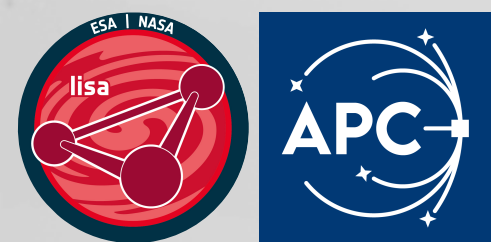
Little red dots as young supermassive black holes in dense ionized cocoons

Nature **649**, 574–579 (2026) | [Cite this article](#)



Un défi technologique





Développement des bancs de tests LISA

- Une des 3 contributions majeures de la France à LISA
 - **Caractérisation au sol du coeur métrologique de LISA**
 - Centre de traitement de données scientifiques
 - 'Performances et Opérations'
- La communauté instrumentale française pour ISA
 - APC : pionnier sur LISA en France dès 2005
 - Aujourd'hui : ~10 instituts, ~50 chercheurs et ingénieurs
 - Partenariats avec de grandes entreprises et instituts étrangers



irfu

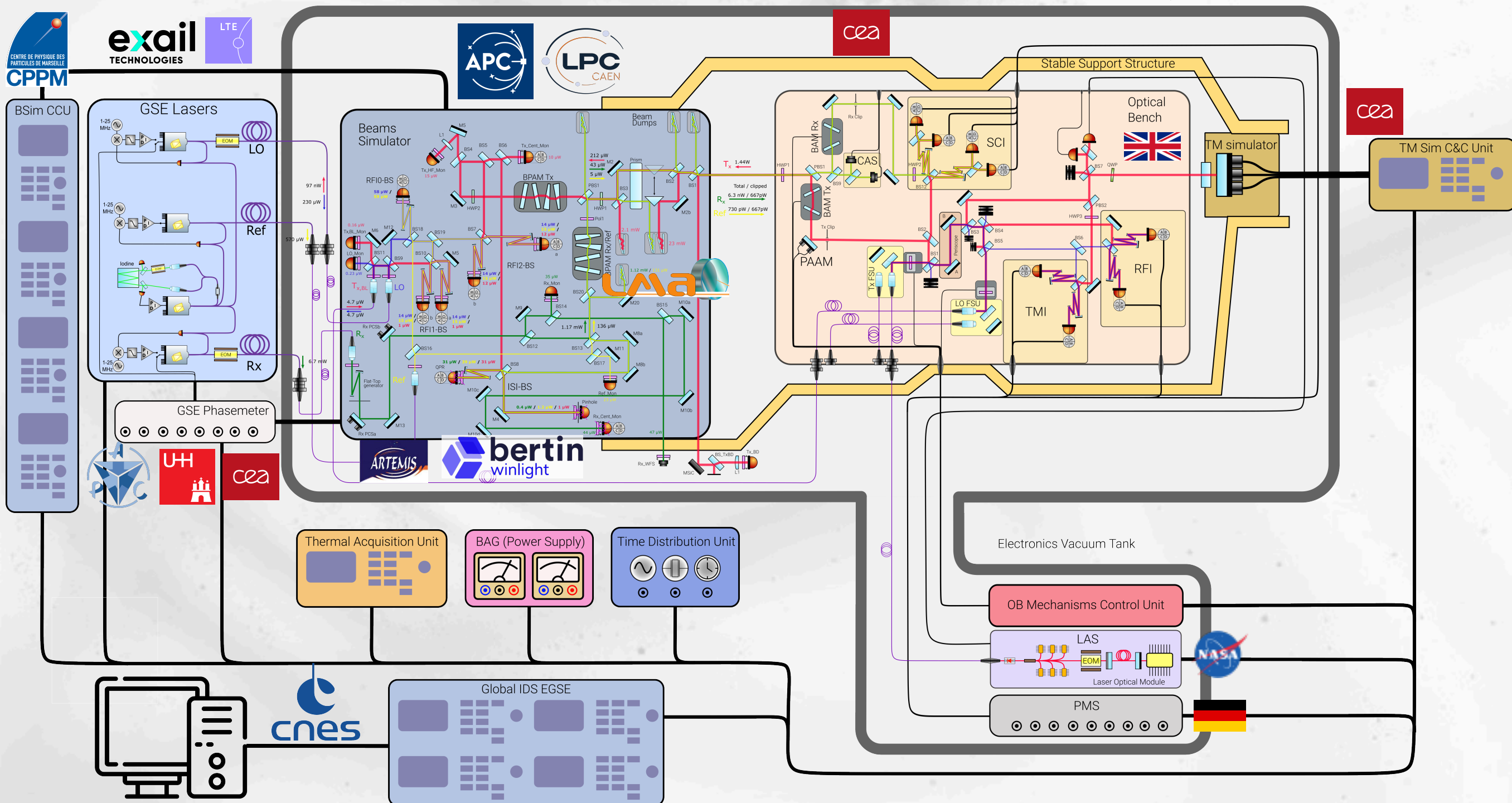





Tests métrologiques au sol

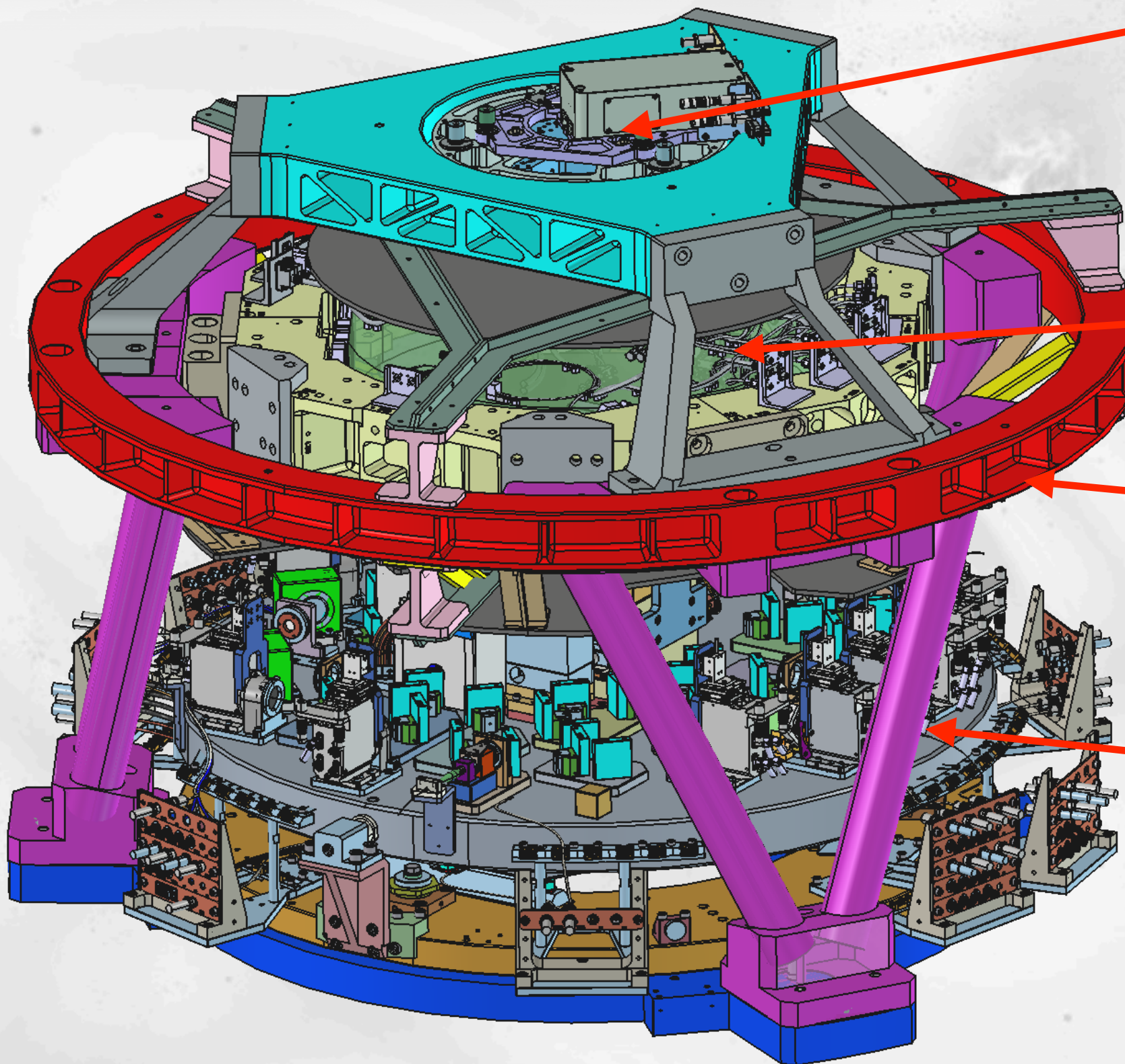
🚀 Objectif : valider les performances métrologiques de LISA

- 🚀 Fonctionnalité critiques
- 🚀 Stabilité de chemin optique
- 🚀 Erreurs de front d'onde et précision d'alignement





Dispositif métrologique



Test Mass Simulator



LISA Optical Bench



Ultra-stable structure



Beams Simulator



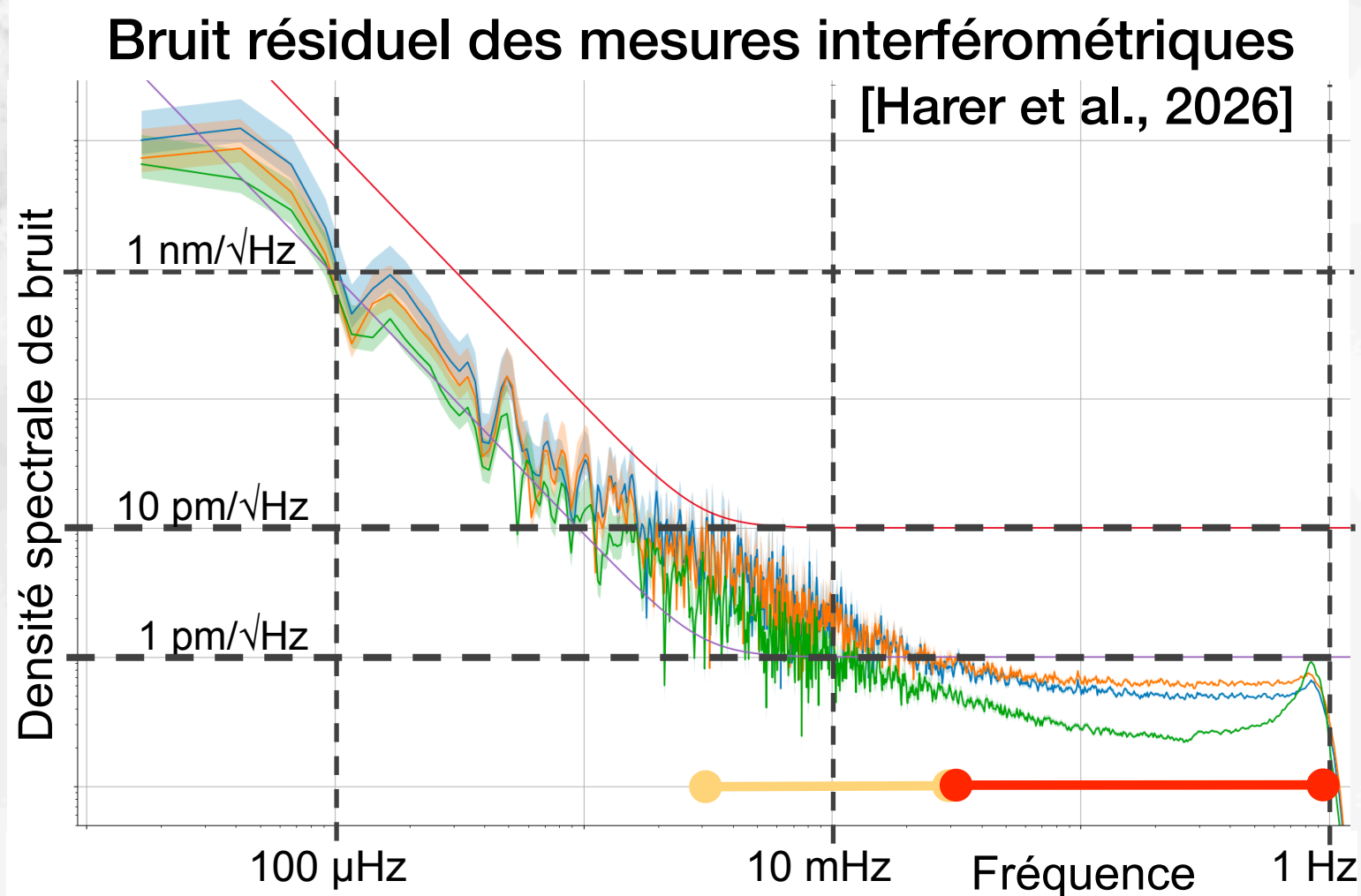
Etape 1 : démonstration technologique

🚀 Pourquoi ?

- 🚀 Organiser la communauté française
- 🚀 Valider les principales briques technologiques
- 🚀 Objectif de stabilité :
10 pm/ $\sqrt{\text{Hz}}$ pour $f > 30 \text{ mHz}$

🚀 Comment ?

- 🚀 Banc d'interférométrie en zerodur
- 🚀 Campagne de tests en 2023
- **$< 1 \text{ pm}/\sqrt{\text{Hz}}$ pour $f > 30 \text{ mHz}$**
- **Performances atteintes dès $f \sim 1 \text{ mHz}$**





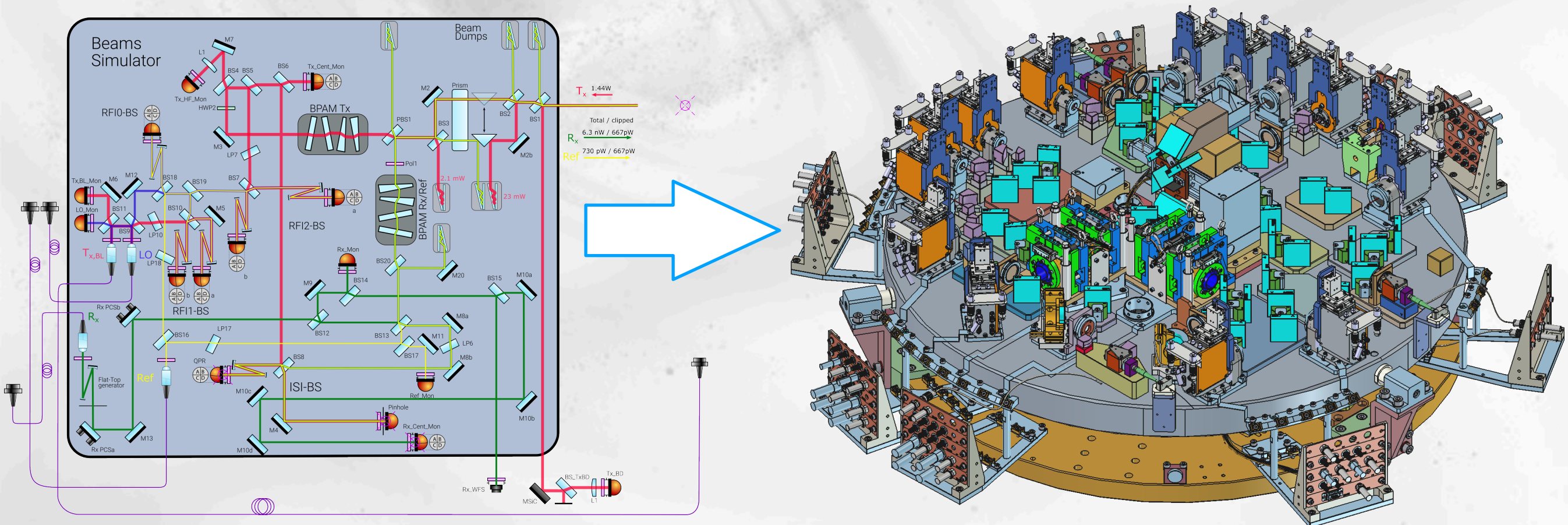
Etape 2 : Réalisation des bancs

🔧 ‘Beams Simulator’ (aka BSIM) ?

- 🔧 Banc de simulation et stimulation des interfaces optiques du banc d’interférométrie LISA
- 🔧 Performances critiques : stabilité des chemins optiques et des alignements.

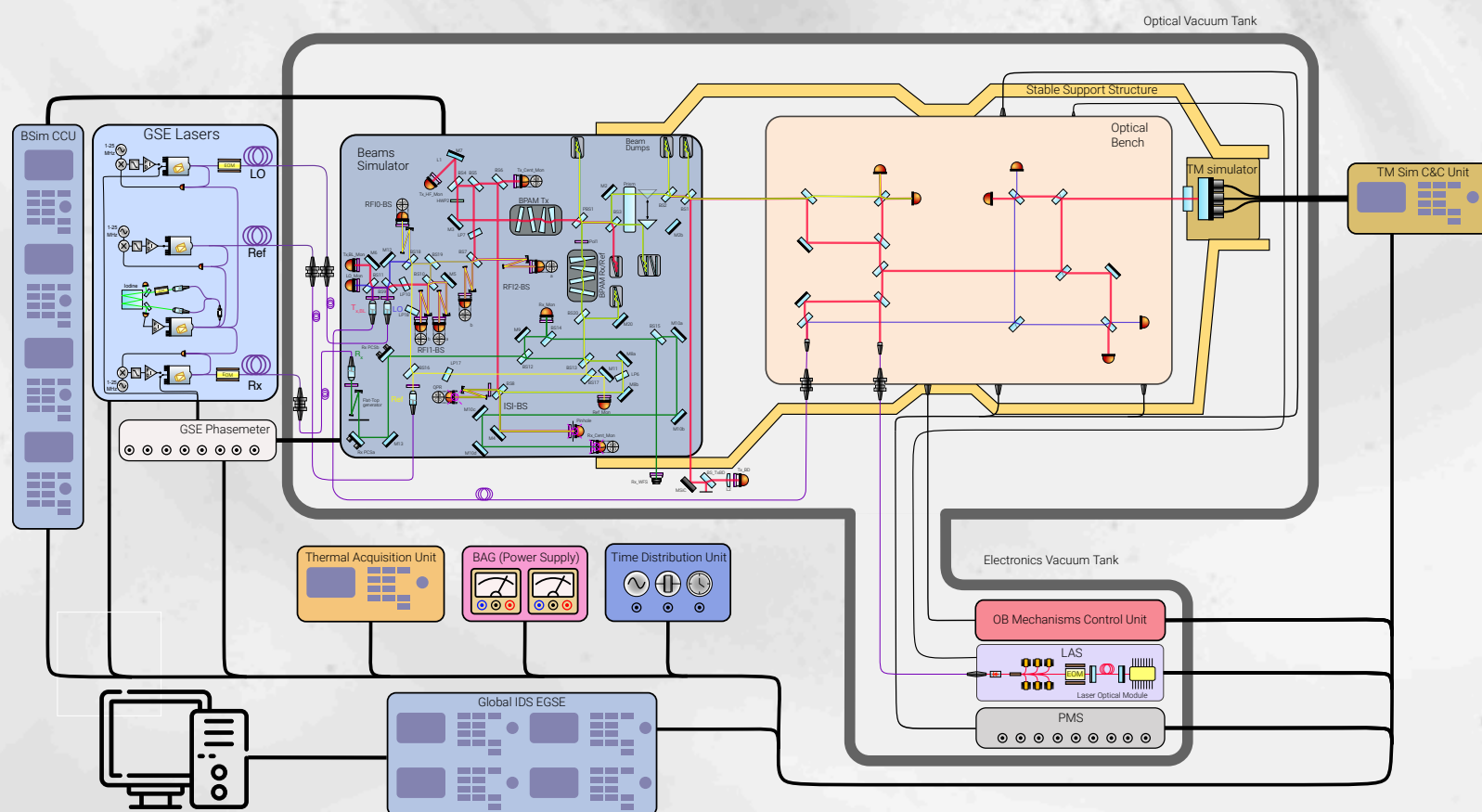
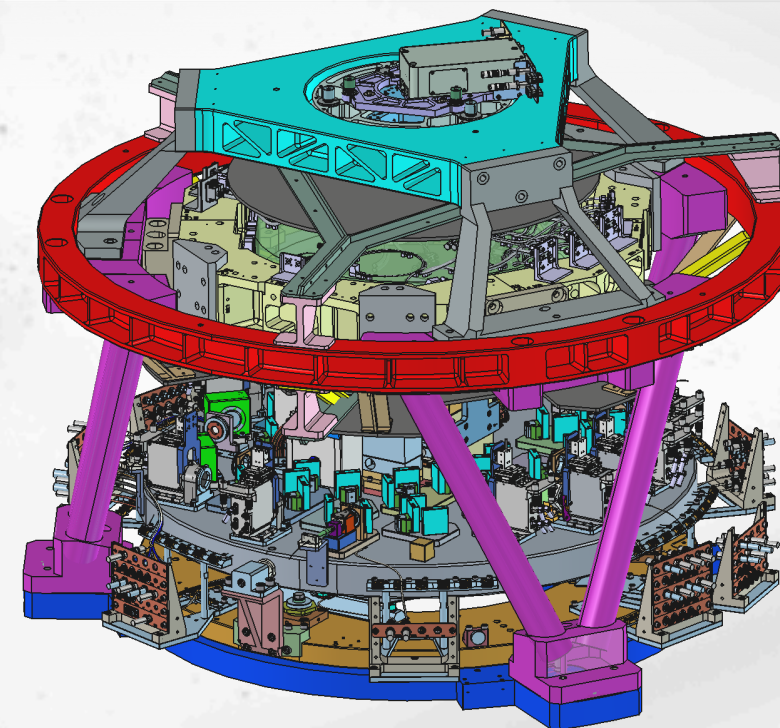
🔧 Organisation projet

- 🔧 Maîtrise d’oeuvre APC / CNES
- 🔧 Systèmes de pointages fin et génération de faisceau développés à l’APC (→ **S1 2027**)
- 🔧 Réalisation et intégration du banc zerodur par la société BERTIN/Winlight. (→ **Q3 2027**)
- 🔧 Recette, réglage et tests systèmes BSIM à l’APC (**Q4 2027 - Q1 2028**)
- 🔧 Livraison, recette et intégration dans les infrastructures CNES (**Q2 2028 - Q3 2028**)
- 🔧 Campagne de tests LISA EM/QM au CNES (**Q4 2028 - S1 2031**)



Etape 3 : intégration et tests au CNES

- Caractérisation sol de l'instrument LISA (→ 2031)
 - Livraison des bancs de tests
 - Recette et intégration dans les infrastructures CNES
 - Développement des algorithmes de traitement des données
 - Participation aux campagnes de tests, exploitation et interprétation des résultats
 - Impacts sur le design des instruments LISA
- Recette et performances en vol (2032 → 2045)
 - Prise de responsabilité sur la caractérisation et suivi des performances en vol
 - Préparation des opérations en orbite et algorithmes de traitement associés
 - Traitement et interprétation des données recueillies





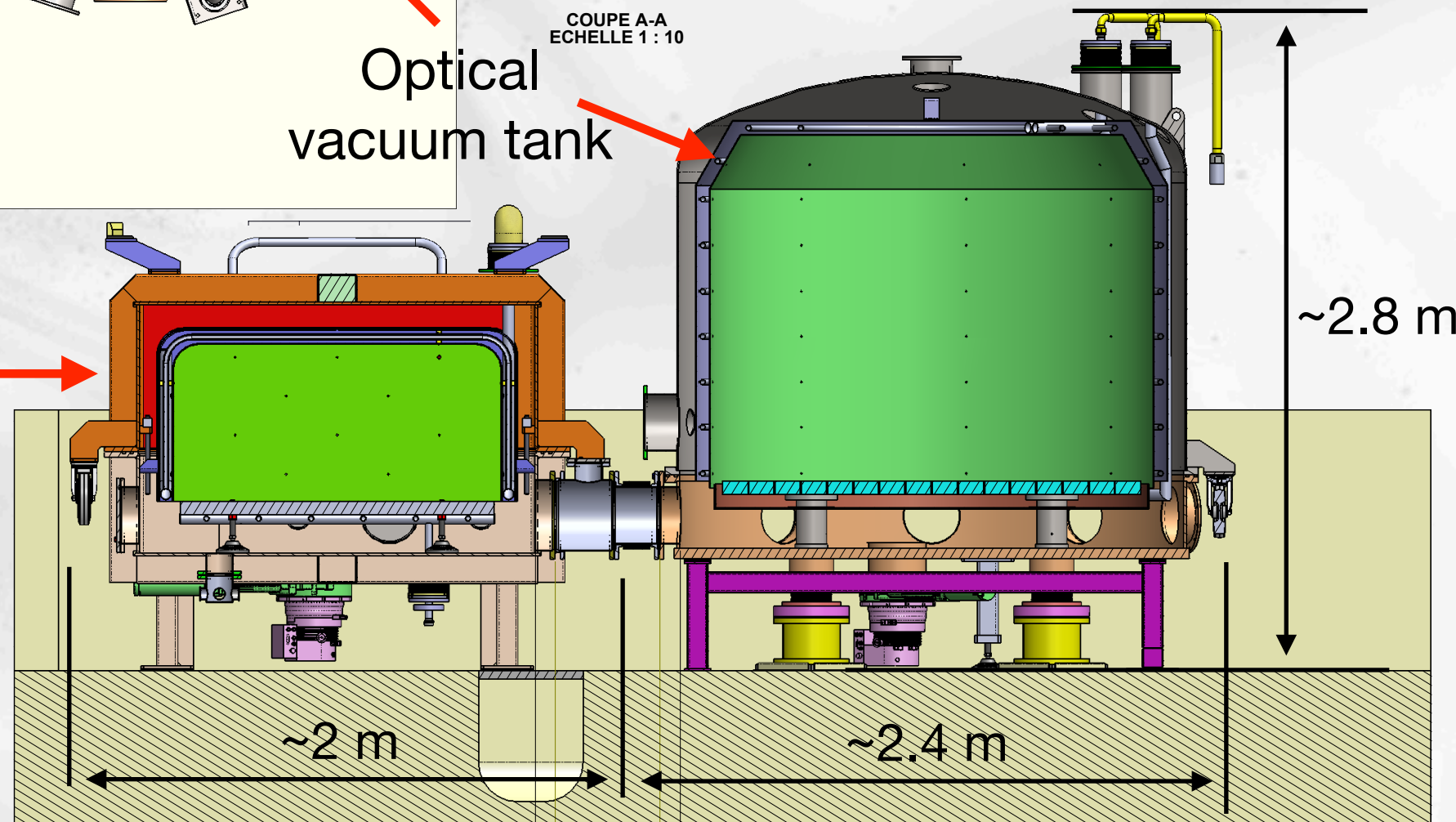
Infrastructures



COUPE A-A
ECHELLE 1 : 10

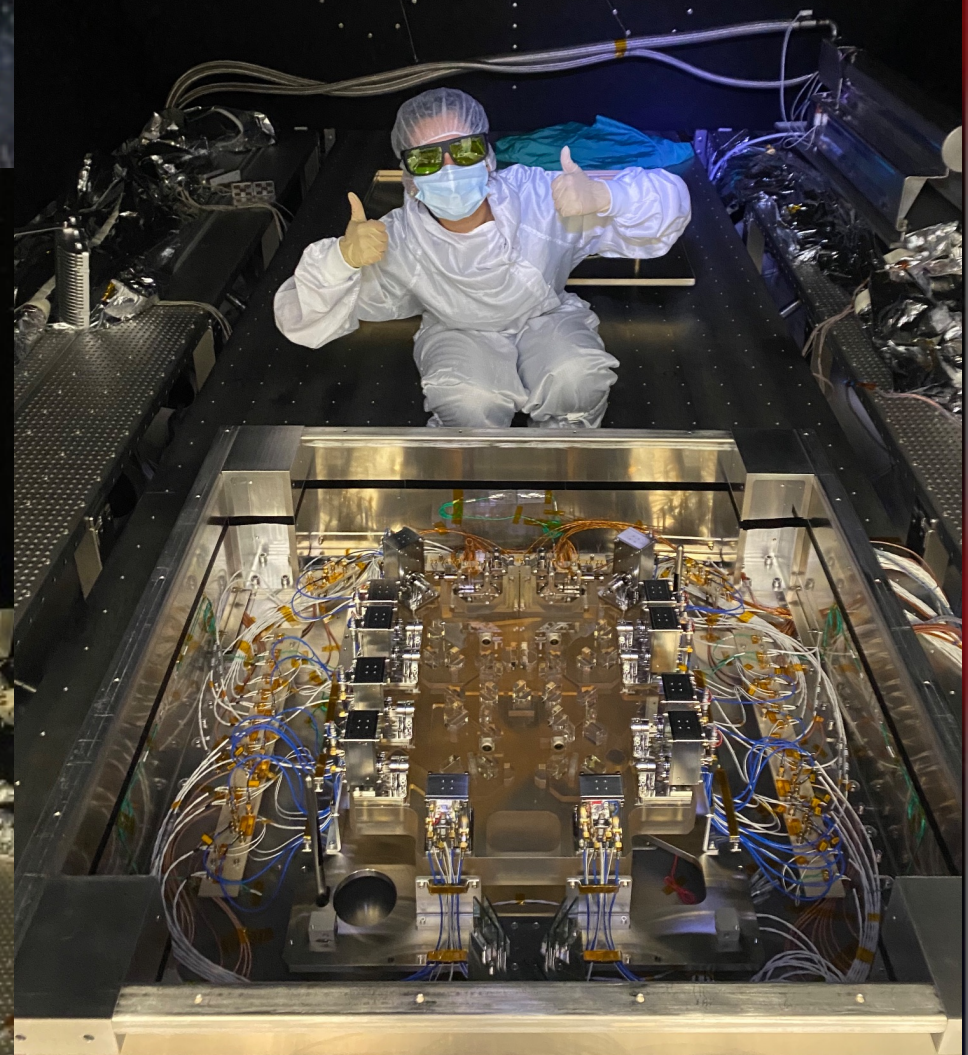
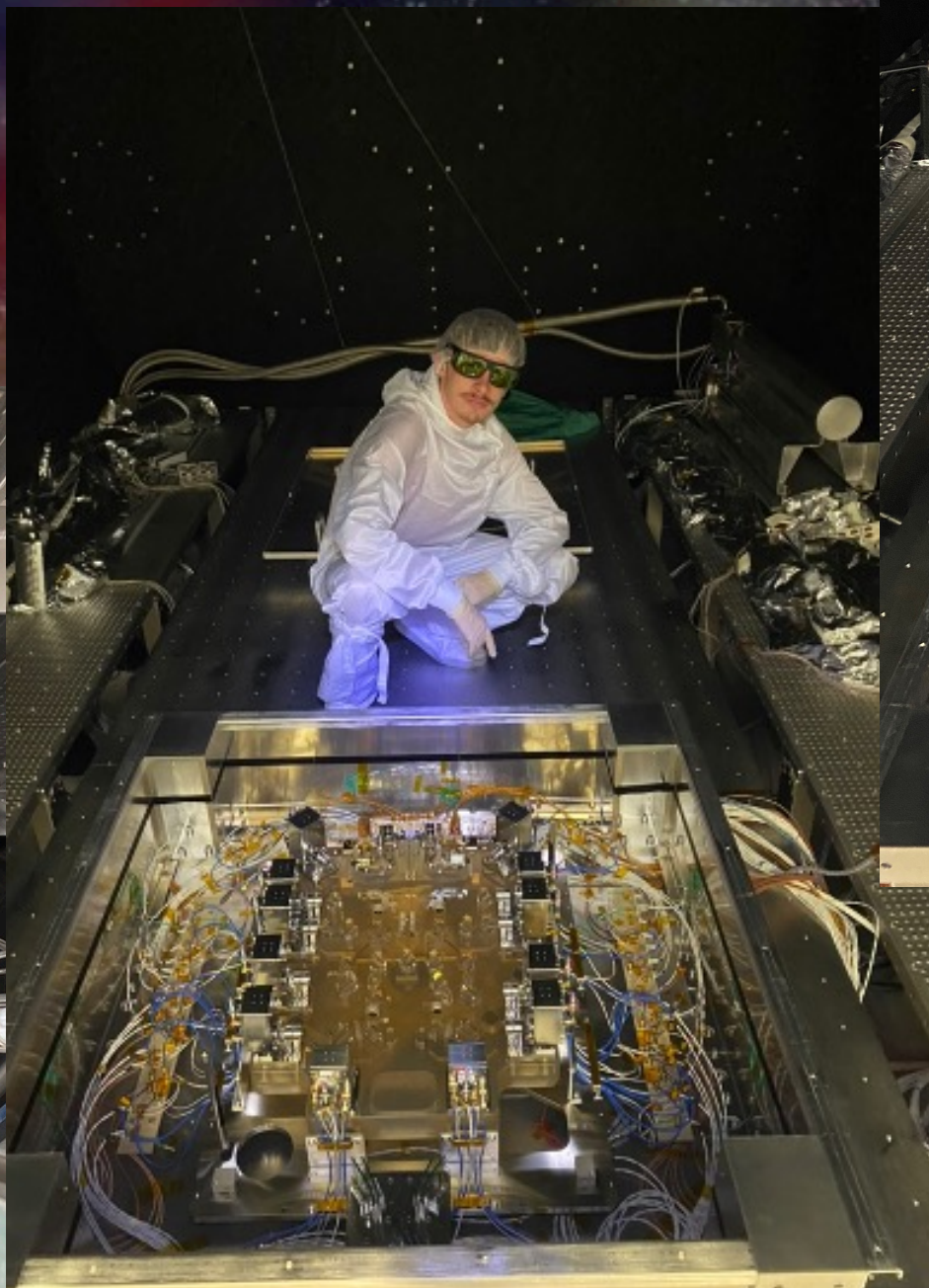
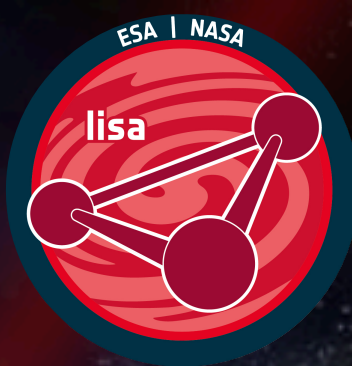
Optical
vacuum tank

Electronics
vacuum tank





ASTROPARTICULE & COSMOLOGIE



Merci de
votre attention