

# Préparer LISA

Démonstrateurs optiques à l'APC

Biennale APC 2024

22 mai 2024





# Une équipe au top !



**Hubert Halloin**  
**Physique**  
*Resp. Scientifique*



**Th. Zerguerras**  
**Instrumentation**  
*Contrôleur Projet*



**Laurent Grandsire**  
**Intrumentaiton**  
*Resp. Infrs*



**Matthieu Laporte**  
**Optique**  
*Resp. Technique*



**Anne Daumas**  
**Optique**  
*Exp. optiques*



**Eric Phuong**  
**Système**  
*Ing. Système*



**Joseph Martino**  
**Système**  
*Ing. Système*



**Shivani Harer**  
**Doctorante**  
*ZIFO@APC*



**Maxime Vincent**  
**Doctorant**  
*ZIFO/BSIM*



**Corinne Juffroy**  
**Qualité**  
*Resp. AP/AQ*



**Victor Poisblaud**  
**Apprenti**  
*Exp. optiques*



**Alain Givaudan**  
**Mécanique**  
*Resp. méca.*



**Pierre Prat**  
**Electronique**  
*Phasemètre & Elec*



**Walter Bertoli**  
**Mécanique**  
*Design méca.*



**Ch. Bissonauth**  
**Mécanique**  
*Design méca.*



**Béatrice Silva**  
**Administration**  
*Gestion financ.*



**Cindy Pires**  
**Administration**  
*Gestion financ.*



**Stéphane Dheilley**  
**Mécanique**  
*Fabrication méca*



**Kevin Biernacki**  
**Mécanique**  
*Design méca*



# Les ondes gravitationnelles en bref

## 🚀 Onde gravitationnelle ?

- 🚀 Déformations élastiques de la métrique de l'espace-temps
- 🚀 Mesurables comme une fluctuation de distance entre deux masses inertielles





# LISA, une mission spatiale unique

LISA : interféromètre spatial géant

3 bras de 2,5 Mkm

~7 x distance Terre-Lune

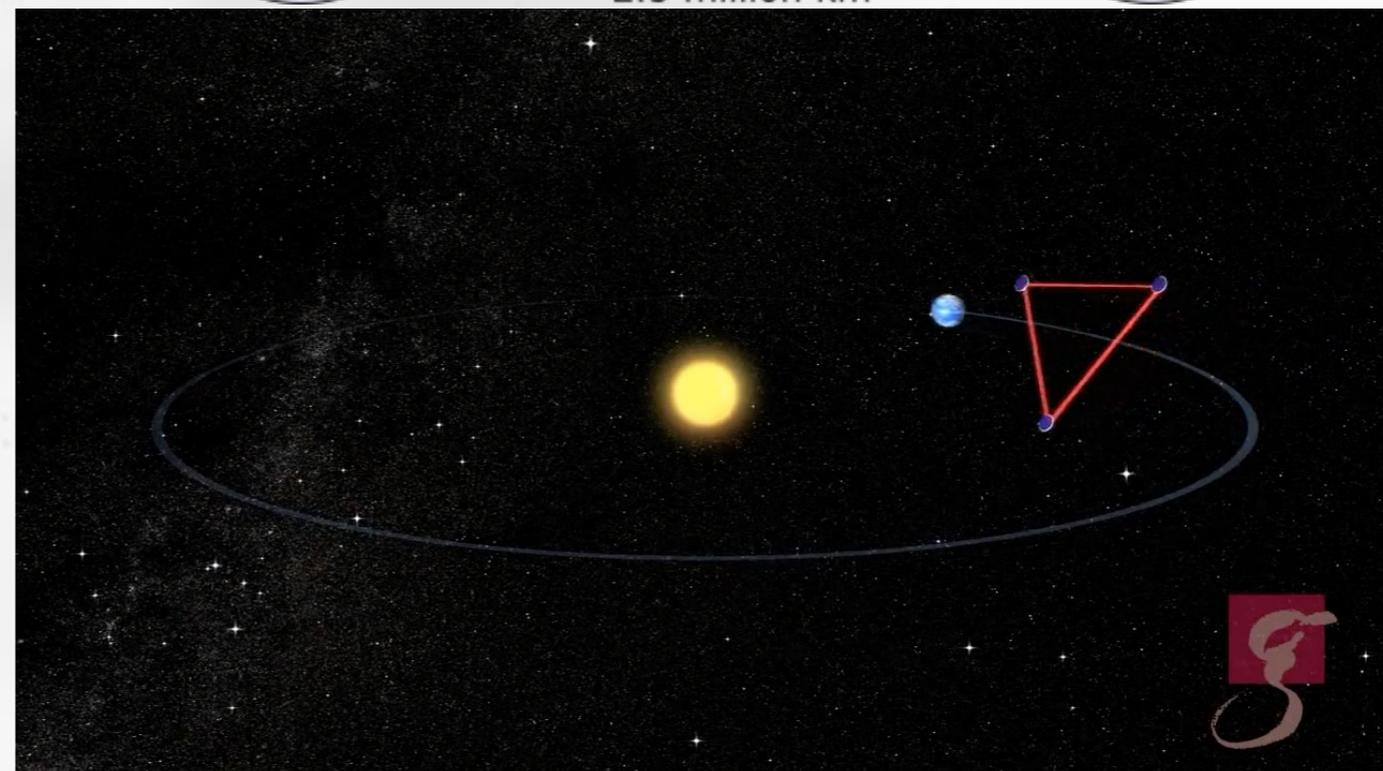
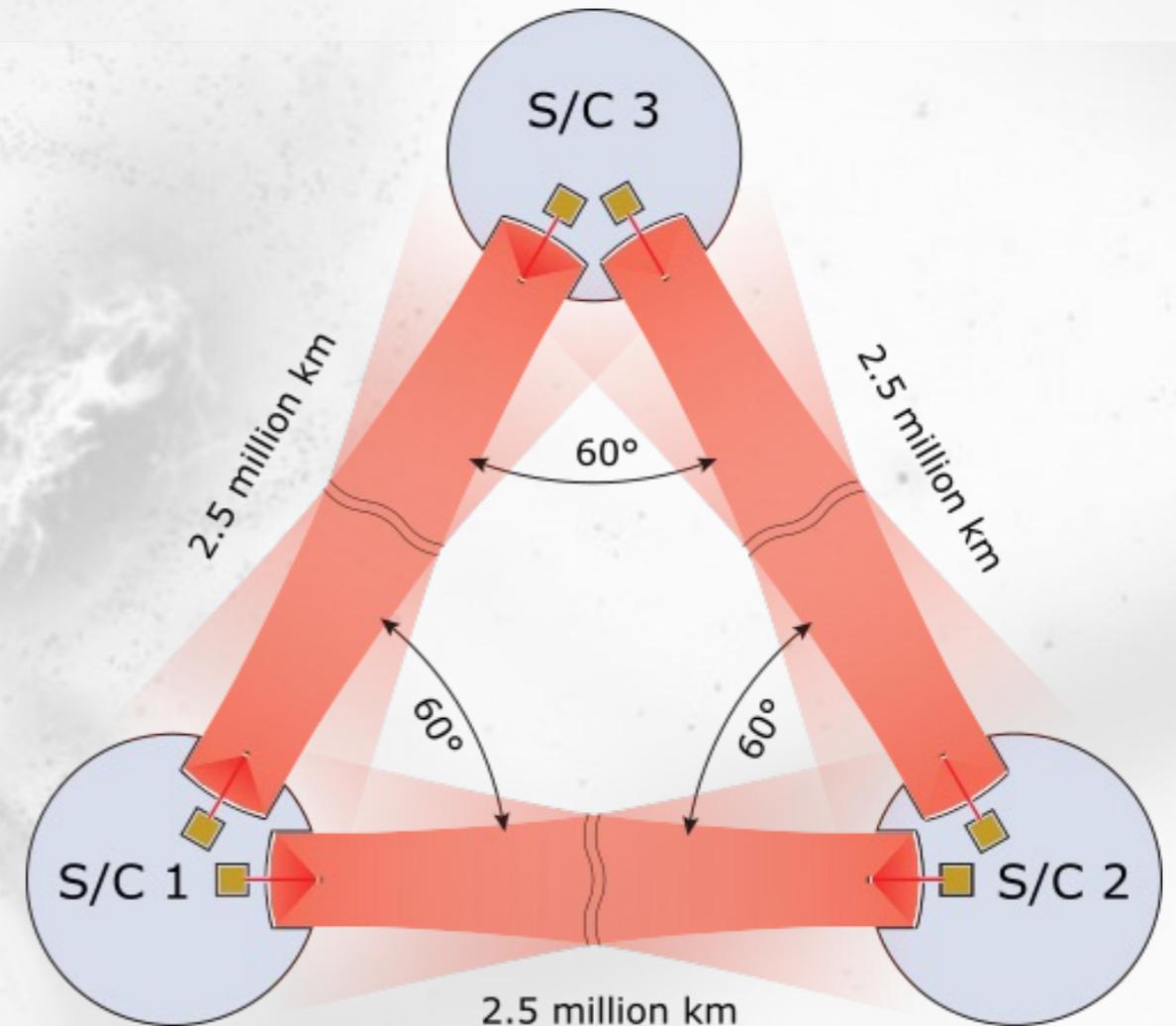
Mesure  $\leq 10 \text{ pm}/\sqrt{\text{Hz}}$  à 10 mHz

$\Rightarrow$  sensibilité de  $\sim 1 \text{ pm}/\text{Mkm}$  ( $10^{-21}$ )

LISA sera le premier détecteur de son genre

Combinaison d'équipements, formant *ensemble* un instrument de plusieurs Mkm

La connaissance fine de l'instrument et les caractérisations au sol sont cruciales





# Un rôle important pour la France



## 3<sup>ème</sup> mission 'Large' de l'ESA

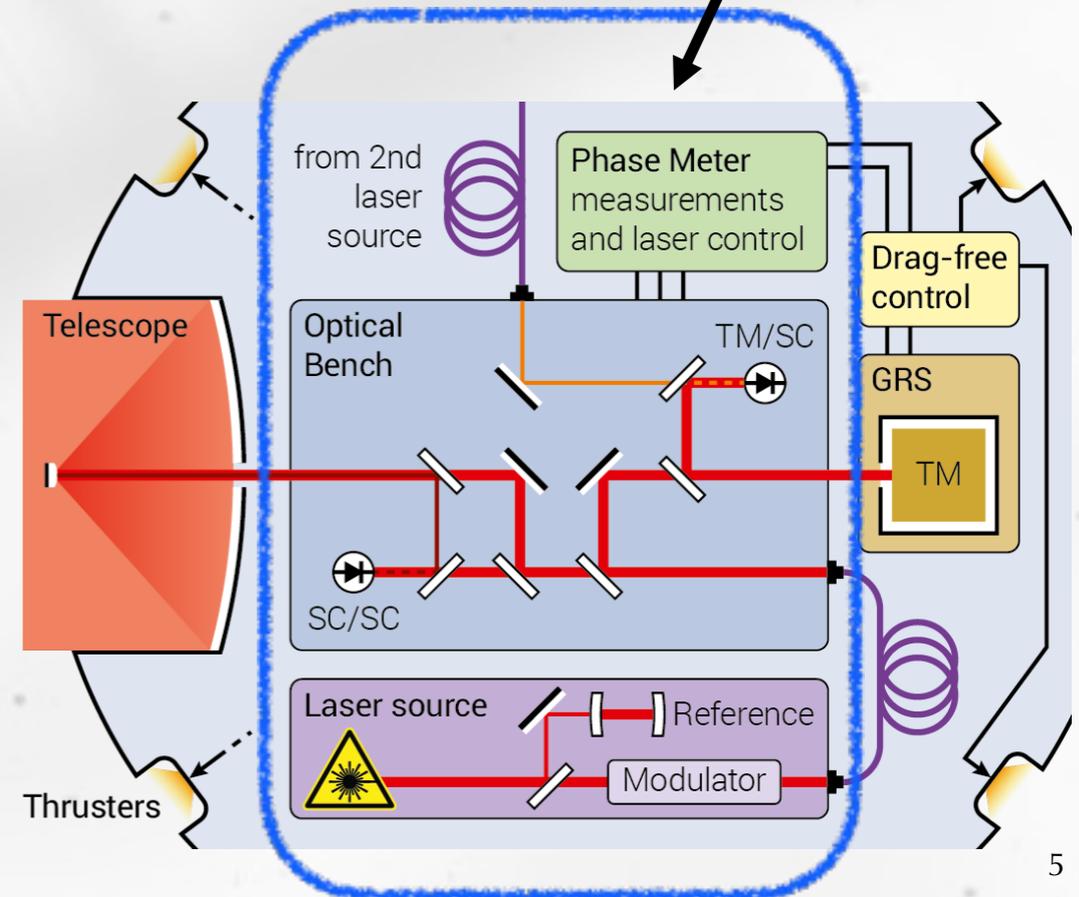
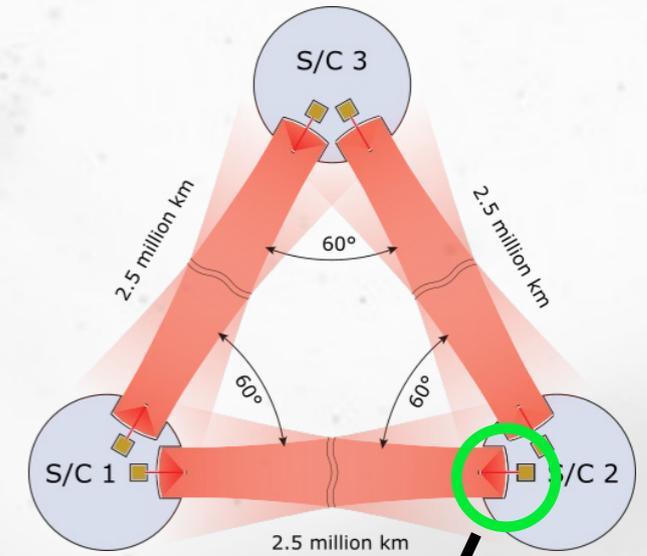
- Démonstrateur LISA Pathfinder 2015-2017
- Sélection en juin 2017
- Adoption en janvier 2024
- Lancement en 2034/2035
- ~1900 membres

## 3 contributions majeures de la France

- Centre de traitement de données scientifiques
- 'Performances et Opérations'
- **Caractérisation au sol du coeur métrologique de LISA**

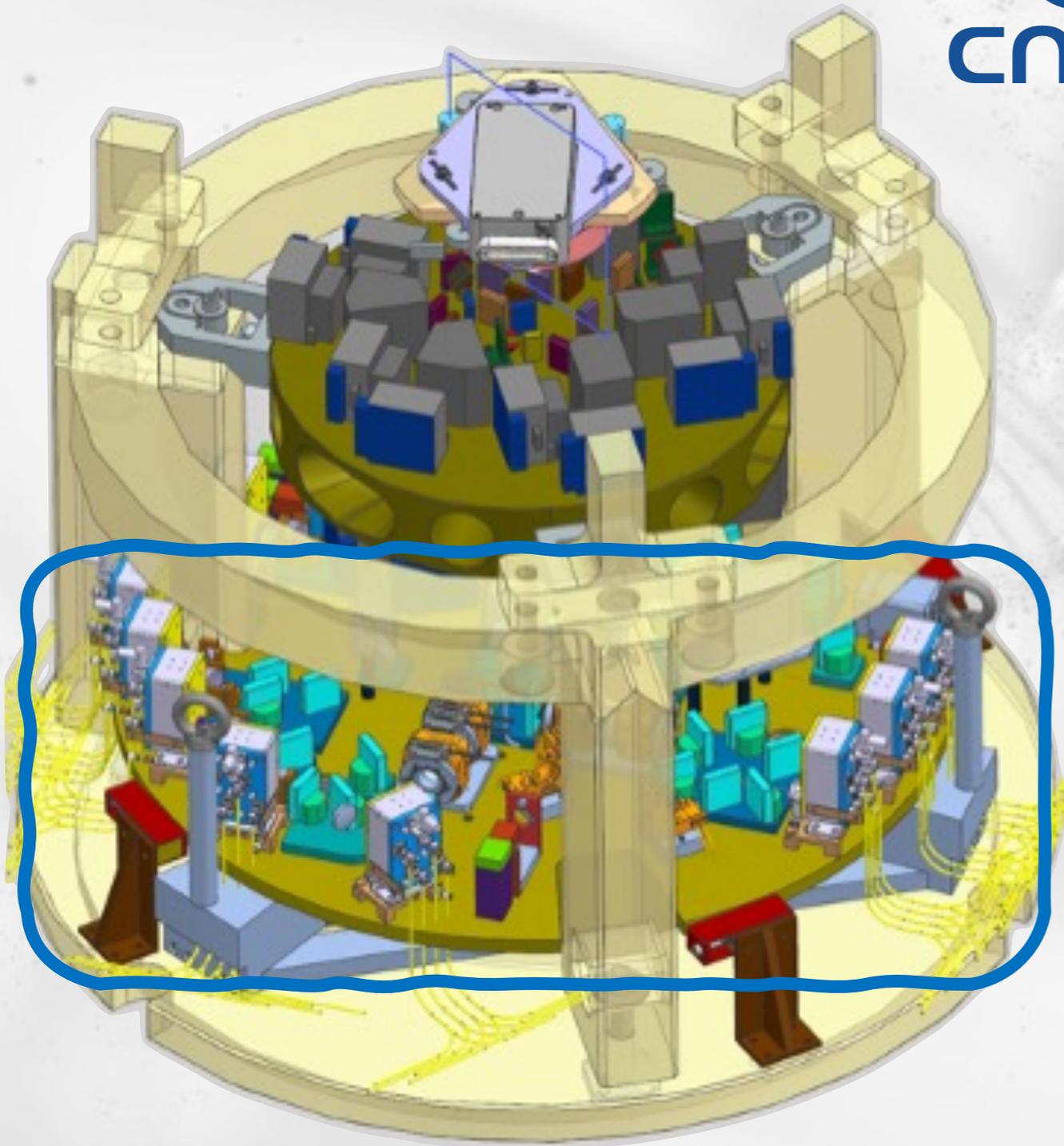
## L'APC et LISA

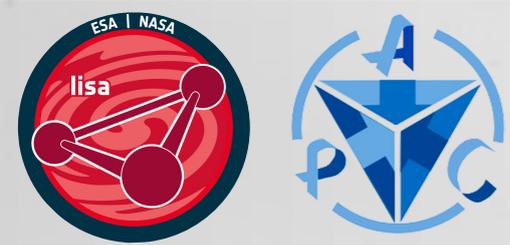
- Pionnier sur LISA en France dès 2005
- Leader sur les développements instrumentaux





# Tester LISA au sol





# Banc de démonstration

## ❖ Pourquoi ?

- ❖ Organiser la communauté française
- ❖ Valider les principales briques technologiques
- ❖ Démontrer la faisabilité d'une mesure à **10 pm/ $\sqrt{\text{Hz}}$  à 30 mHz au sol**

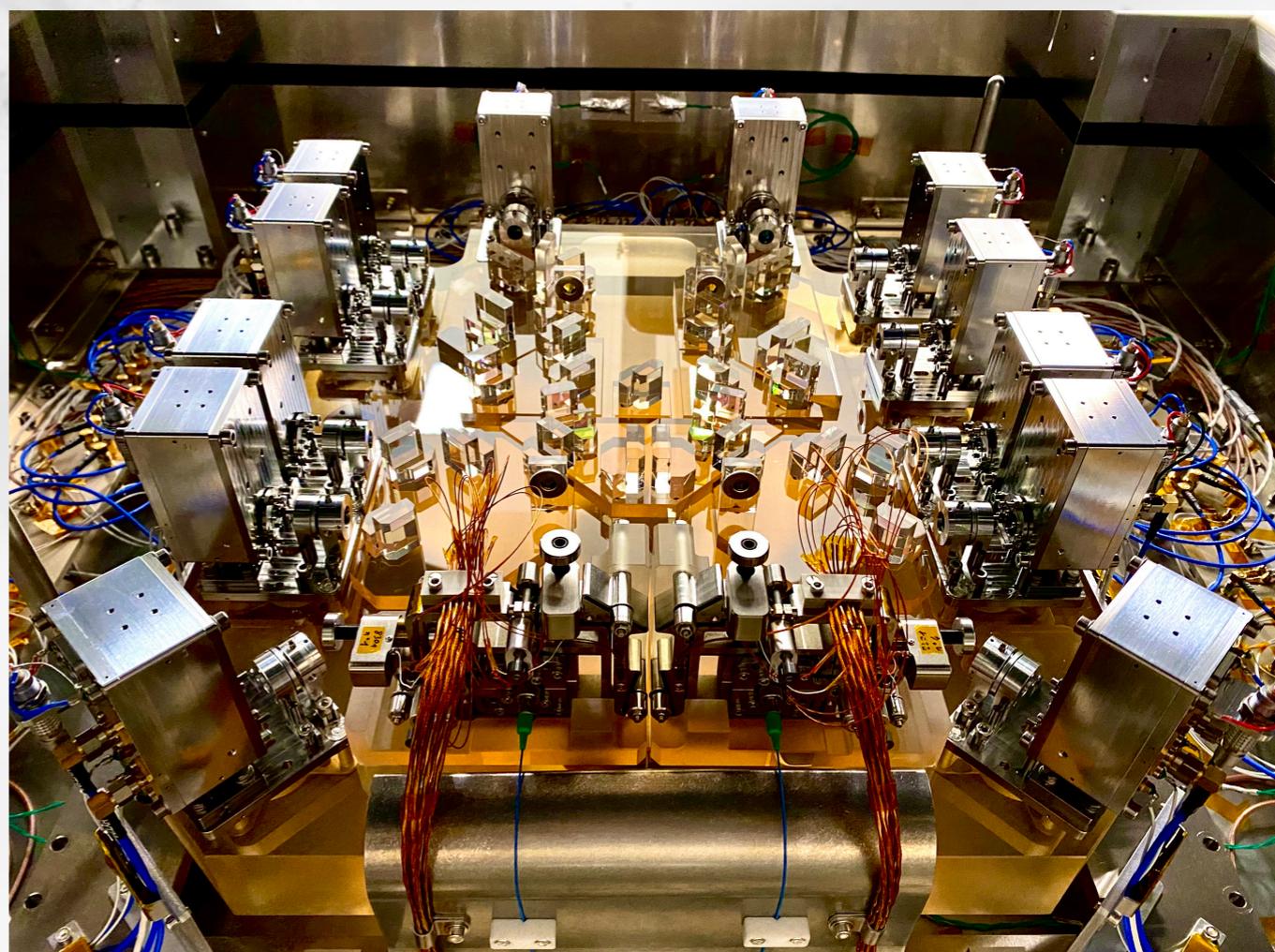
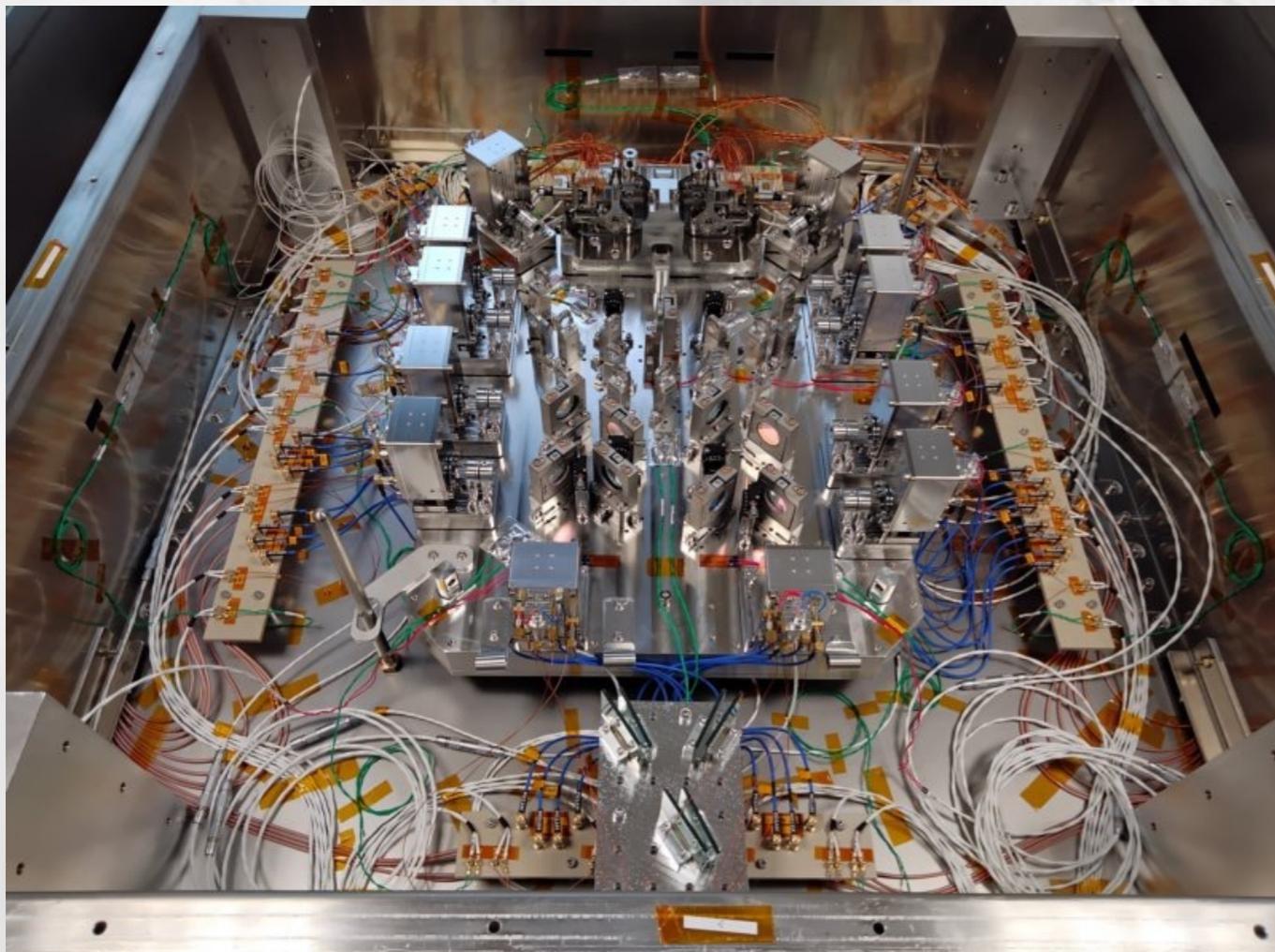
## ❖ Comment ?

- ❖ Banc d'interférométrie en zéro dur
- ❖ Campagne de test en 2023

## ❖ Défis techniques

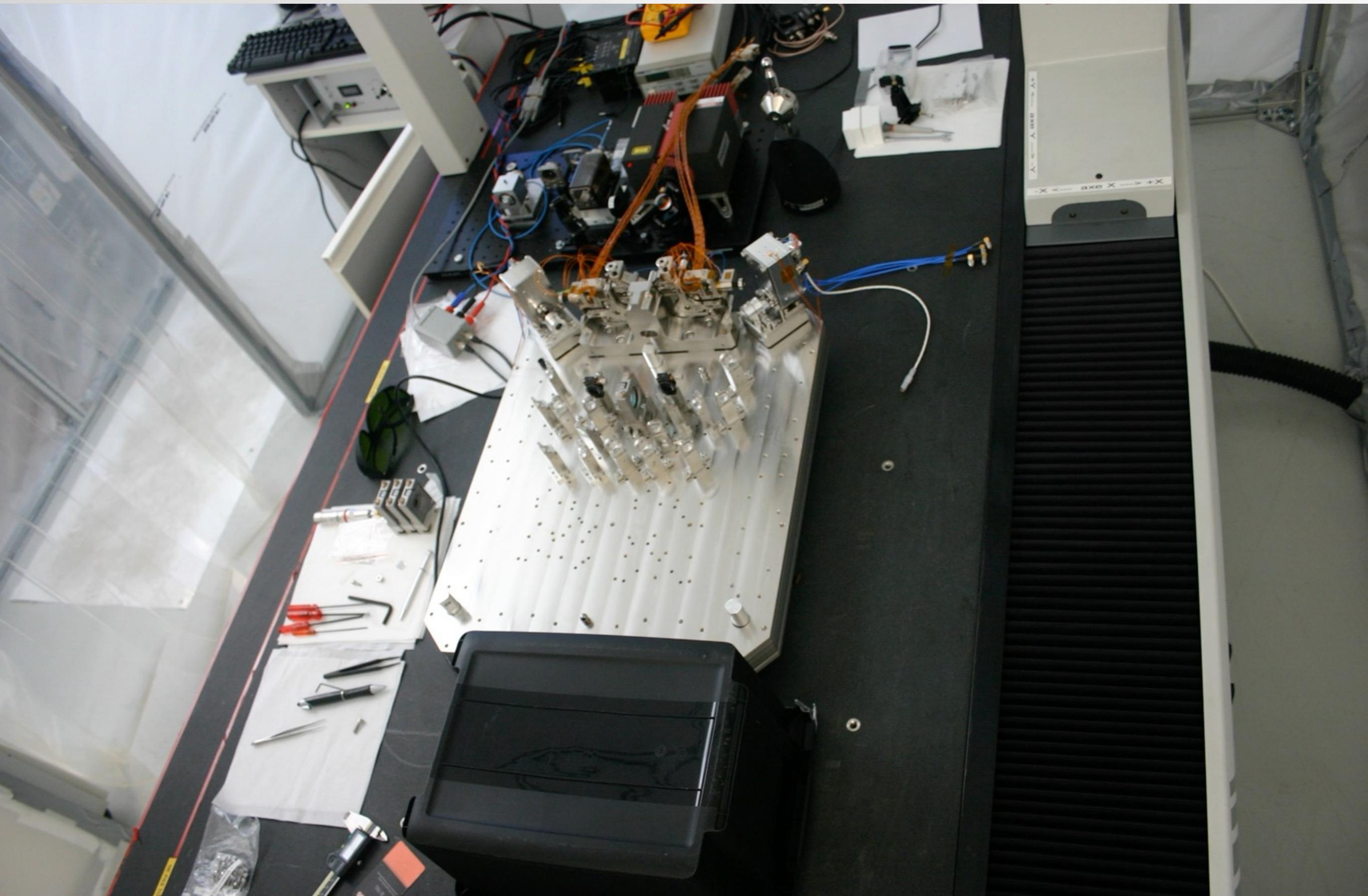
- ❖ Environnement et couplages thermiques
- ❖ Alignements et qualité optique
- ❖ Stabilité des sources lasers
- ❖ Electroniques de lecture faible bruit
- ❖ Pipelines d'analyse de données
- ❖ ...

⇒ **Bancs MIFO et ZIFO**

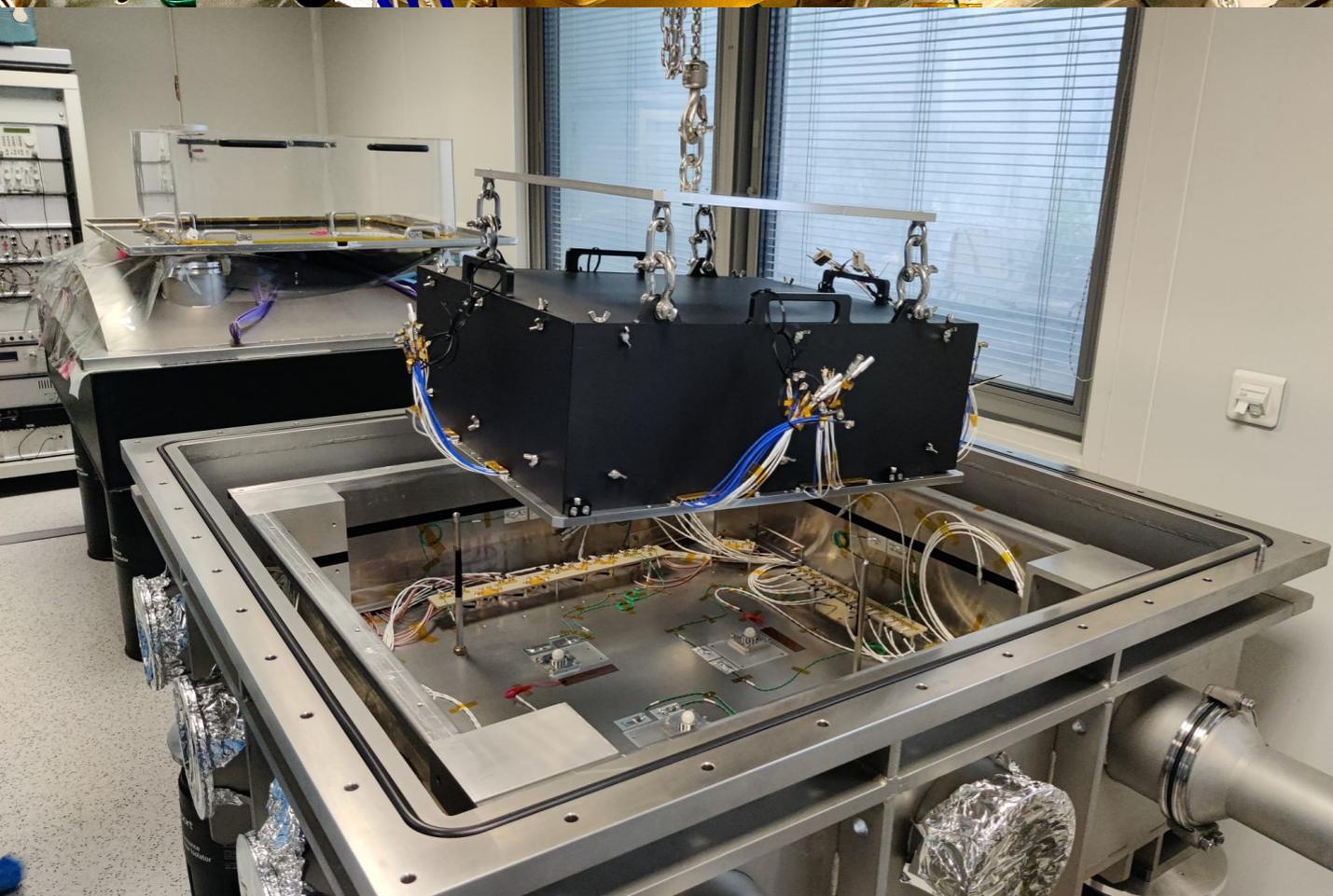
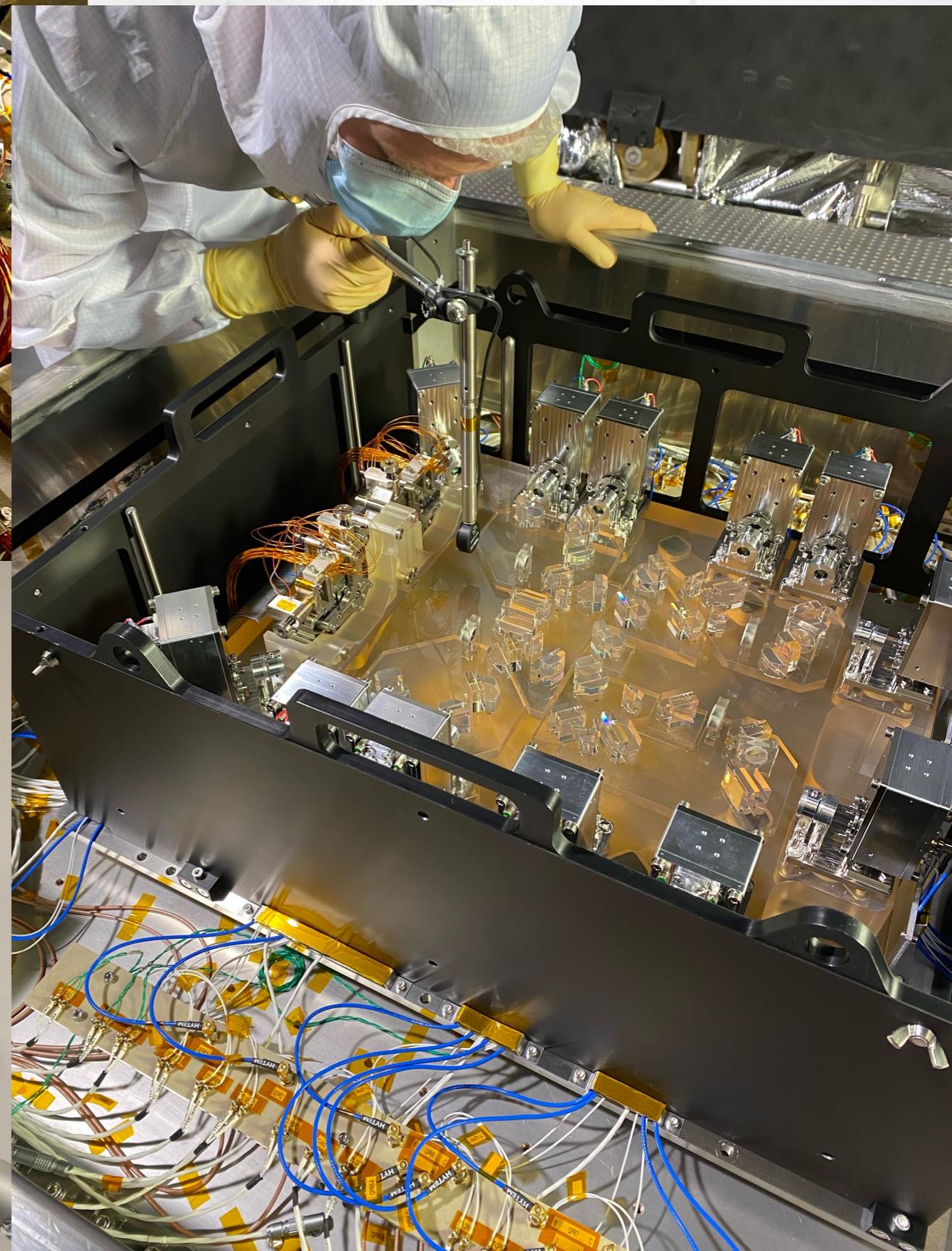
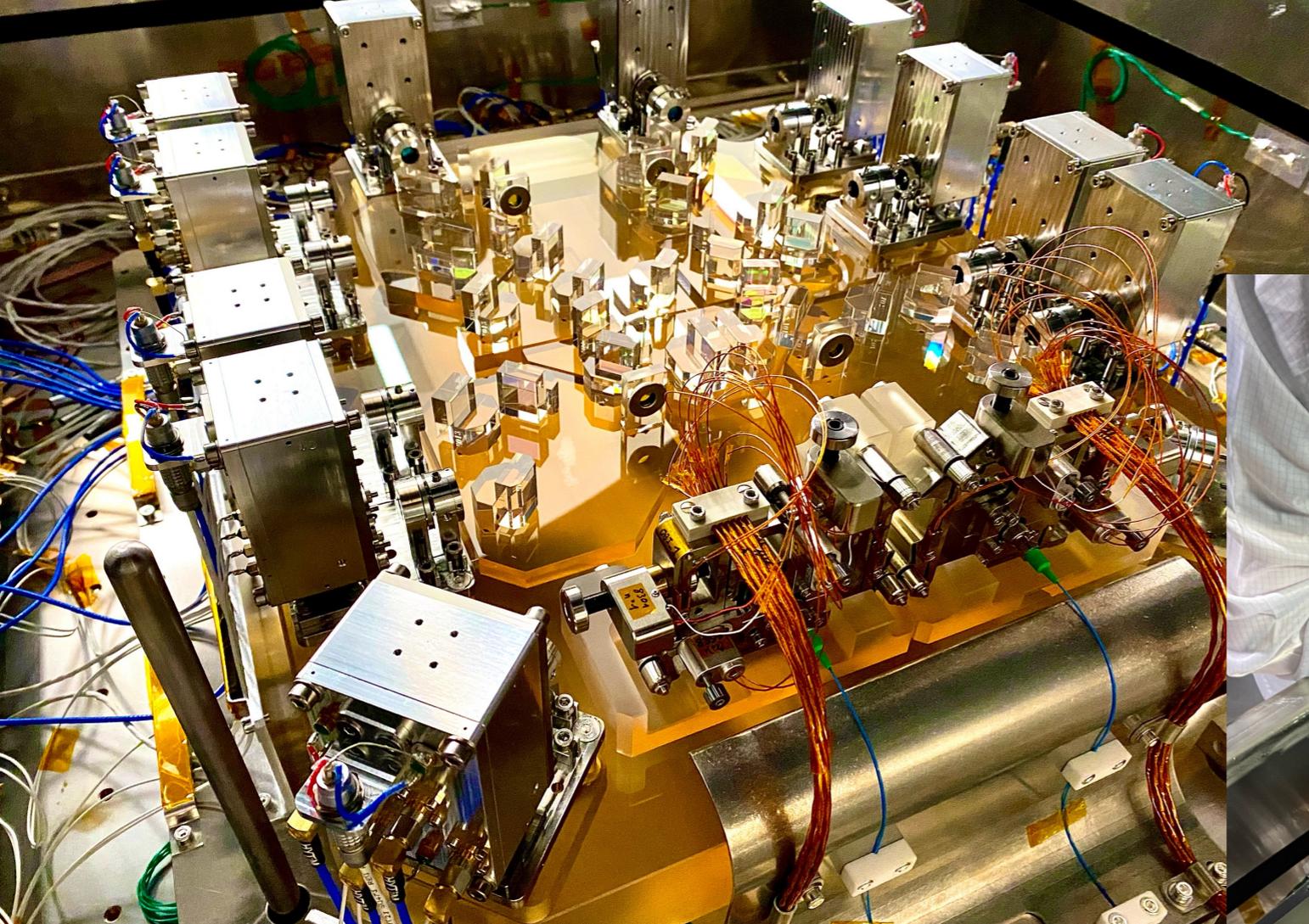




# Assemblage MIFO à l'APC



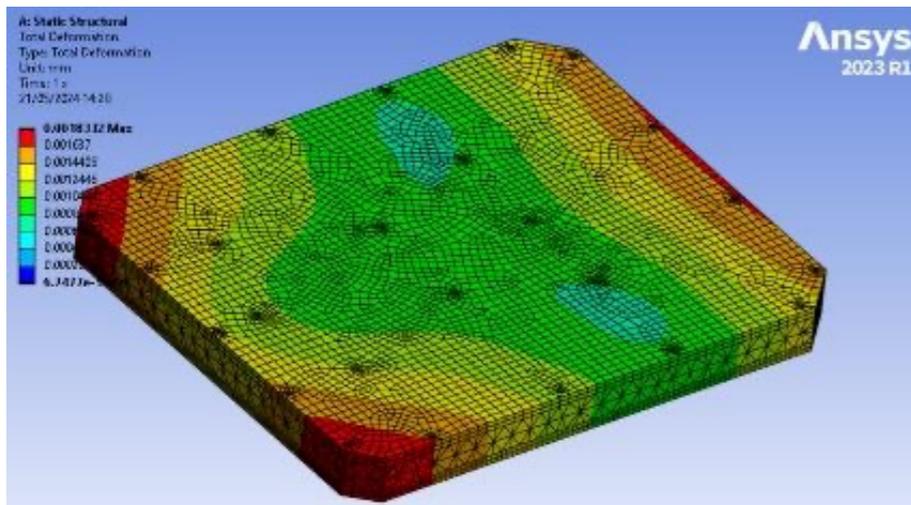
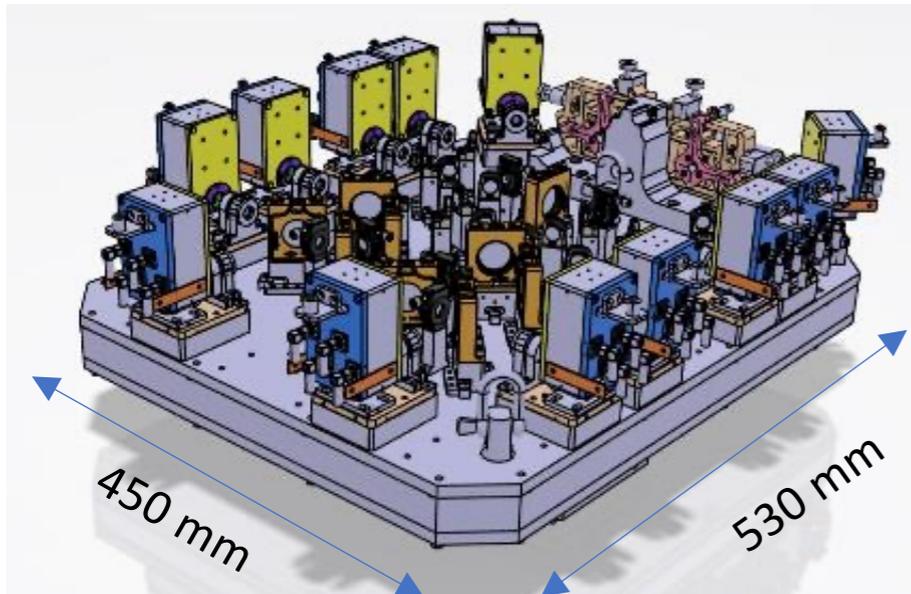
# ZIFO



# LISA / mécanique @ APC

Walter Bertoli, Kévin Biernacki, Christophe Bissonauth, Fabio Cortavarria, Stéphane Dheilily, Alain Givaudan

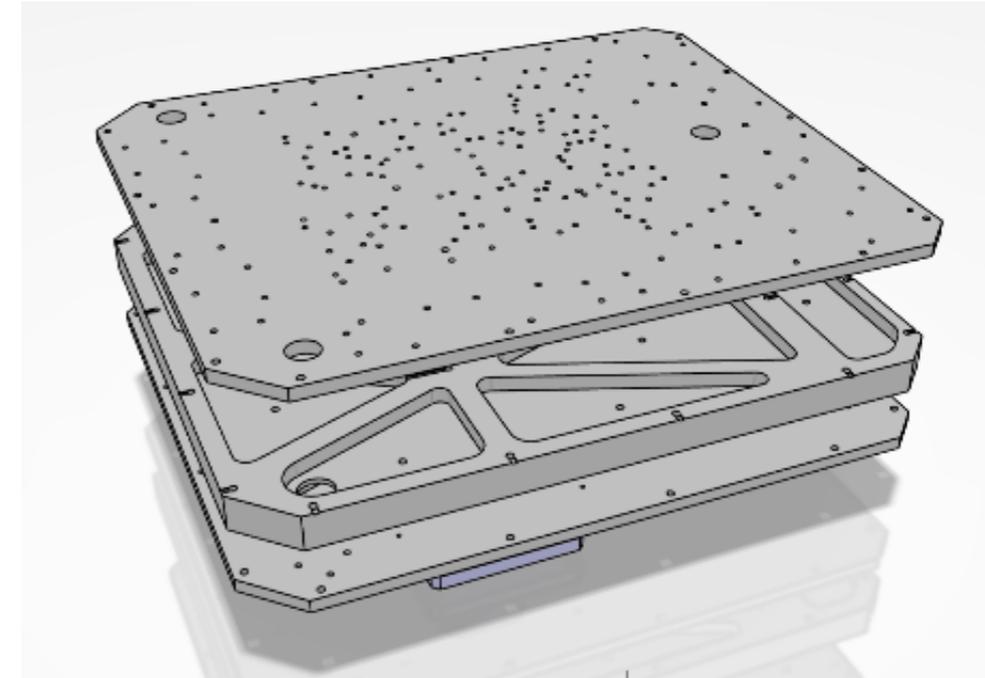
# Activités MIFO/mécanique



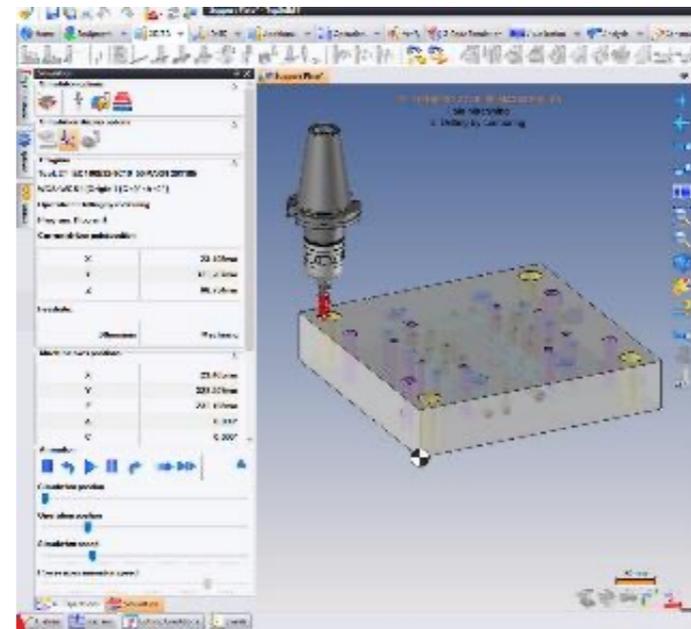
- Activités mécaniques en lien avec l'équipe projet:
  - **Conception du banc optique MIFO** (en INVAR,  $CTE 1.10^{-6} K^{-1}$ ) spécifique permettant de dérisquer/ **valider le concept avant la fabrication du ZIFO** (en Zérodur,  $CTE 0,1.10^{-6} K^{-1}$ ).
  - **Intégration d'env. 50 équipements** (montures, photodiodes, injecteurs...) provenant des laboratoires partenaires (Artemis, CEA, ...)
  - **Gestion de l'intégration globale** (gestion des interfaces, définition des enveloppes, vérification accessibilité pour passages d'outils, ...)
  - **Simulations par éléments finis** du comportement thermomécaniques et mécanique statique du banc
  - **Définition détaillée**

# Banc MIFO/mécanique

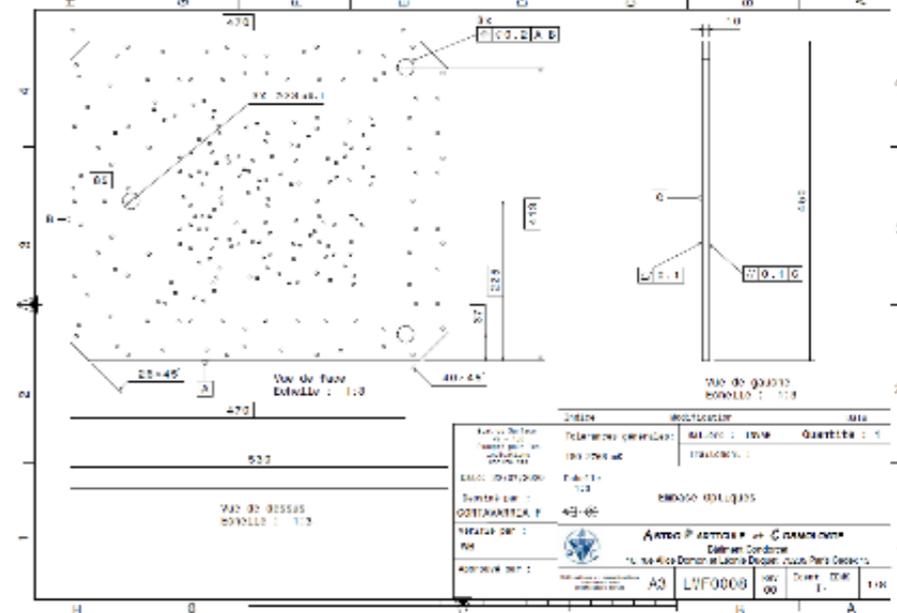
- Méthodes:
  - Traduire les plans de détails en contrat de phase:
    - Moyen d'usinage
    - Définition du brut
    - Bridage du brut
    - Outils et paramètres d'usinage
    - Trajectoires outils
    - ...
  - Définition du programme d'usinage
    - FAO sur TopSolid ou directement en interactif avec le centre d'usinage ou tour numérique



banc composé de 3 pièces monolithiques comportant plus de 250 trous positionnés à une précision de 0.1 mm



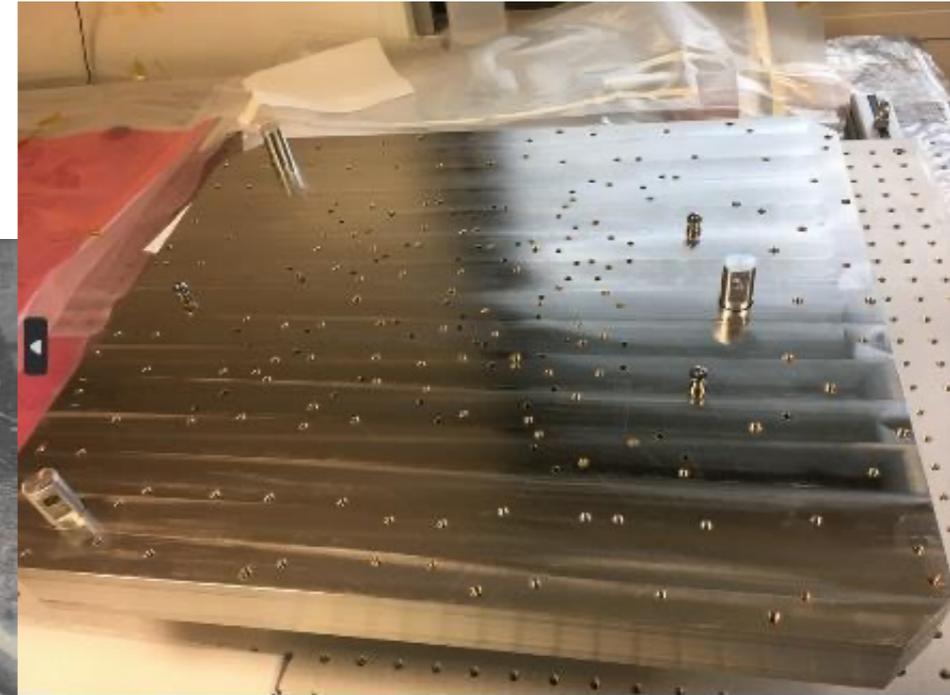
FAO sur TopSolid



Exemple de plan de détail

# Fabrication / intégration

- Usinage:
  - Usinage de l'INVAR très complexe à cause des déformations lors de l'usinage (exigence de planéité de 0,1 mm)
- Métrologie
  - Machine à Mesurer Tridimensionnelle
- Nettoyage (compatibilité ISO 8)
- Intégration
  - Montage des hélicoïls
  - Montage des équipements avec l'équipe projet
- Manutention / logistique!



Le ZIFO / MIFO, c'est fini pour la méca

La suite, le Bsim!!!

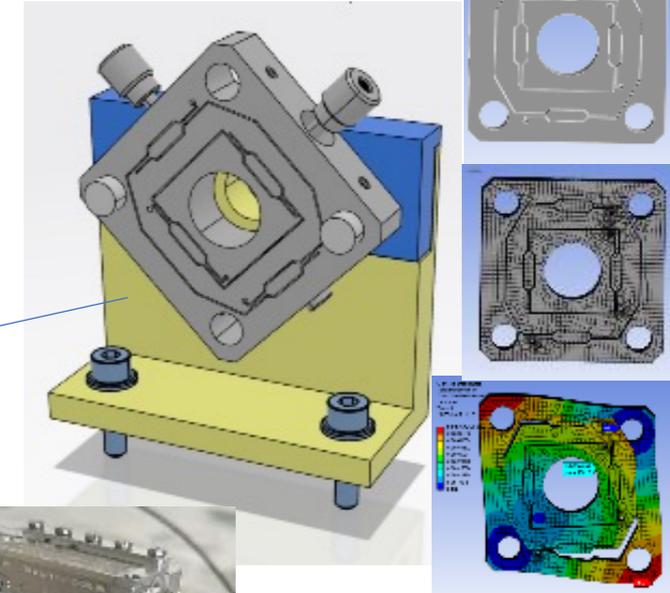
# BSIM, mécanique

- Différents workpackages

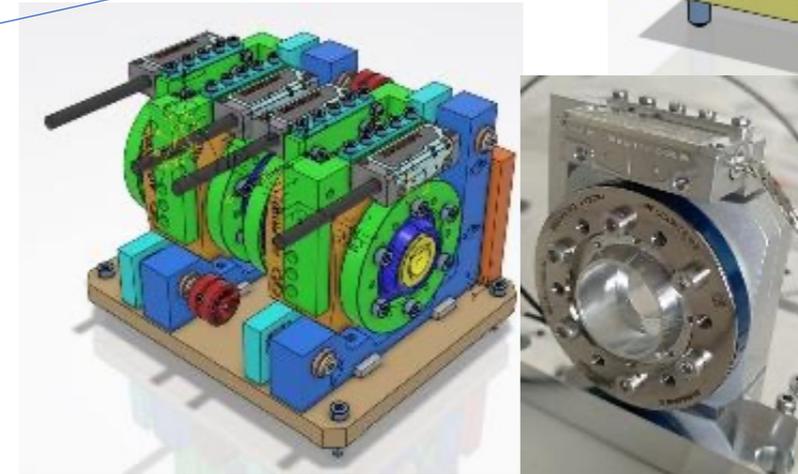
- Intégration globale



- Masque de centrage



- BPAM

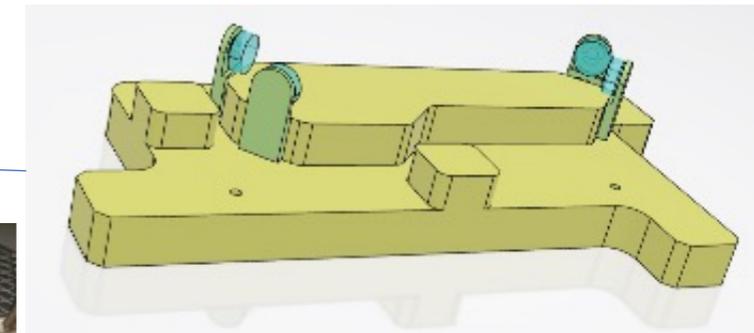
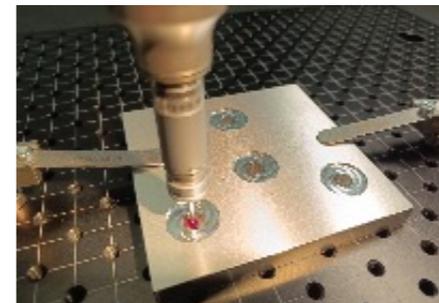
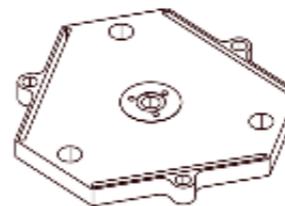


- Beam generator

- Mire optique



- Cop Calibrator





# LISA vue par l'Administration

Biennale 2024

# La notification des crédits

Le service gestion reçoit un mail :



**[WebContrat][SIGFiC] : Répartition budgétaire validée - COOPÉ 2023 - Lot 5 : BC 4500079998 - Unité UMR7164**

Expéditeur : [no-reply@webcontrat.cnrs.fr](mailto:no-reply@webcontrat.cnrs.fr)

À : [silva@apc.in2p3.fr](mailto:silva@apc.in2p3.fr)

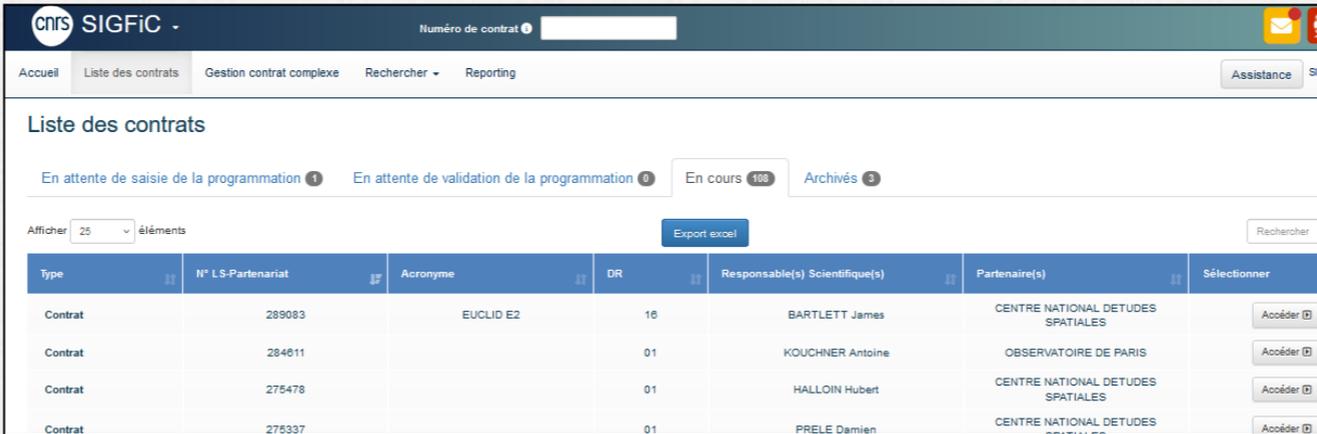
Bonjour,

Vous êtes informés du dépôt d'un ticket qui contient le message suivant :

" Demande de programmation initiale, merci de compléter la programmation des dépenses "

Vous pouvez y répondre en vous rendant dans le module de [communication](#) ou directement depuis la référence [Contrat complexe 274218](#).

Nous nous rendons sur la plateforme SIGFiC pour voir de quel contrat il s'agit :



The screenshot shows the SIGFiC web application interface. The header includes the CNRS logo and the text 'SIGFiC'. Below the header, there are navigation tabs: 'Accueil', 'Liste des contrats', 'Gestion contrat complexe', 'Rechercher', and 'Reporting'. A search bar is visible on the right. The main content area is titled 'Liste des contrats' and displays a summary of contract statuses: 'En attente de saisie de la programmation' (1), 'En attente de validation de la programmation' (0), 'En cours' (108), and 'Archivés' (3). Below this, there is a table with columns for 'Type', 'N° LS-Partenariat', 'Acronyme', 'DR', 'Responsable(s) Scientifique(s)', 'Partenaire(s)', and 'Sélectionner'. The table lists four contracts with their respective details.

| Type    | N° LS-Partenariat | Acronyme  | DR | Responsable(s) Scientifique(s) | Partenaire(s)                      | Sélectionner |
|---------|-------------------|-----------|----|--------------------------------|------------------------------------|--------------|
| Contrat | 289083            | EUCLID E2 | 16 | BARTLETT James                 | CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES | Accéder      |
| Contrat | 284611            |           | 01 | KOUCHNER Antoine               | OBSERVATOIRE DE PARIS              | Accéder      |
| Contrat | 275478            |           | 01 | HALLOIN Hubert                 | CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES | Accéder      |
| Contrat | 275337            |           | 01 | PRELE Damien                   | CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES | Accéder      |

- o Pour les projets CNES, comme LISA, nous avons des bons de commande qui nous indiquent quelle somme est allouée, pour quel motif et pour quelle durée.

**BON DE COMMANDE**

**cnés**  
CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES  
Centre Spatial de Toulouse  
18, avenue Edouard Belin  
31401 - TOULOUSE Cedex 9  
SIRET 775 965 912 00033  
Téléphone : 33 (0)5 61 27 31 31

12672  
CTRE NAT RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
INSU INSTITUT NATIONAL SCIENCES UNI  
3 R MICHEL ANGE  
BP 287-16  
FR 75766 PARIS CEDEX 16

Nous vous passons commande des prestations définies dans le tableau ci-dessous conformément aux conditions générales du marché

Lieu de livraison : Centre Spatial de Toulouse  
Pénalisable : NON

Référence à rappeler impérativement sur les correspondances et factures :  
Bon de commande n° 4500079998 du 29.11.2023  
Sur marché n° 230400/00  
Lot n° 6000038729 Lot 5 à BDC Part Toulouse Activités prép

Pour tous renseignements complémentaires, téléphoner à FLORIANA ORSO au 05 61 27 31 14

Objet : Développement BSim et DDPG - Fin de phase B1

Responsable Technique CNES : DAMERY Jean-Charles (DOA/SU/LIS)

Contact titulaire : halloin@apc.in2p3.fr ; lejeune@apc.in2p3.fr ; lucie.martin@cns-dir.fr ; insu.cnes@cnsr.fr

| Poste | Désignation                           | Date       | Quantité | P.U. H.T. EUR | Taux TVA | Prix Total H.T. EUR | Montant TVA EUR | Prix Total T.T.C. EUR |
|-------|---------------------------------------|------------|----------|---------------|----------|---------------------|-----------------|-----------------------|
| 00010 | Activités IDS jusqu'à fin de phase B1 | 28.06.2024 | 1        | 20,00         |          |                     |                 |                       |
| 00020 | Frais de gestion 2.5%                 | 28.06.2024 | 1        | 20,00         |          |                     |                 |                       |
| 00030 | Frais laboratoire 5.5 %               | 28.06.2024 | 1        | 20,00         |          |                     |                 |                       |

**BUDGET DEMANDE AU CNES PAR LABORATOIRE**

**A - MATERIELS INVENTORIABLES (liste et valeur d'achat HT du matériel inventorable de plus de 10 000 € HT)**

TOTAL MATERIELS INVENTORIABLES (théoriquement 100 % / année N de l'achat du matériel) 0

**B - ETUDES ET REALISATIONS, MATERIELS NON INVENTORIABLES**

1 Petit matériel (camera et composants optiques, électronique, outils mécaniques, ...)

2 Entretien réparation matériel

3 Consommables

4 Frais de publication

5 Utilisation moyens informatiques

6 Utilisation moyens essais

7 Achats logiciels

8 Sous-traitance (d'étude ou autre...) (Réalizations mécaniques)

TOTAL ETUDES / REALISATIONS / MATERIELS NON INVENTORIABLES

**C - MISSIONS**

| Nombre participants | Destination          | Nombre jours | Coût journalier | Coût voyage | Sous-total |
|---------------------|----------------------|--------------|-----------------|-------------|------------|
| 2                   | Divers France - IDS  | 3            |                 |             |            |
| 1                   | Divers Europe - IDS  | 4            |                 |             |            |
| 2                   | Divers France - DDPG | 3            |                 |             |            |
| 1                   | Divers Europe - DDPG | 4            |                 |             |            |

TOTAL MISSIONS PAR LABORATOIRE

**D - PERSONNEL (Vacations/Stagiaires. Les personnels en CDD ne figurent pas sur cette fiche)**

640 Euros/mois pendant 5 mois - développement des outils 'Figure of Merit' pour le DDPG

Avant la fin de l'année, le projet va être géré par des accords spécifiques avec PTF (Proposition Financière et Technique)

- o Nous demandons au responsable scientifique d'établir une prévision des dépenses par année

| COOPE 2023 CNES N°230400 _274218 - DU 20/04/23 AU 31/03/2029 |      |      |      |      |      |      |      |            |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------------|
| Programmation des dépenses                                   | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | TOTAL      |
| Fonctionnement   |      |      |      |      |      |      |      |            |
| Personnel  |      |      |      |      |      |      |      |            |
| <b>TOTAL</b>   |      |      |      |      |      |      |      | <b>0 €</b> |

- o Nous renseignons cette répartition dans SIGFIC; elle est validée par la délégation régionale et les crédits notifiés dans Geslab

The screenshot displays the GESLAB GESTION FINANCIERE web interface. At the top, it shows the user's name (Beatrice SILVA) and the laboratory information (Laboratoire : 1087 - Exercice 2024). The main navigation bar includes tabs for Administration, Editions, Liens autres applis, Budget, Missions, Dépenses, Service Fait, Factures, Inventaires, Référentiels, Fin d'exercice, and Facturation client. The dashboard is divided into several sections:

- Actualités:** A list of news items regarding software version updates (12.0, 11.2, 11.1.1, 11.1, 11.0).
- Mouvements à intégrer:** A table showing notifications and movements to be integrated, with counts for Notifications (1), Engagements individuels (0), Factures (0), and Origines d'enveloppe (3).
- Mouvements à valider:** A table showing movements to be validated, with counts for Demandes d'achat "en attente" ou "en cours" (12), Demandes de missions "enregistrée" ou "imputée" (0), Commandes enregistrées (non imprimées) (1), Commandes rejetées (1), Réservations rejetées (0), Constatations rejetées (0), Missions à imprimer (35), and Commandes à viser (0).
- Services Faits:** A section showing the number of services completed, with a count of 10.
- Mouvements intégrés automatiquement:** A section showing movements automatically integrated, with a count of 6.
- Mouvements banalisés (EEE/MMM) à imputer:** A section showing the number of banalized movements to be imputed, with a count of 2.

- o Le cas échéant, nous créons une nouvelle entité
- o Nous répartissons les crédits sur l'entité

Les crédits peuvent être engagés.

**GESLAB** LABORATOIRE : UMR7164 UMR 7164 APC  
**GESTION FINANCIERE** BILAN FINANCIER D'UNE ENTITE DEPENDSIERE PAR ORIGINE

Le : 29/03/2024  
 Exercice : 2024  
 Page : 107 / 155

Entité dépendsière : LISA\_INST LISA\_INST Halloin

| Code origine  | Libellé origine                             | Num AGD/PFI       | Date de fin | Total réparti sur l'exercice (*) | Total consommé | Total réservé | Disponible |
|---|---|-------------------|-------------|----------------------------------|----------------|---------------|------------|
| CNES 2018   | CNES 2018_181672***31/03/2025               | AGDI_181672_01_30 |             |                                  |                |               |            |
| CNES DDPC   | CNES_DD/<br>LISA_274218 HALLOIN***31/03/202 | AGDI 274218 01 30 |             |                                  |                |               |            |
| RPB-A   | 3015 Ressources Propres Achat               | N/A               |             |                                  |                |               |            |
| Total pour l'entité LISA_INST Halloin pour les origines de l'état |   |                   |             |                                  |                |               |            |

# Les achats

- o Les demandeurs d'achat doivent établir des devis (trois en cas de dépense supérieure à 4 K€) et saisir une demande d'achat dans Geslab, ou saisir une demande de mission dans Etamine.
- o Pour chaque dépense, mission, recrutement, le service gestion va vérifier si l'entité a suffisamment de crédits, quelle origine de crédits il faut utiliser en priorité (celle qui périmé en 1<sup>er</sup>) et si l'origine de crédits autorise le type de dépense envisagé.

# Les seuils des achats

- o Afin de respecter les 3 grands principes de la commande publique (Liberté d'accès /Égalité de traitement des candidats/ Transparence des procédures), les achats publics sont très encadrés.
- o Il existe des marchés
- o Il existe un seuil annuel de 40 000 € par code NACRES (famille homogène: par exemple RA22 Outils à main non électroportatifs)
- o Il existe un seuil par achat de 40 K€
- o Il existe un autre seuil de 143 K€

- o Les gestionnaires vérifient par conséquent le respect de tous ces seuils
- o En cas d'achat compris entre 40 et 143 K€, le service gestion en collaboration avec le responsable technique lance une **procédure adaptée** pour publier une offre sur la plateforme PUMA
- o En cas d'achat supérieur à 143 K€, le service gestion met en relation le responsable technique du projet et le service achat de la délégation afin de lancer une **procédure formalisée**.

# Anticipation !

- o Chaque début d'année le bureau des marchés nous demande de renseigner sur une plateforme (PROMIS) la liste des achats supérieurs à 90 K€ que nous aurons à effectuer dans l'année
- o En 2023, un rétro planning élaboré par la DR a conduit à l'abandon d'un projet d'achat.
- o Dès avril, nous avons été sollicité pour un marché qui commencera au 4T24.

Cela permet de réfléchir avec la délégation (réunions en visio) à la meilleure stratégie à mettre en place.

Les procédures peuvent être longues : il faut anticiper !

# Justification des dépenses

- o Le service gestion peut indiquer à tout moment au responsable scientifique de quels crédits il dispose
- o Le service gestion procède également aux justifications des dépenses demandées par les tutelles (accessoire pour les crédits CNES mais très chronophage pour les contrats européens)



---

# Biennale de l'APC

22.05.2024

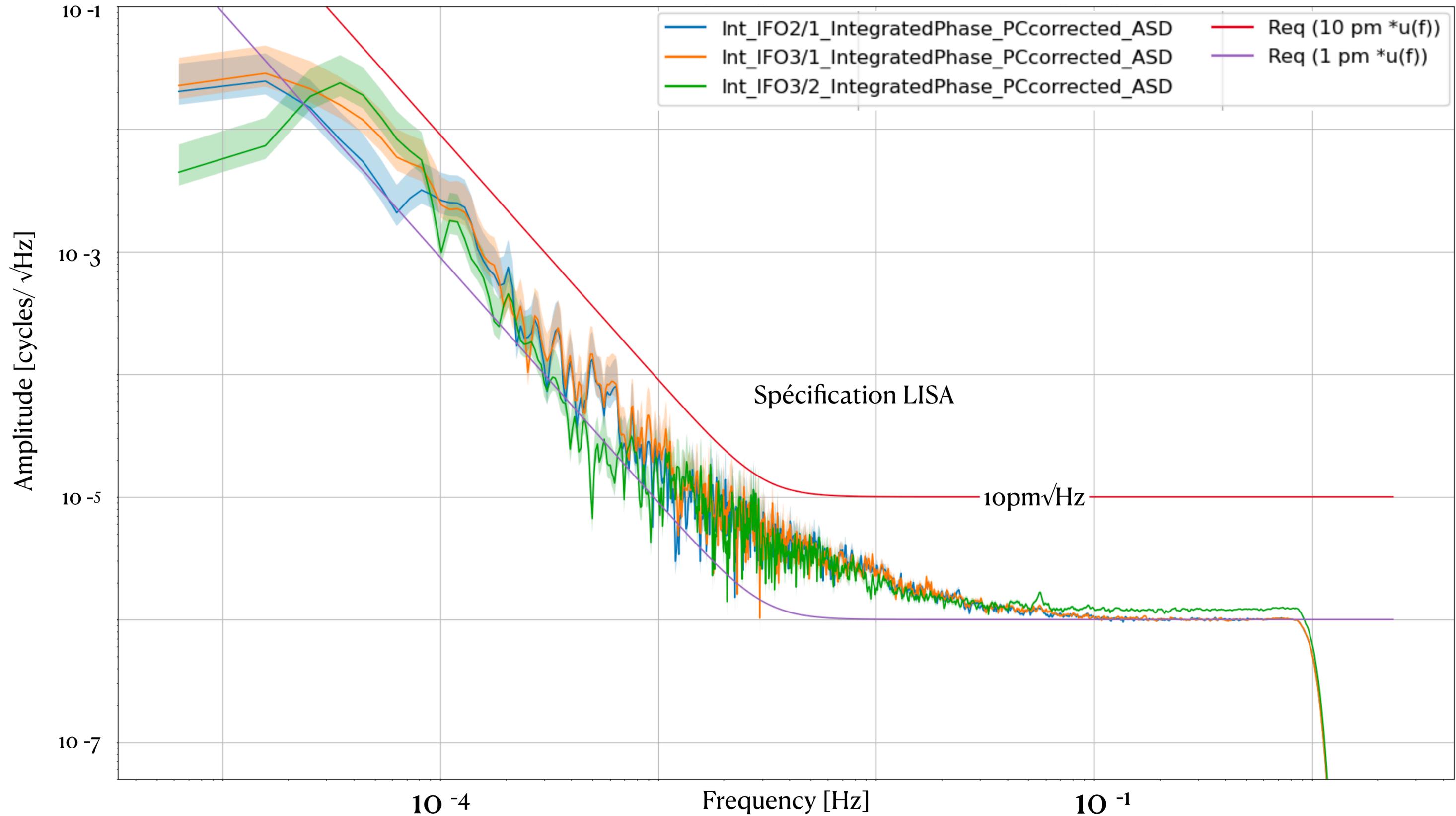
# ZIFO

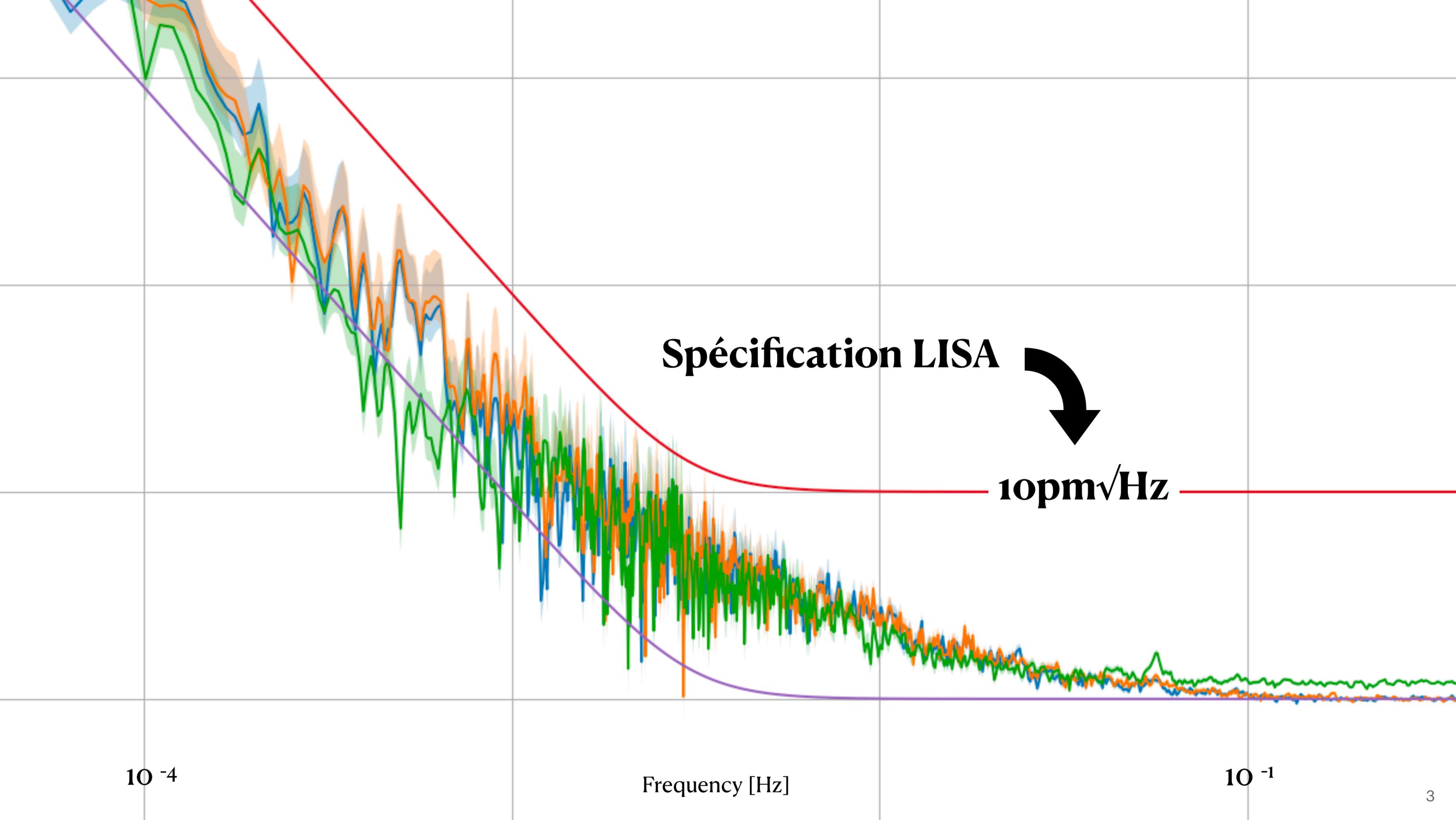
# Résultat des tests

**MAXIME VINCENT, SHIVANI HARER**

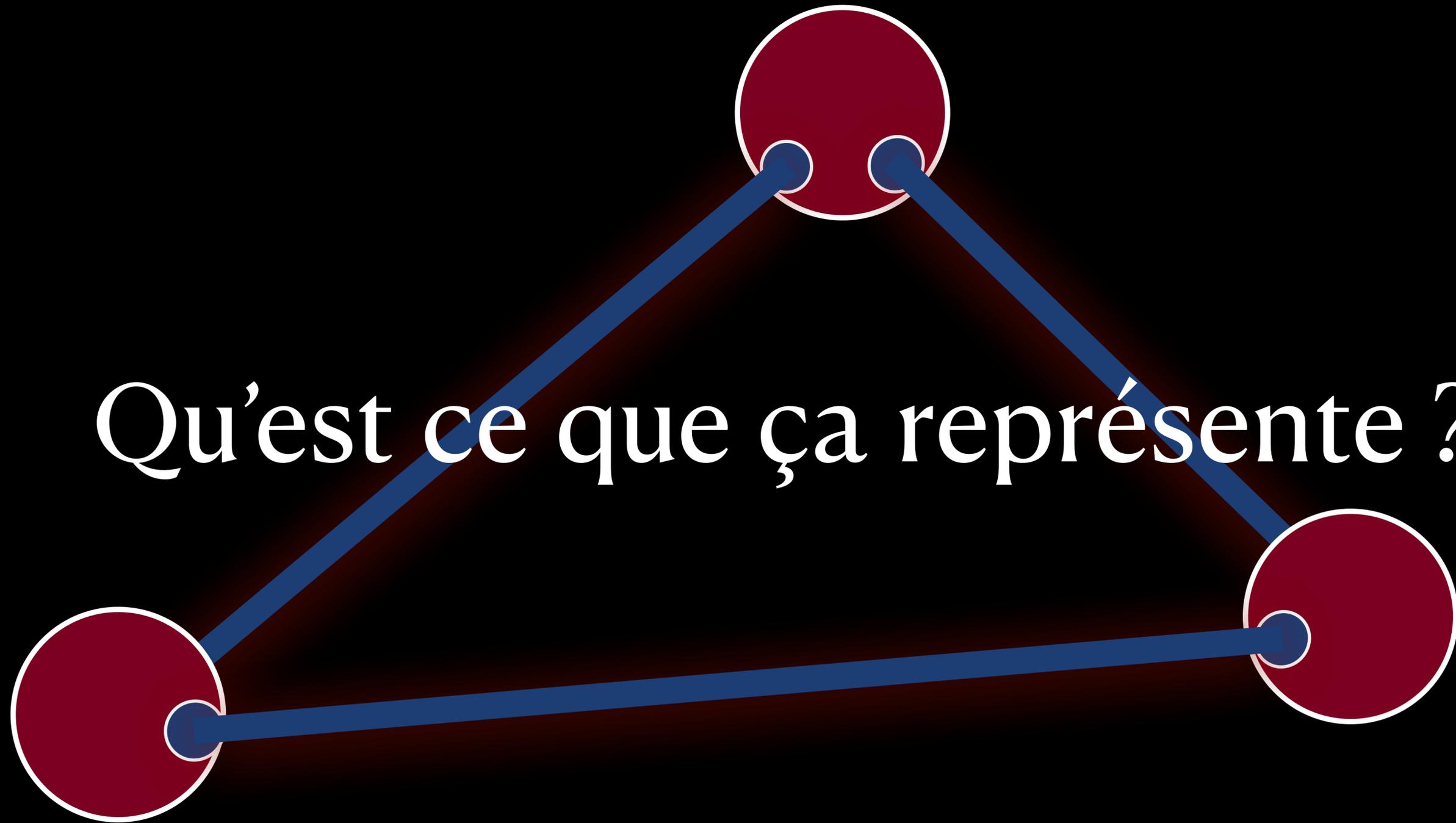
**SUPERVISOR : HUBERT HALLOIN**

# Densité Spectrale d'Amplitude de la variation de chemin optique

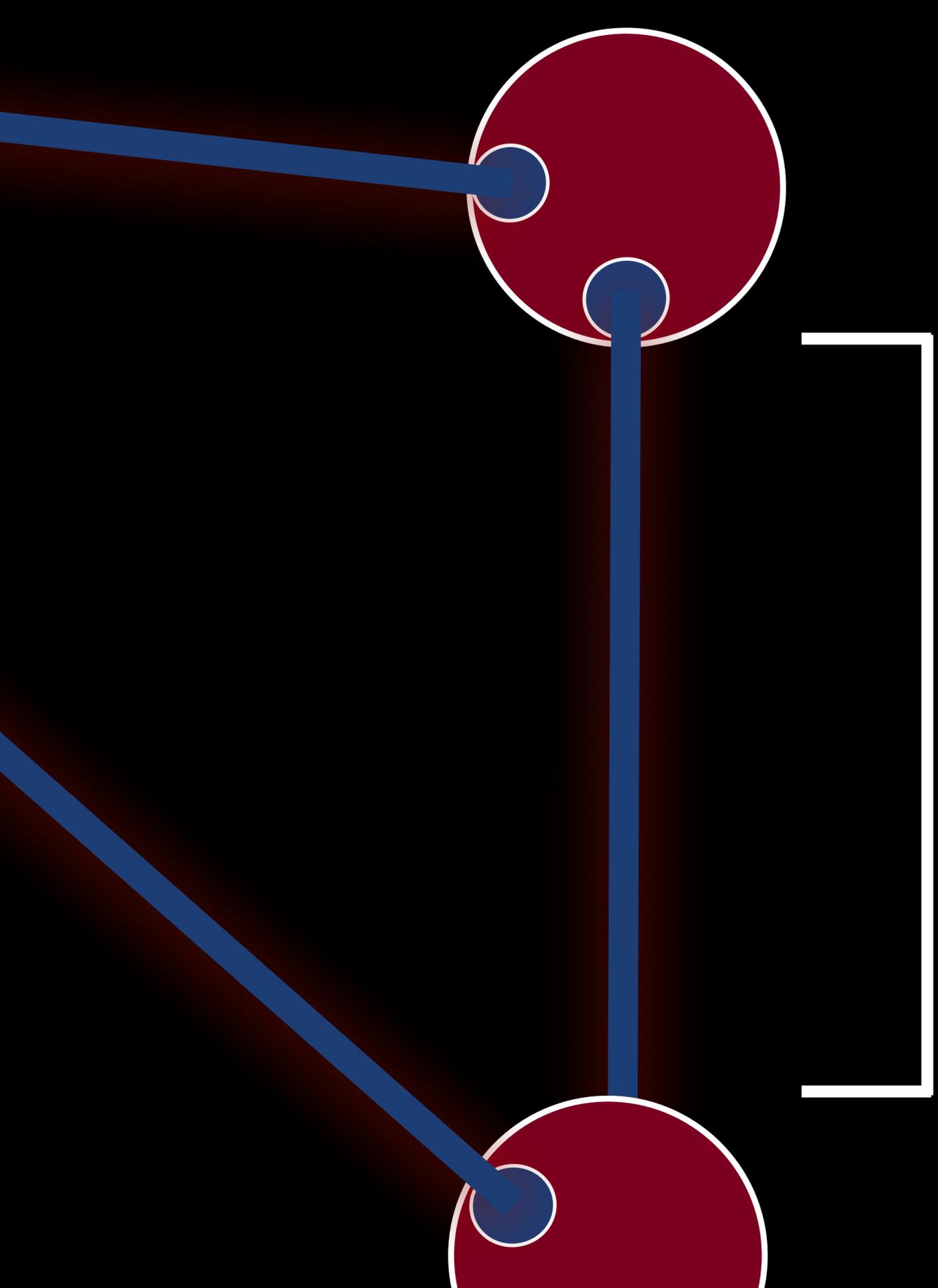




Qu'est ce que ça représente ?



Qu'est ce que ça représente ?



2,500,000 km

The diagram consists of two large red circles, one at the top and one at the bottom. A thick blue vertical line connects the center of the top circle to the center of the bottom circle. A white bracket on the right side of this line indicates the distance between the two circles. The text '2,500,000 km' is written in white next to the bracket. Additionally, there are two smaller blue circles, one on the left side of the top red circle and one on the left side of the bottom red circle, connected to the main blue line by thin blue lines.

Qu'est ce que ça représente ?

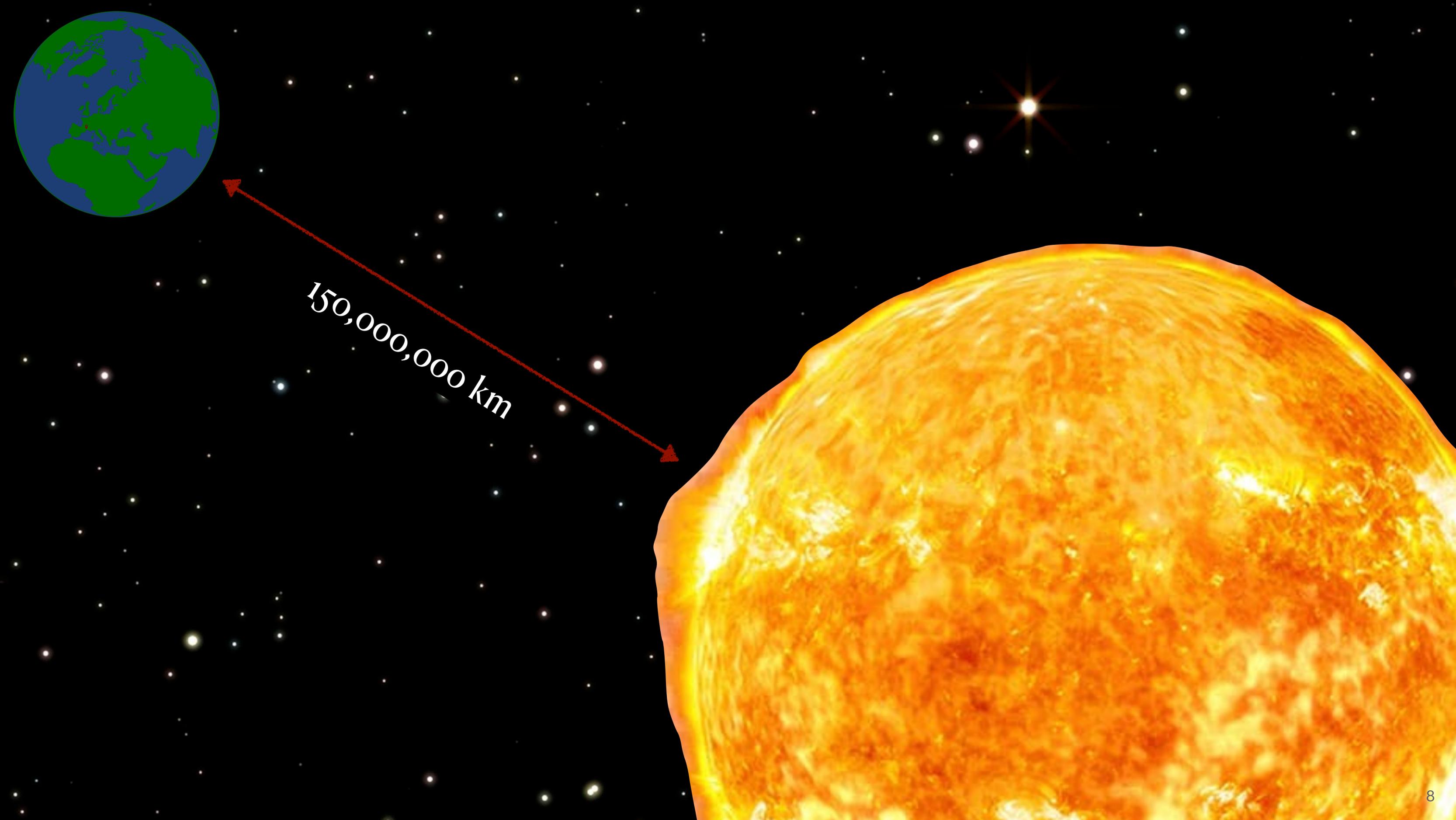
2,500,000 km

±

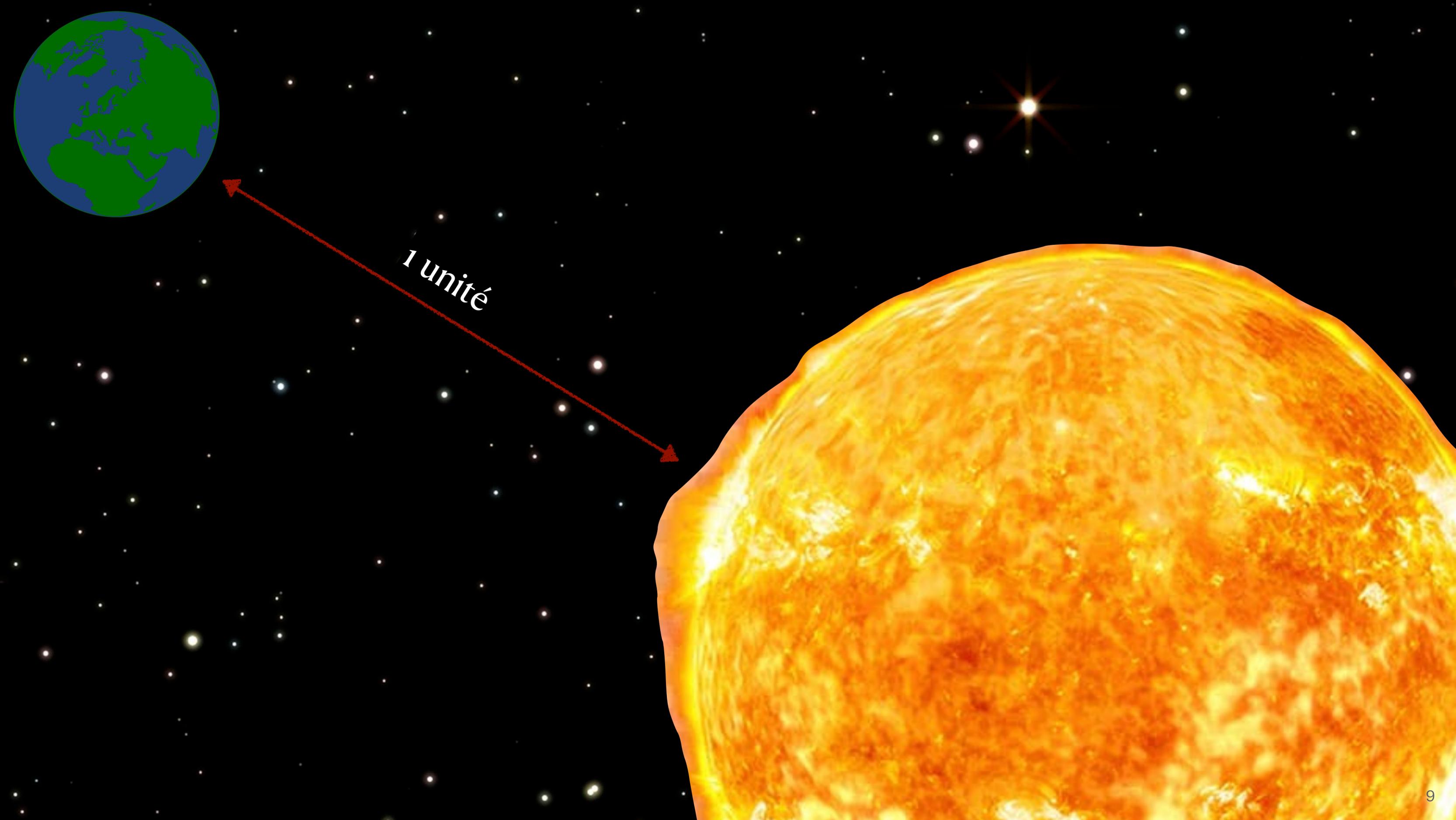
0.0000000000000001 km

(10 picomètres)





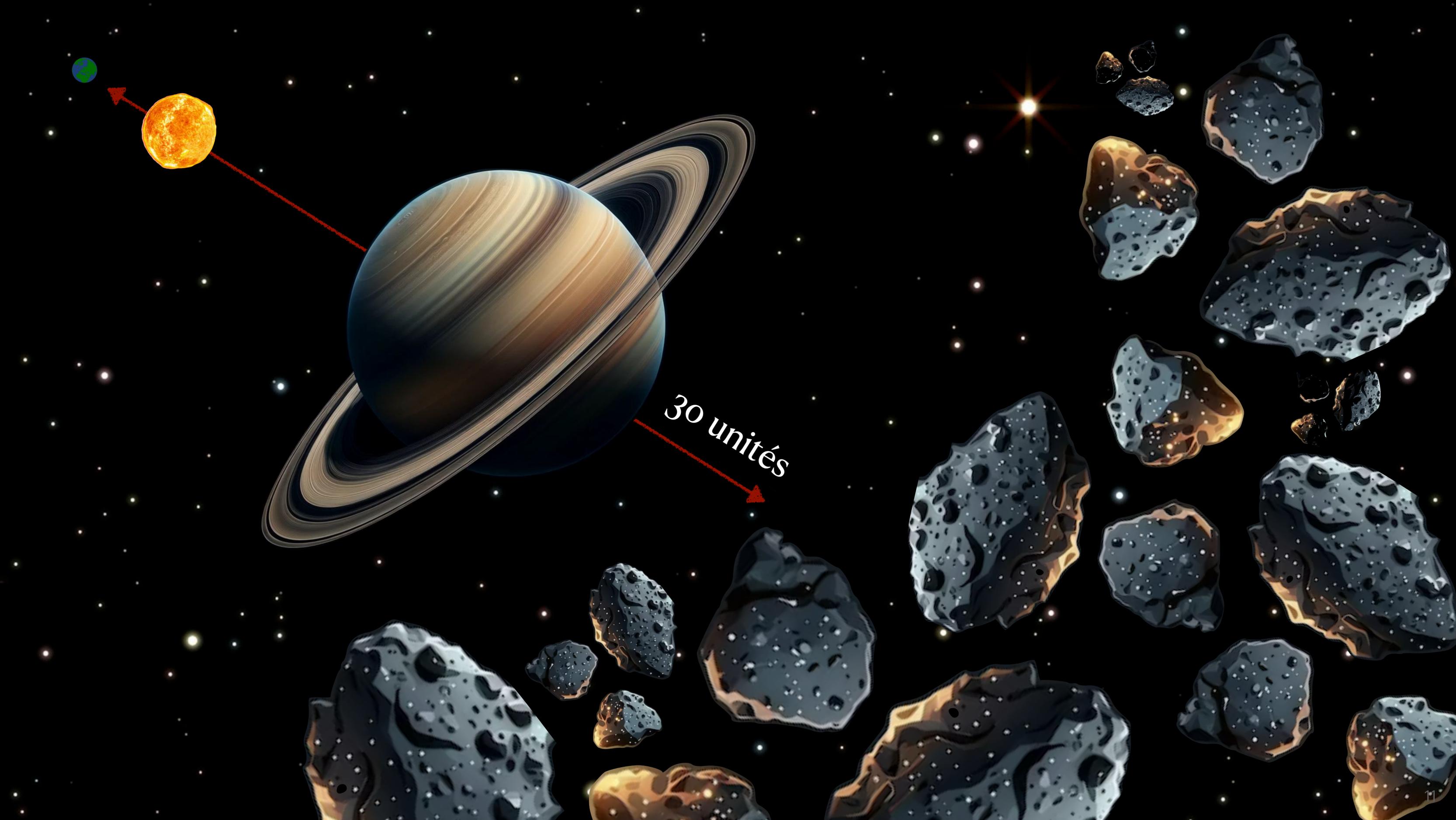
150,000,000 km



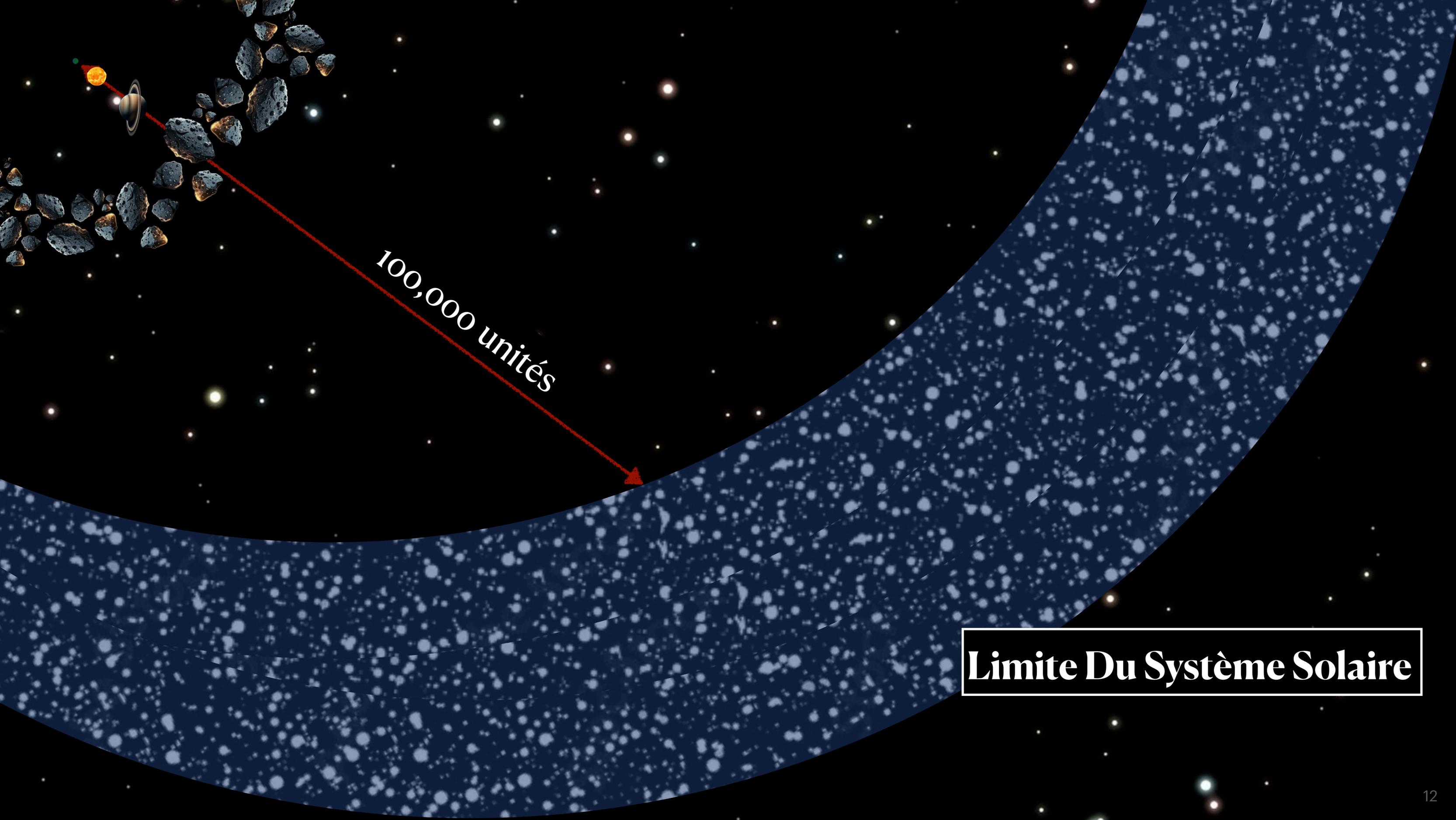
1 unité



10 unités

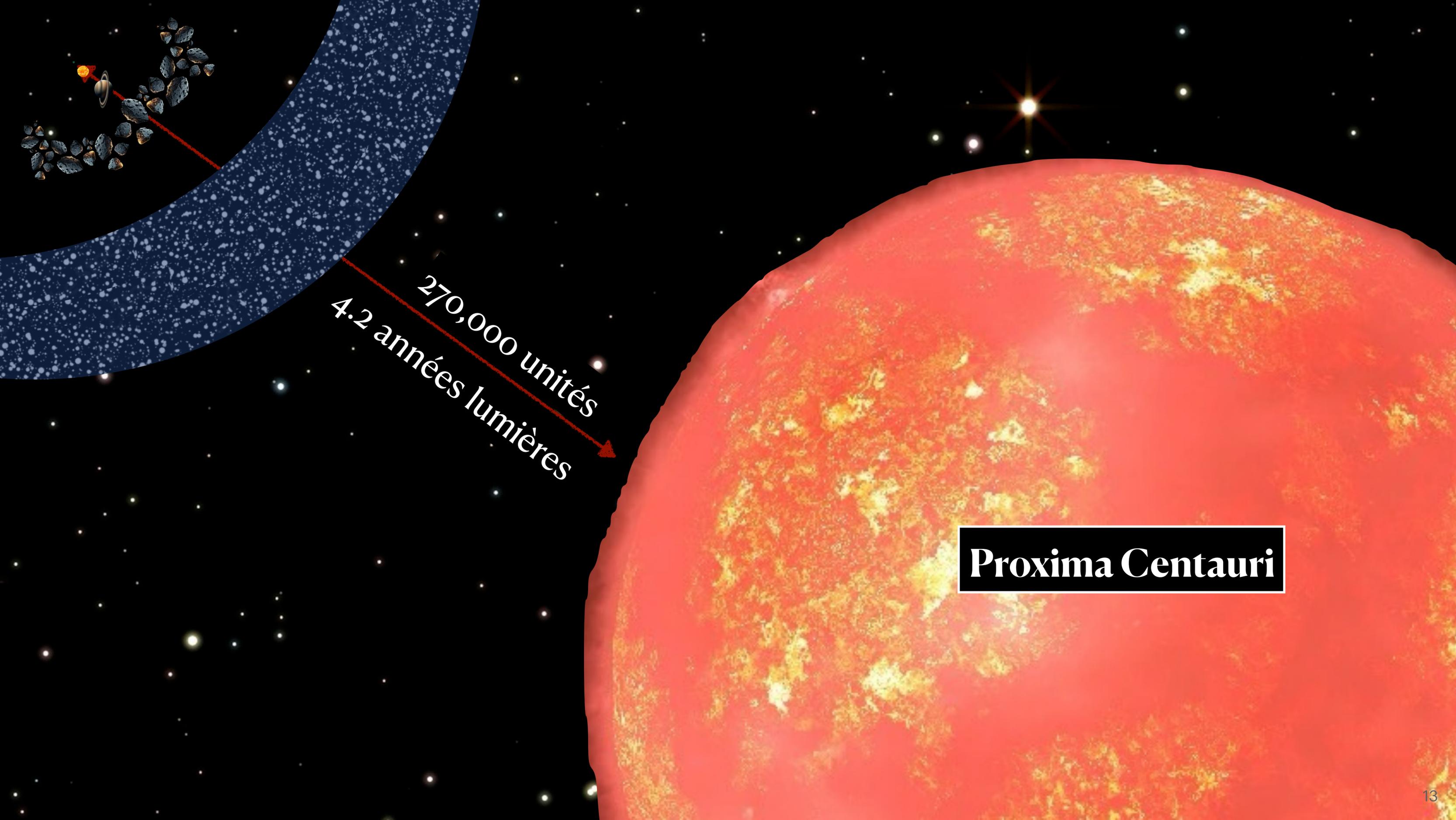


30 unités



100,000 unités

**Limite Du Système Solaire**



270,000 unités  
4.2 années lumières

**Proxima Centauri**

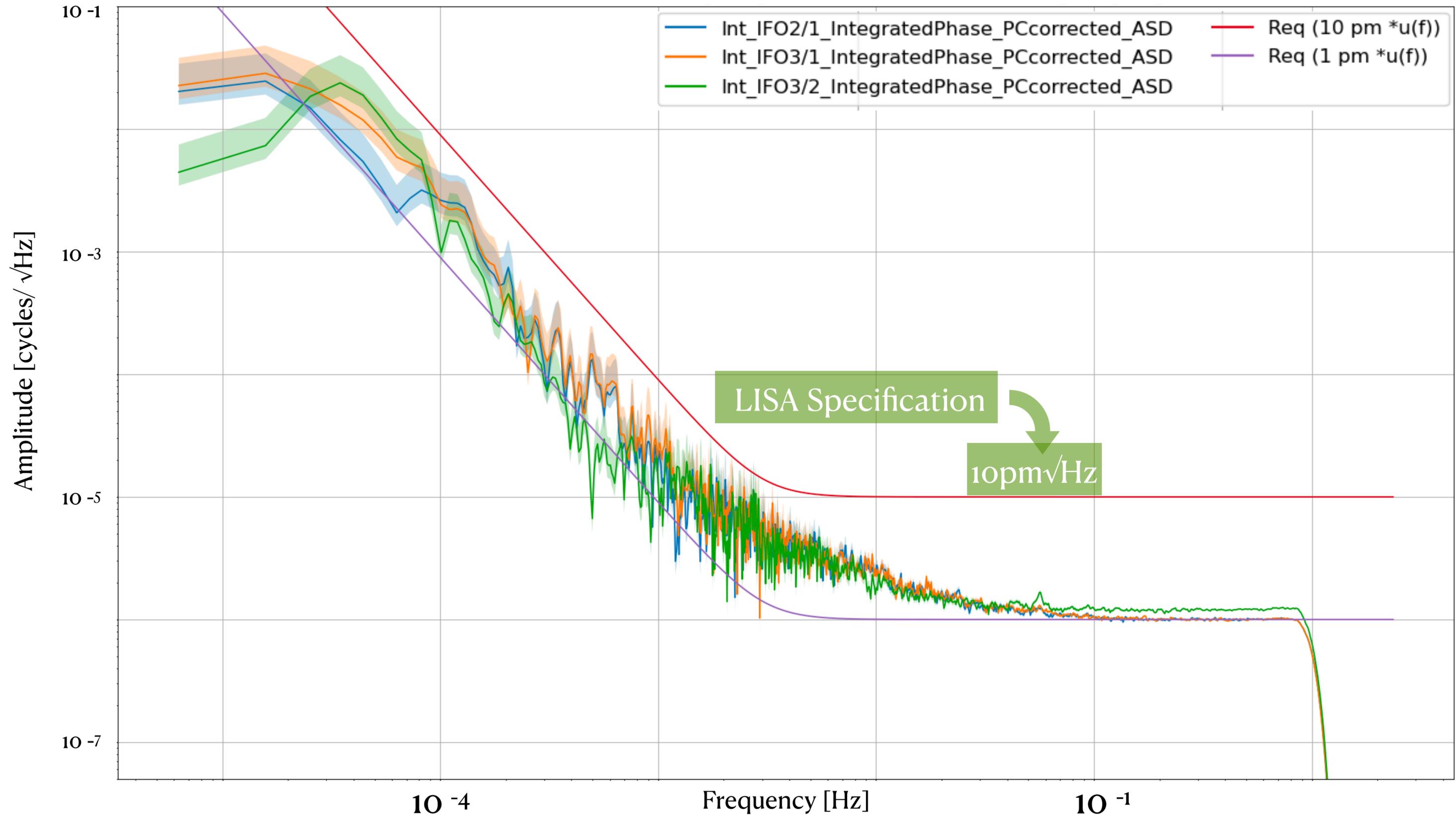


Sensibilité LISA

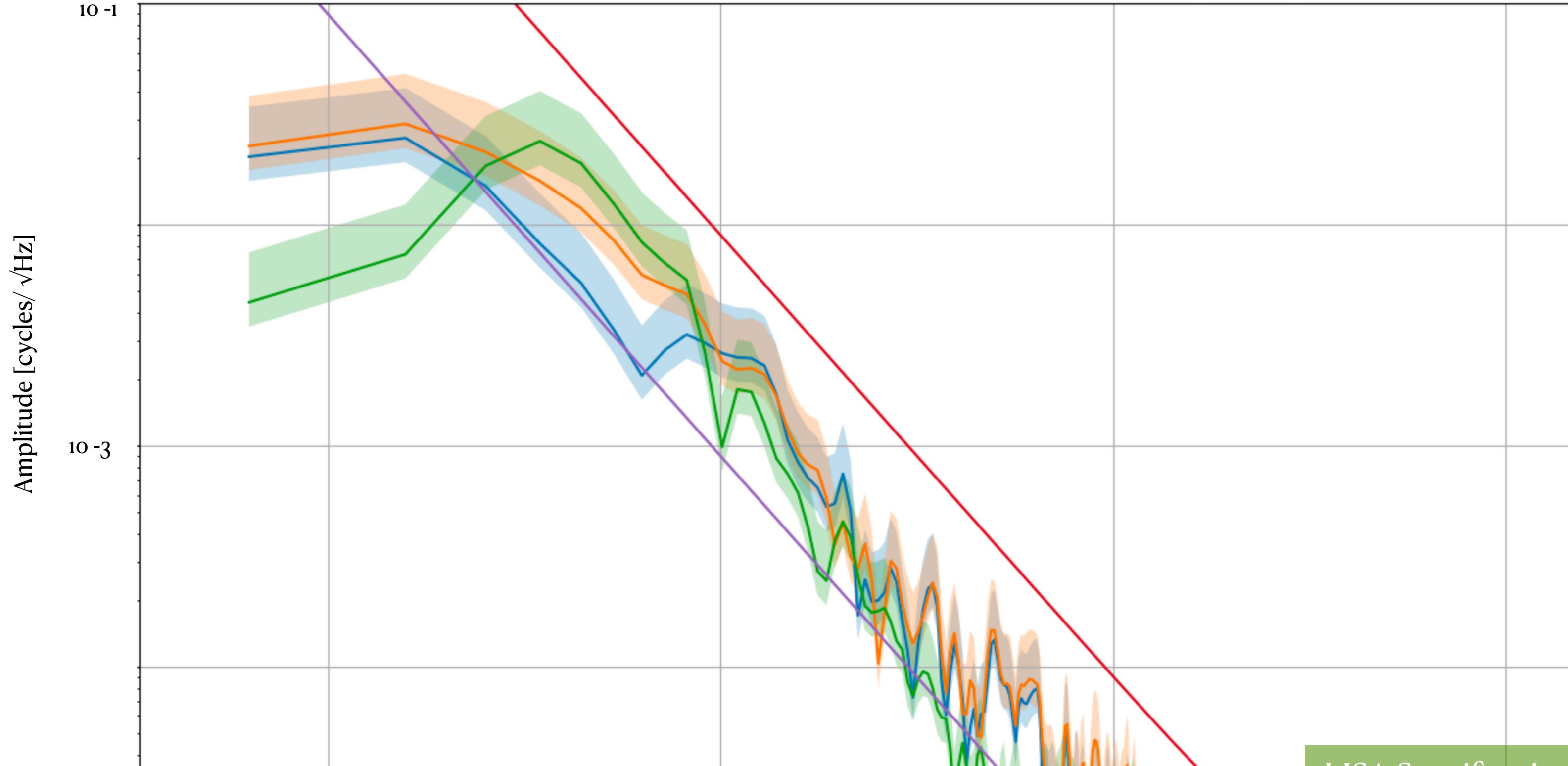
=

Épaisseur d'un unique cheveu

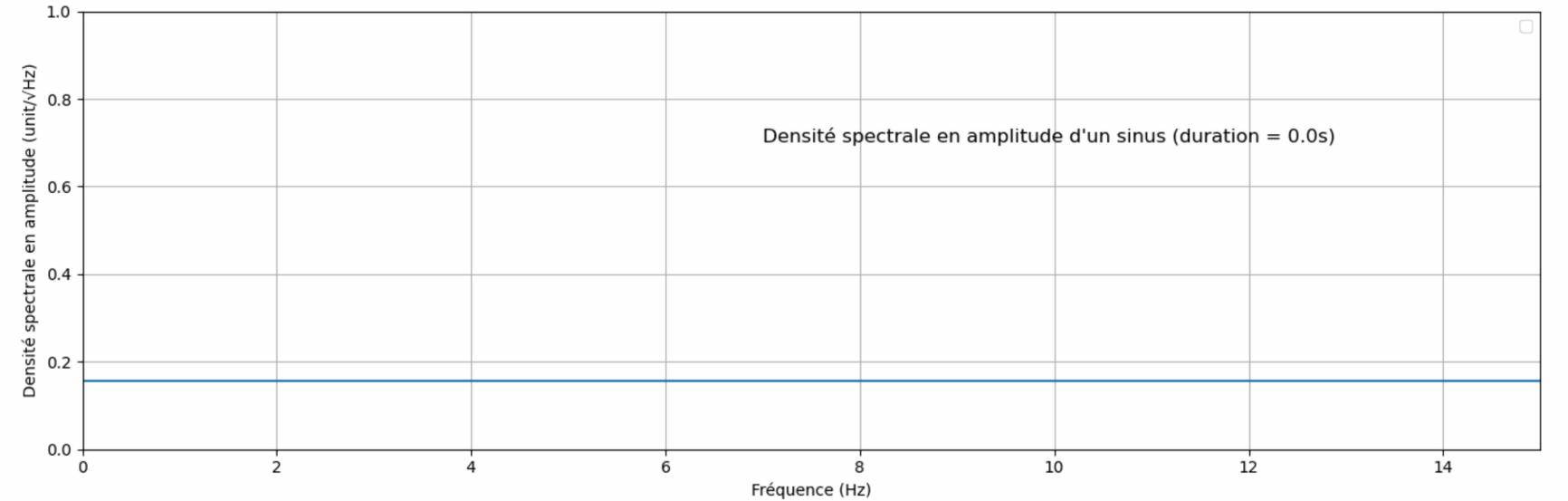
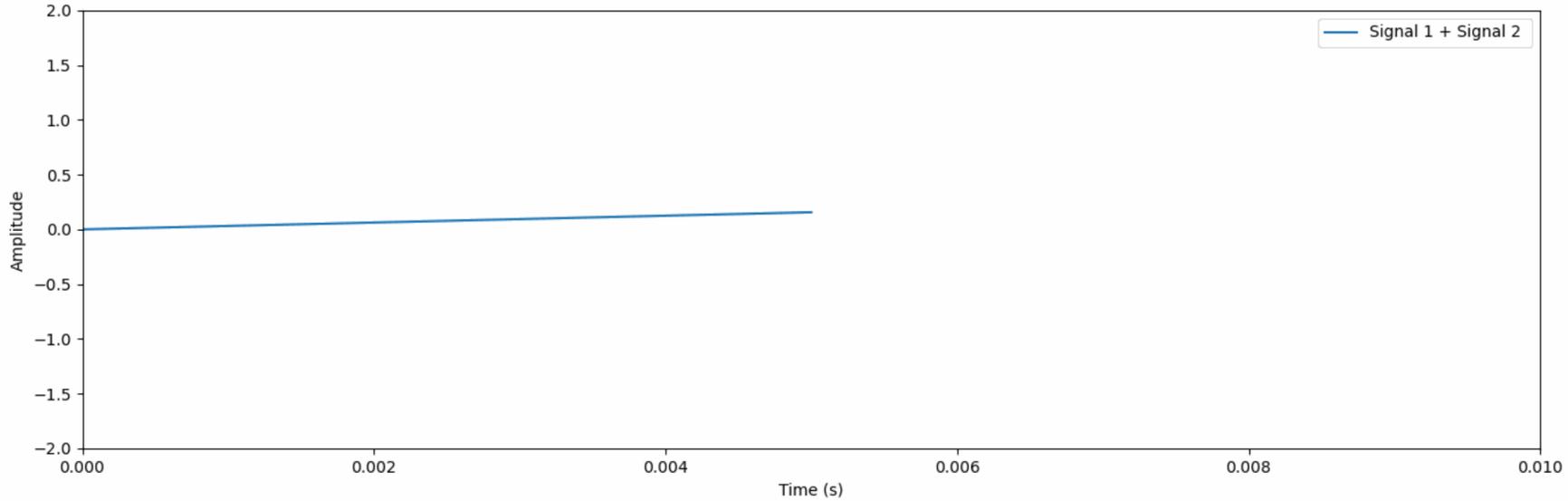
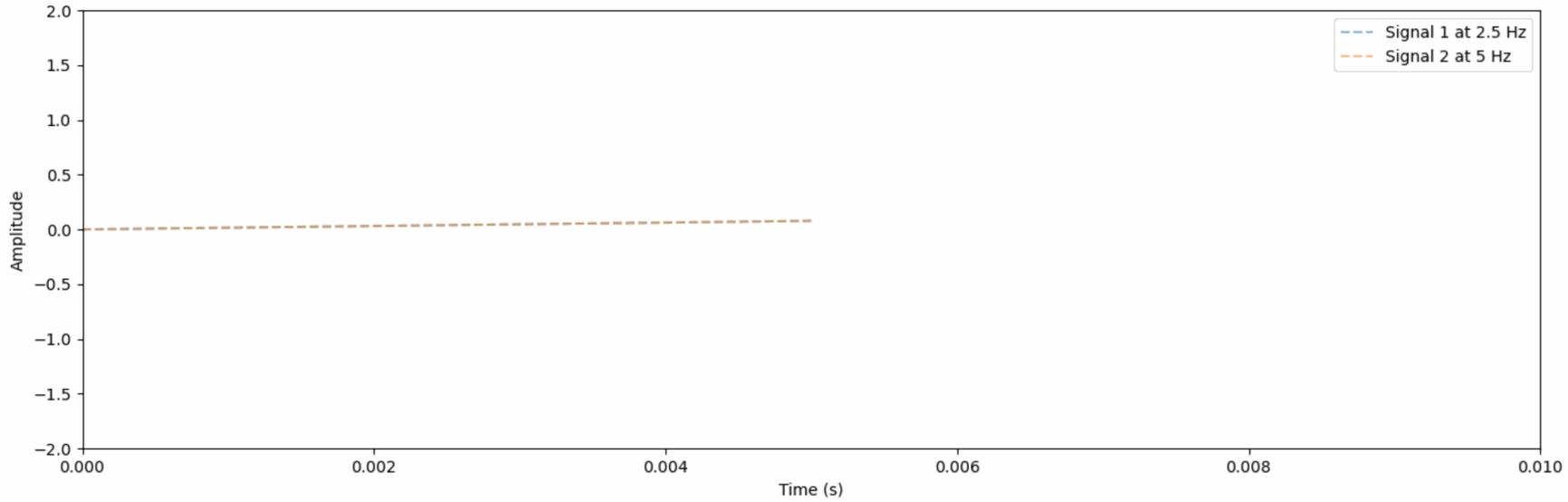
# Densité Spectrale d'Amplitude de la variation de chemin optique



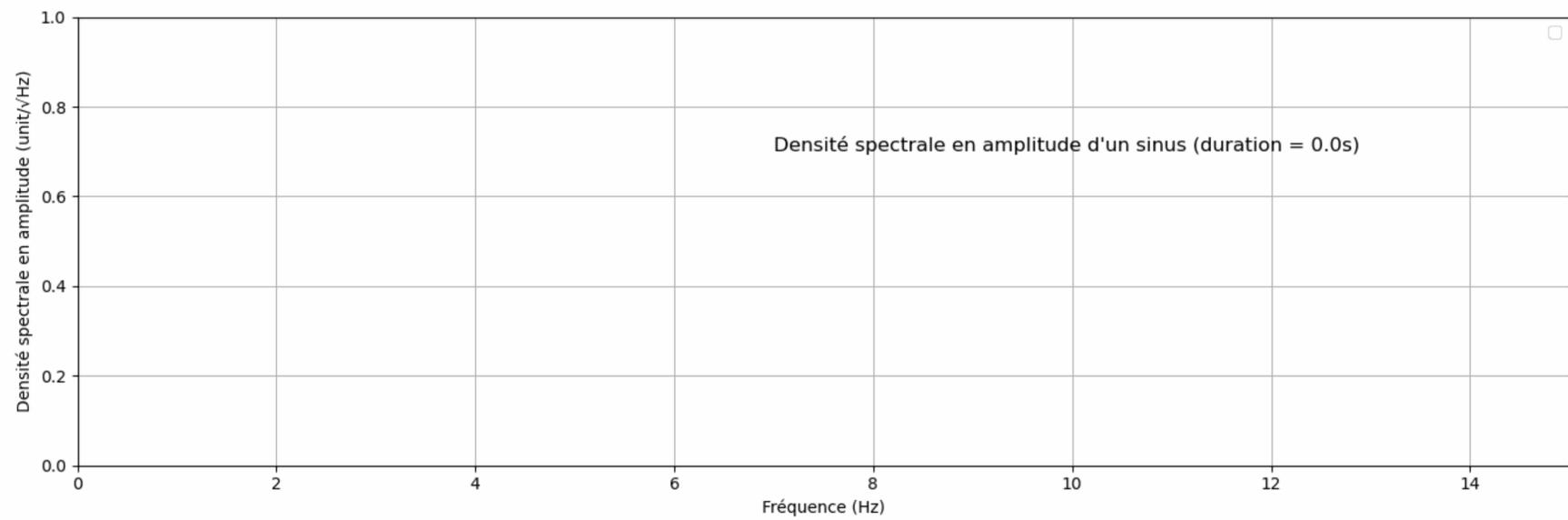
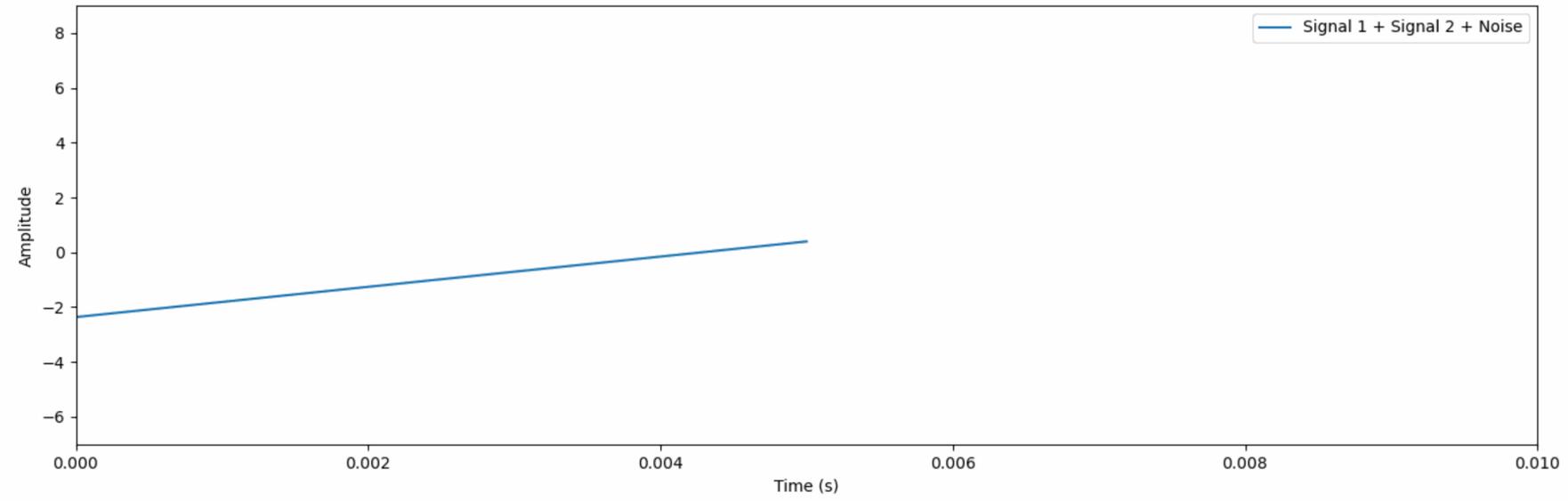
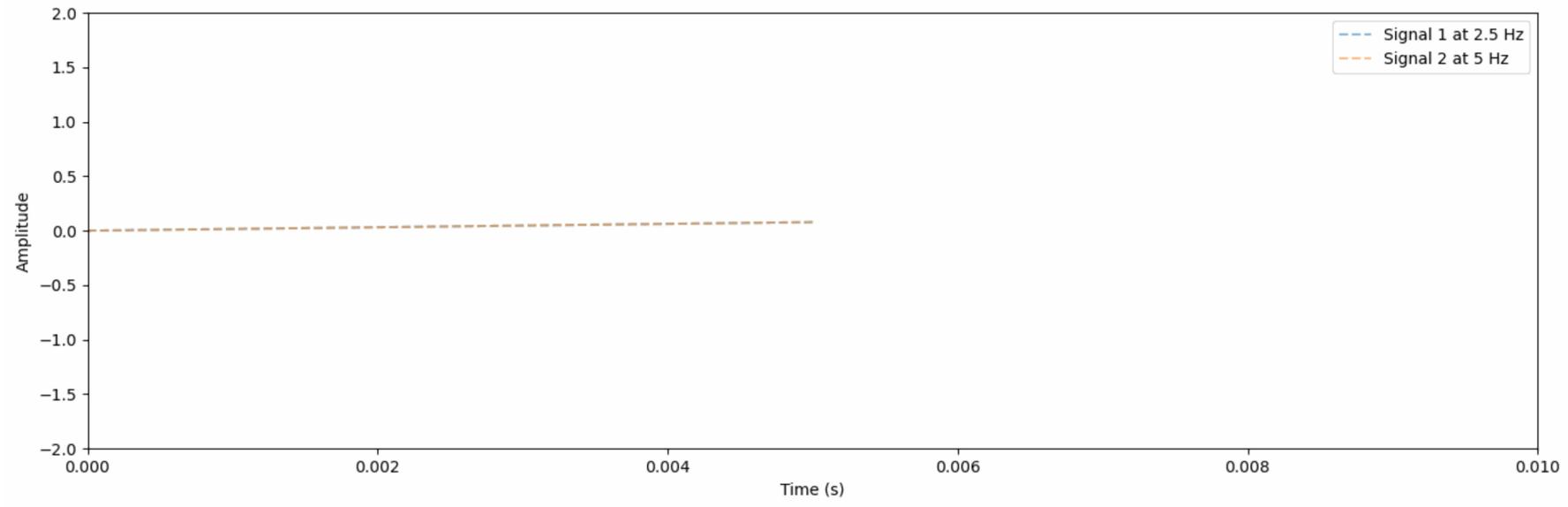
# Densité Spectrale d'Amplitude de la va



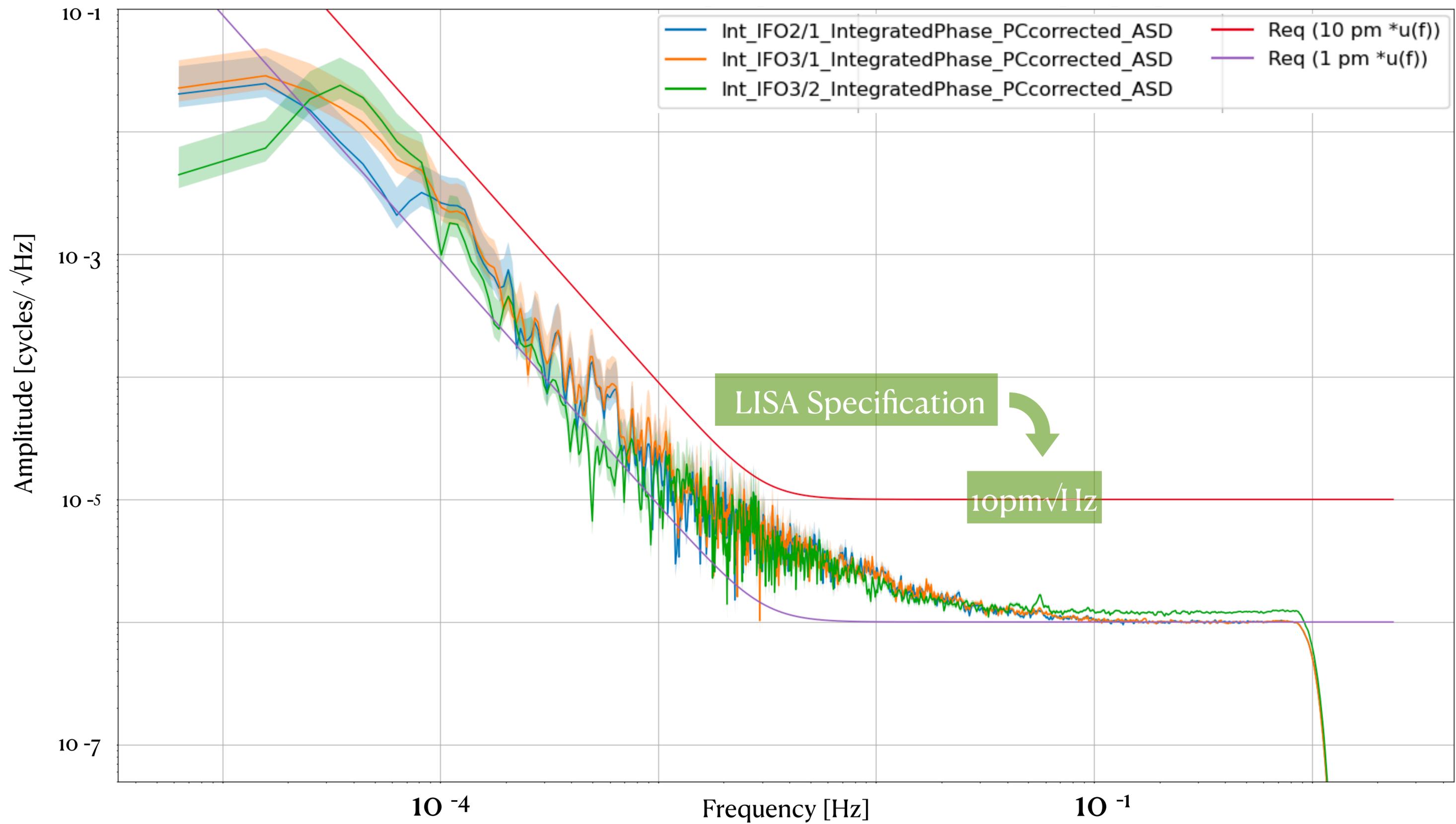
# Densité Spectrale d'Amplitude - Signal pur



# Densité Spectrale d'Amplitude - Signal et bruit



# Densité Spectrale d'Amplitude de la variation de chemin optique



**Chain Noise**

**Lumière parasite**

**Bruit d'intensité relative**

**Bruit thermo-élastique**

**Bruit mécanique/sismique**

**Bruit électronique**

**Shot noise**

**Bruits résiduels**

**Couplage Tilt-To-Length**

**Bruit d'échantillonnage**

**Chain Noise**

**Lumière parasite**

**Bruit d'intensité relative**

**Bruit thermo-élastique**

**Bruit mécanique/sismique**

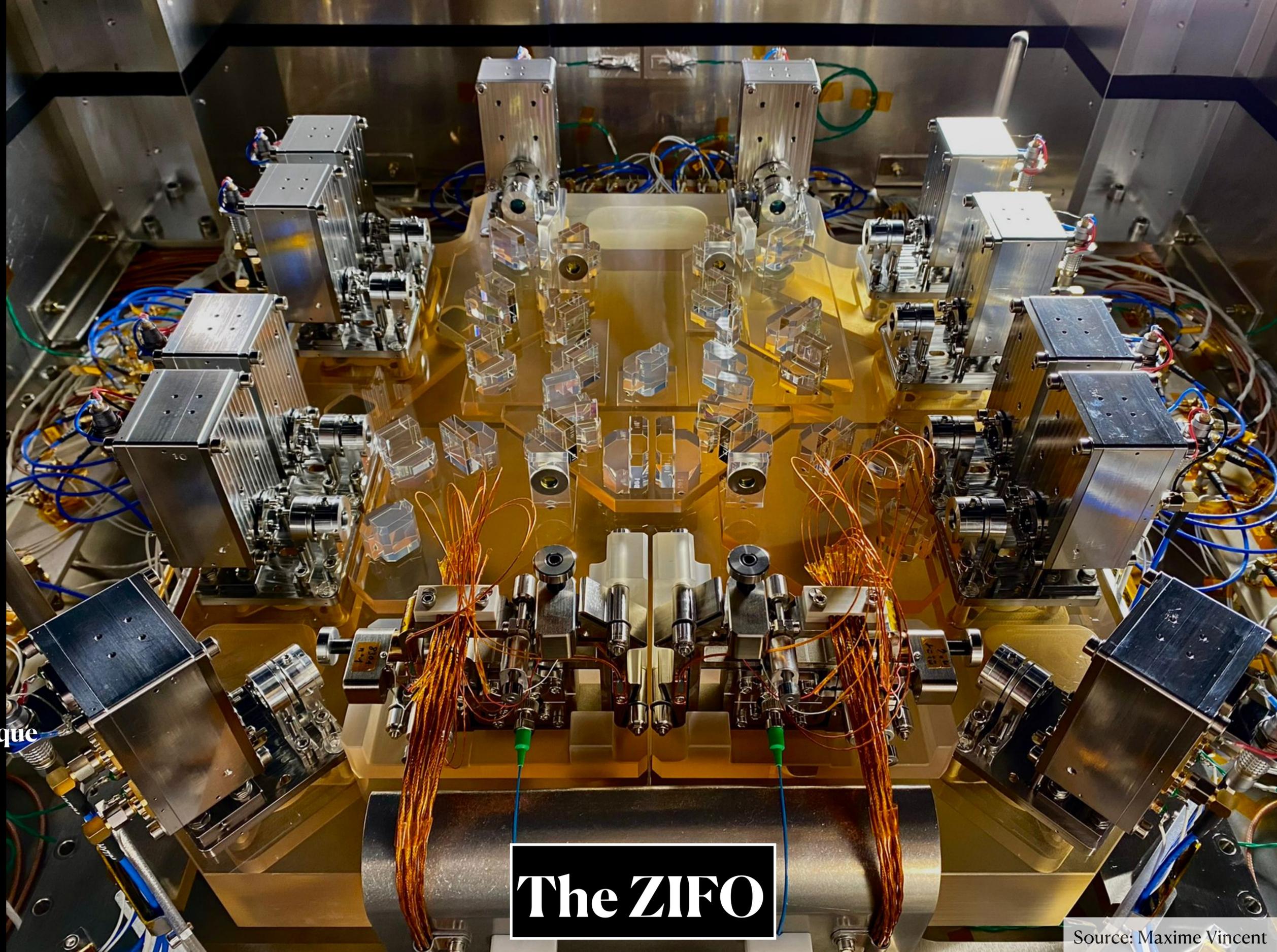
**Bruit électronique**

**Shot noise**

**Bruits résiduels**

**Couplage Tilt-To-Length**

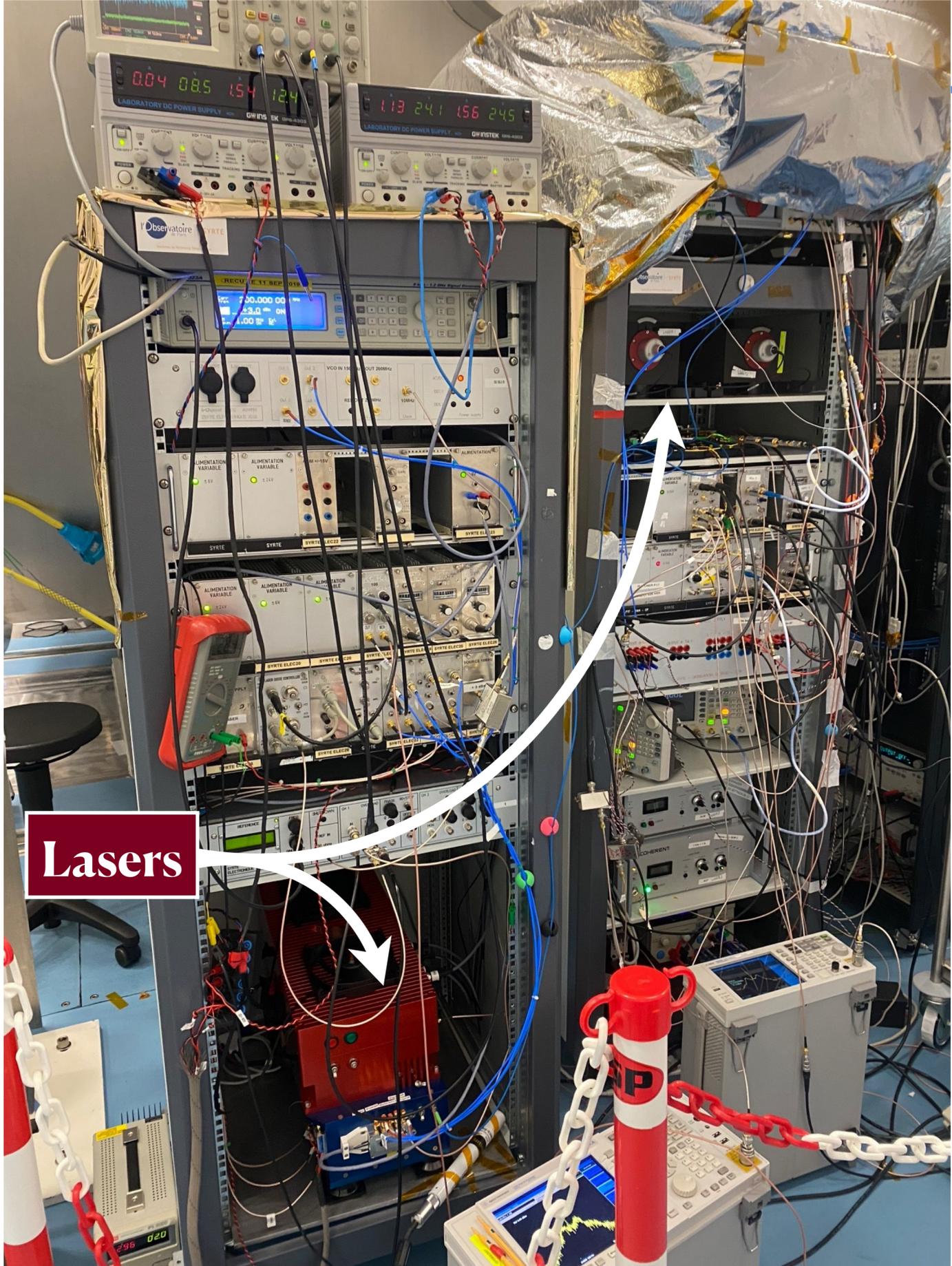
**Bruit d'échantillonnage**



**The ZIFO**

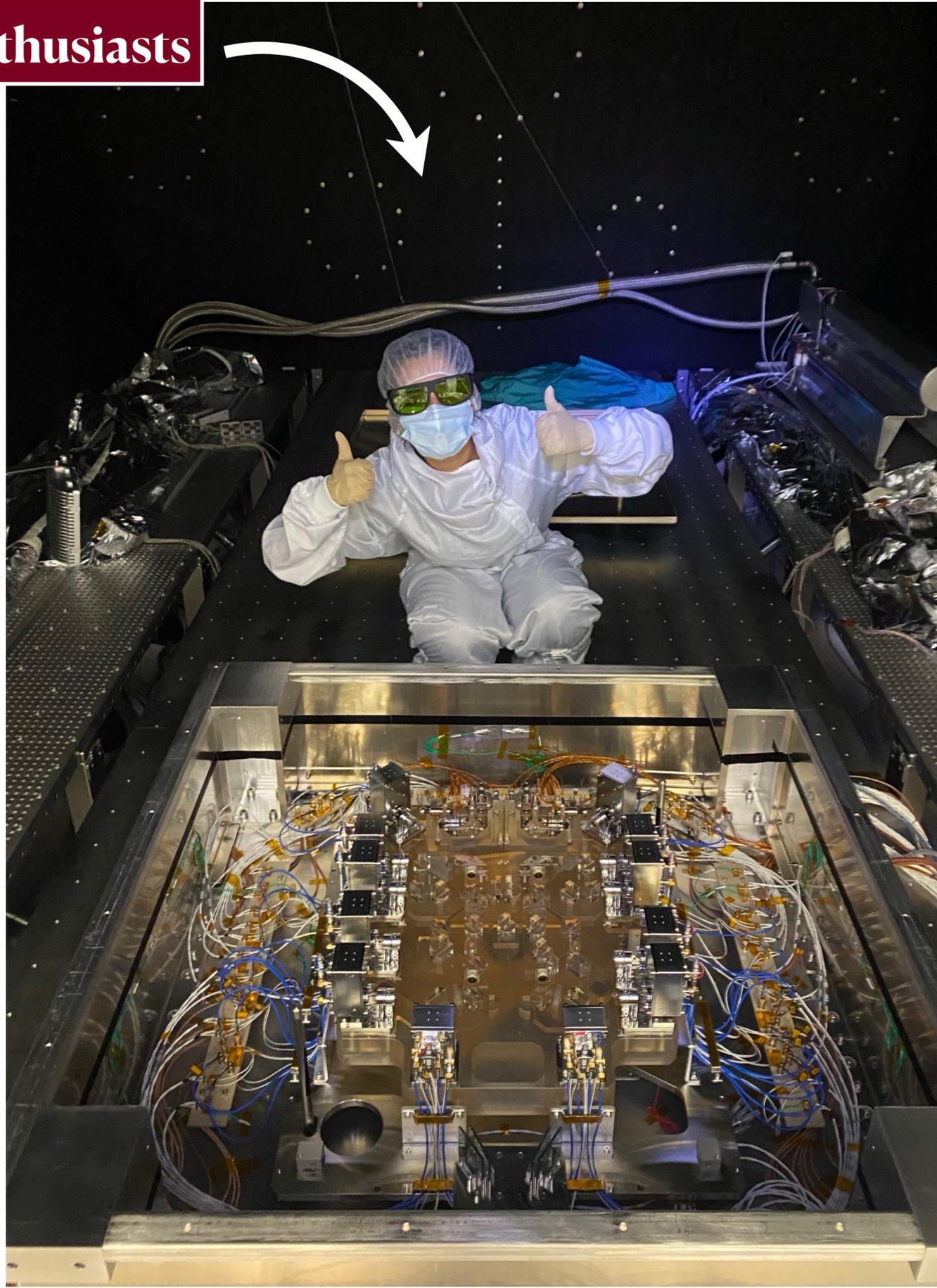
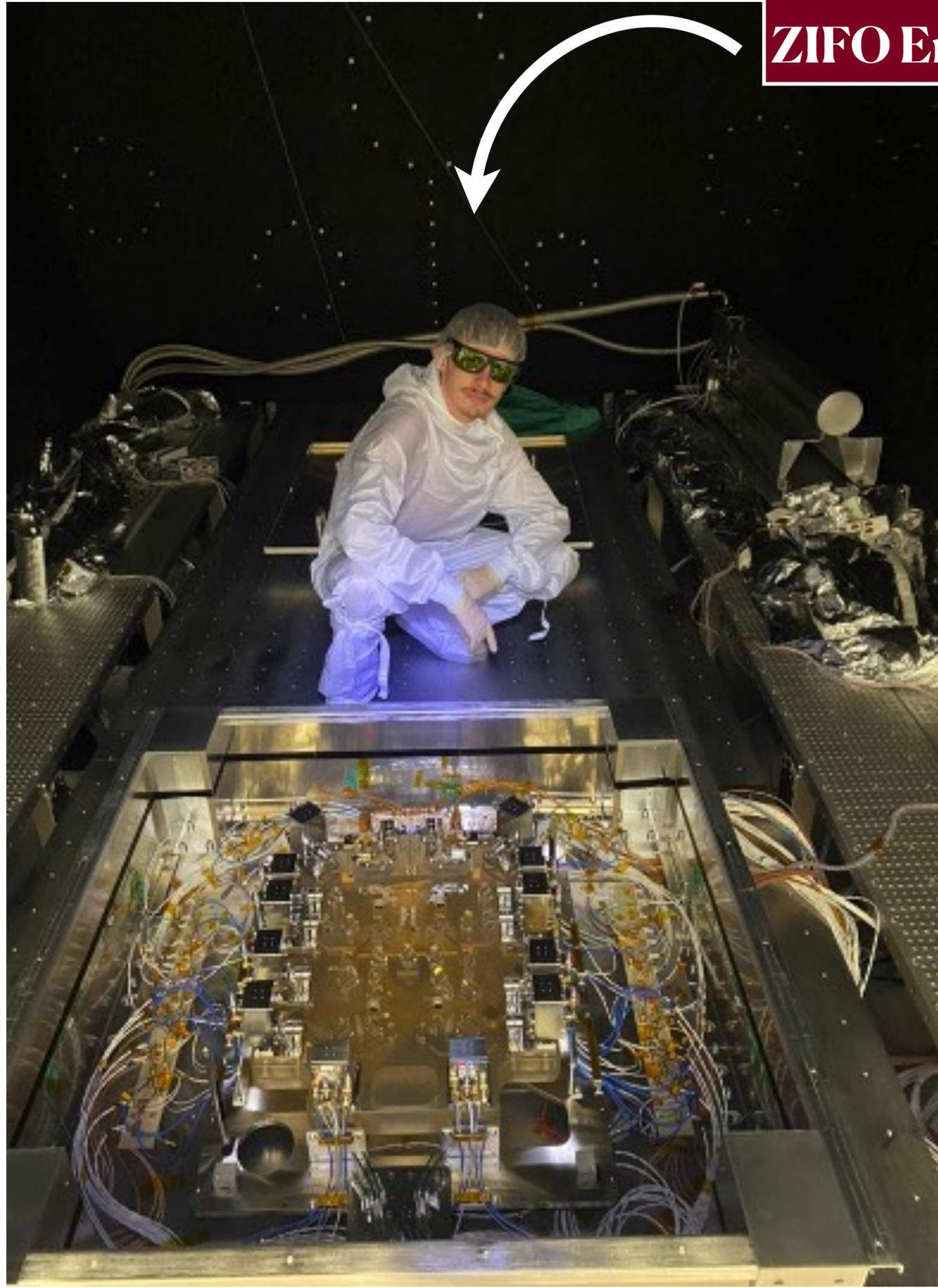


Cuve à vide



Lasers

**ZIFO Enthusiasts**



# ZIFO Enthusiasts

