

# Contributions du laboratoire SYRTE à l'AIVT de LISA

*LISA-SYRTE*

# Plan

## ❑ Introduction

## ❑ Présentation générale de l'activité du SYRTE au sein de LISA-France

## ❑ Développement d'OGSE pour l'AIVT

- ❖ Approche du SYRTE pour la stabilisation en fréquence vs spécification de LISA
- ❖ Banc lasers pour l'interférométrie (V1) & Laser de référence stabilisé sur l'iode (V2)
  - Banc laser triplé en fréquence, modulé en phase, totalement fibré
  - Banc de spectroscopie de l'iode monolithique

## ❑ Conclusion / perspective

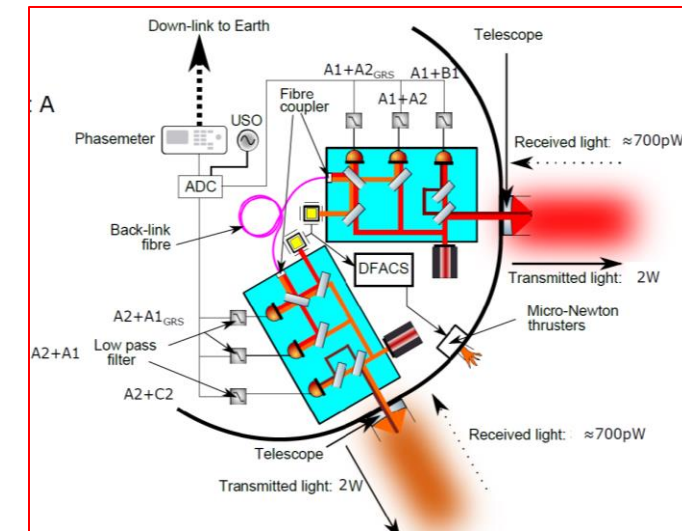
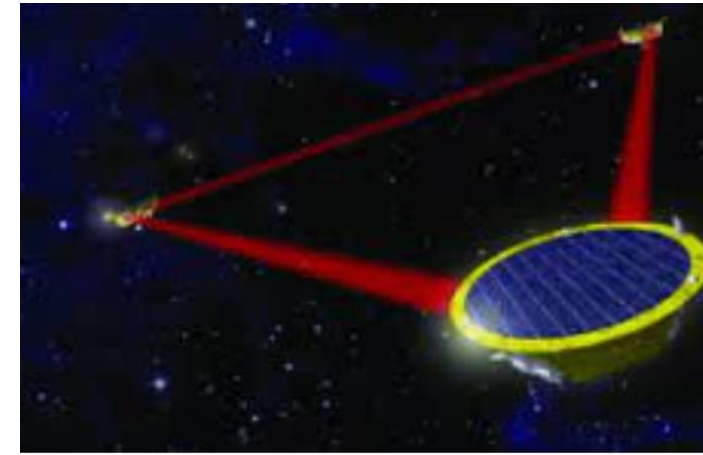
LISA-France : Consortium de laboratoires français (CNRS, Universités, CEA), coordonné et financé par le CNES

- **APC** (UMR 7164, CNRS/IN2P3, Université Paris-Diderot)
- **ARTEMIS** (UMR 7250, CNRS/INSU, OCA, Université Nice Sophia Antipolis, Université Cote d'Azur)
- **CEA/IRFU Saclay** • **CPPM** (UMR 7346, CNRS/IN2P3, Aix-Marseille Université)
- **Institut Fresnel** (CNRS/INSIS, Aix-Marseille Université, Centrale Marseille)
- **L2IT** (CNRS/IN2P3, Université Toulouse III Paul Sabatier)
- **LAM** (UMR 7326, CNRS/INSU, Aix-Marseille Université)
- **SYRTE** (UMR 8630, CNRS/INSU, Observatoire de Paris, Université PSL, Sorbonne-Université)

## Contributions du laboratoire SYRTE:

- ❖ **Exploitation scientifique, Analyse de données .... (Exposés de Olaf Hartwig & Adrien Bourgoïn)**
- **Participation à la définition des tests de performance des MOSA (Movable Optical System Assembly), Test IDS, ...**
- **Vérification des résultats**
- ❑ **Développement et fourniture des moyens de tests sol associés à divers tests de performances (OGSE)**

- Le concept LISA repose sur l'utilisation de trois satellites disposés aux sommets d'un triangle équilatéral de  $2,5 \times 10^9$  m, évoluant sur une orbite héliocentrique autour de la terre.
- Une paire de lasers @ 1064 nm est disposée sur chaque satellite pour réaliser un battement hétérodyne avec les signaux optiques émis depuis les 2 autres satellites, vers lesquels sont renvoyés deux faisceaux laser après une opération d'asservissement en phase.
- Il y' a également un laser maître stabilisé en fréquence sur une cavité optique, sur lequel sont asservis en phase tous les lasers de la constellation.
- La spécification LISA en terme d'amplitude de densité spectrale des fluctuations résiduelles de fréquence du laser maître est de  $30 \text{ Hz}/\sqrt{\text{Hz}}$ , dans la bande de fréquence  $[0.1 \text{ mHz} - 1 \text{ Hz}]$ .
- Cette spécification peut être également exprimée en terme de variance d'Allan  $\sigma_y(\tau) \sim 10^{-13} \tau^{-1/2}$ .



# Plan

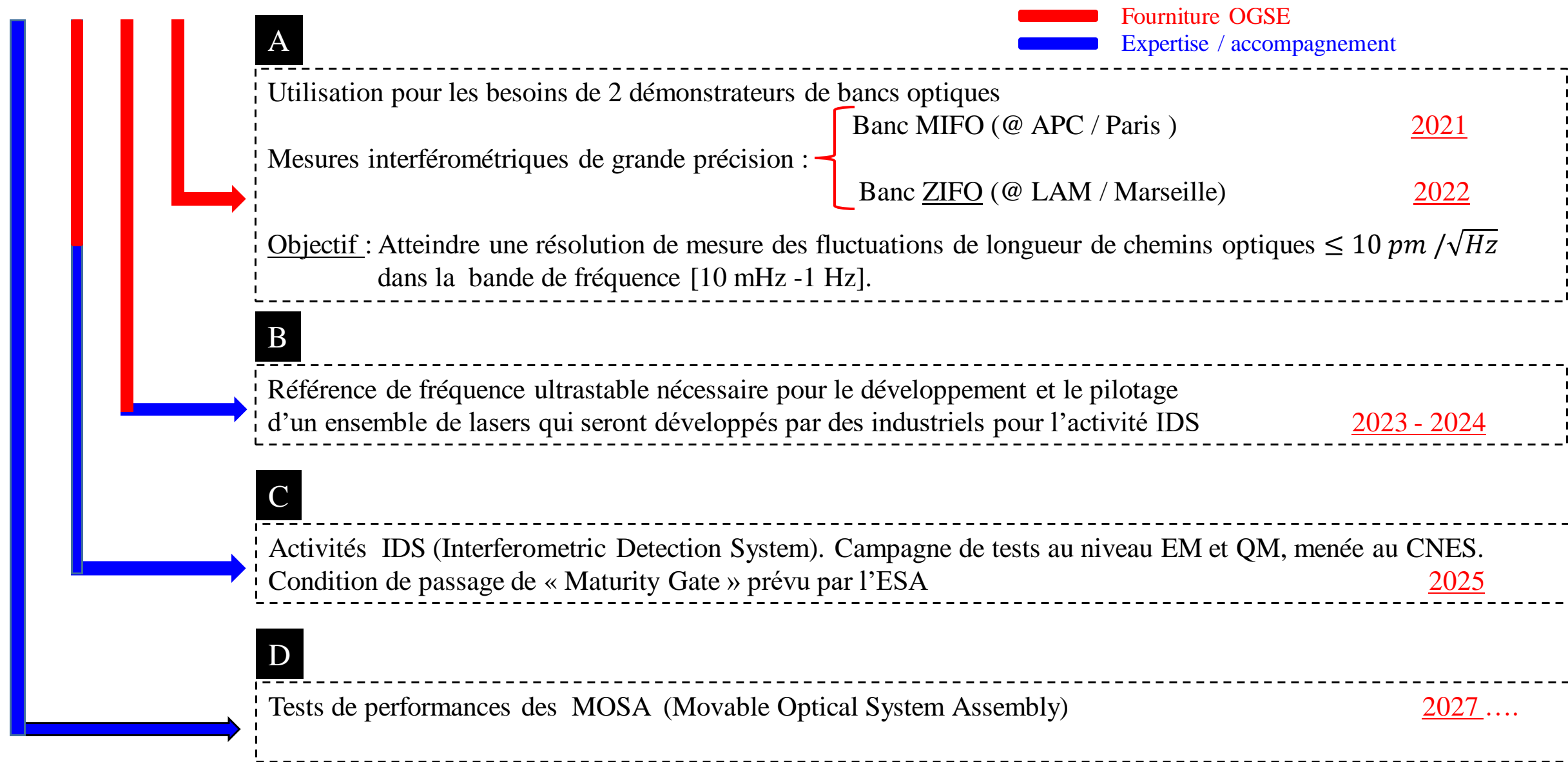
□ Introduction

□ **Présentation générale de l'activité du SYRTE au sein de LISA-France**

□ Développement d'OGSE pour l'AIVT

- ❖ Approche du SYRTE pour la stabilisation en fréquence vs spécification de LISA
- ❖ Banc lasers pour l'interférométrie (V1) & Laser de référence stabilisé sur l'iode (V2)
  - Banc laser triplé en fréquence, modulé en phase, totalement fibré
  - Banc de spectroscopie de l'iode monolithique

□ Conclusion / perspective



# Plan

□ Introduction

□ Présentation générale de l'activité du SYRTE au sein de LISA-France

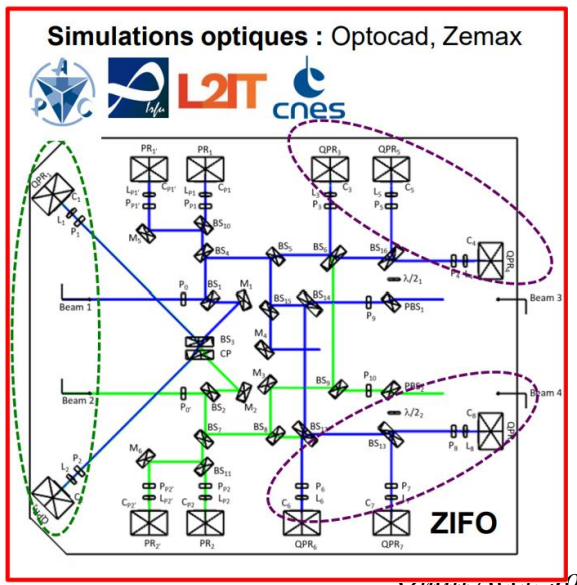
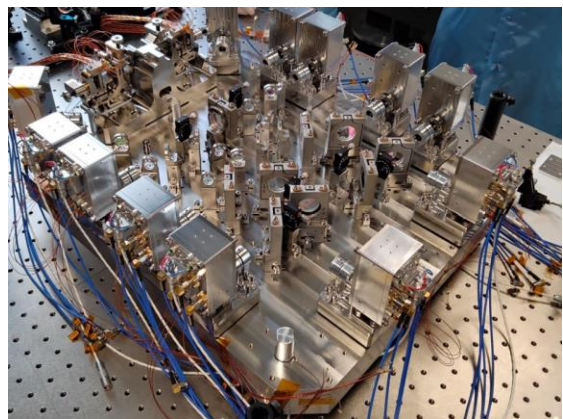
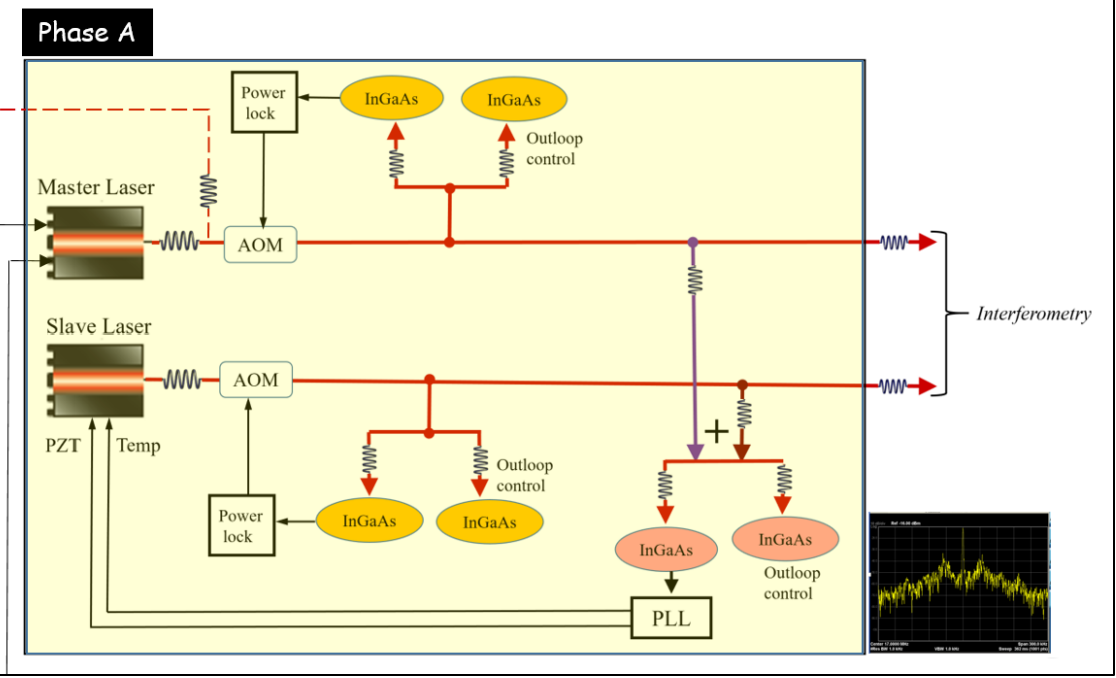
□ **Développement d'OGSE pour l'AIVT**

- ❖ Approche du SYRTE pour la stabilisation en fréquence vs spécification de LISA
- ❖ Banc lasers pour l'interférométrie (V1) & Laser de référence stabilisé sur l'iode (V2)
  - Banc laser triplé en fréquence, modulé en phase, totalement fibré
  - Banc de spectroscopie de l'iode monolithique

□ Conclusion / perspective

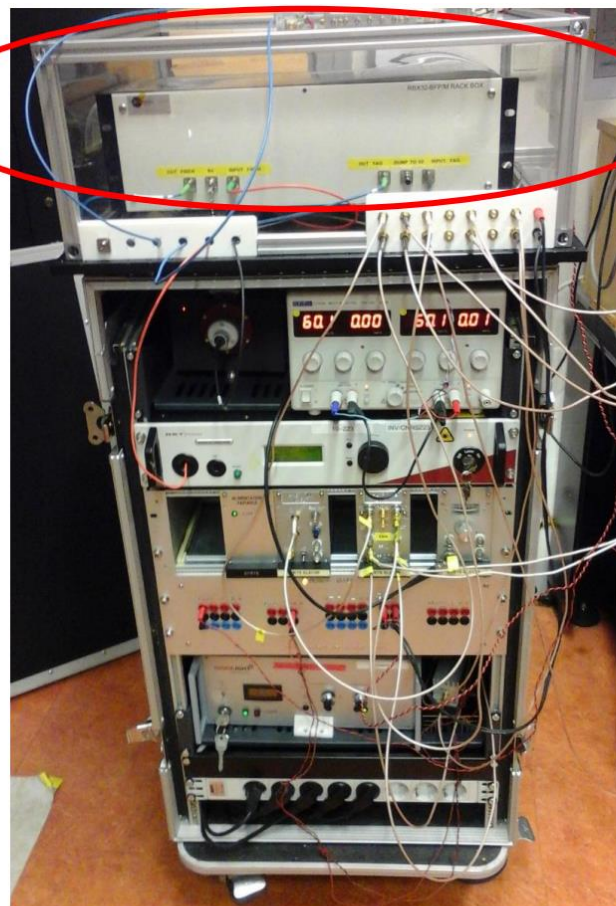
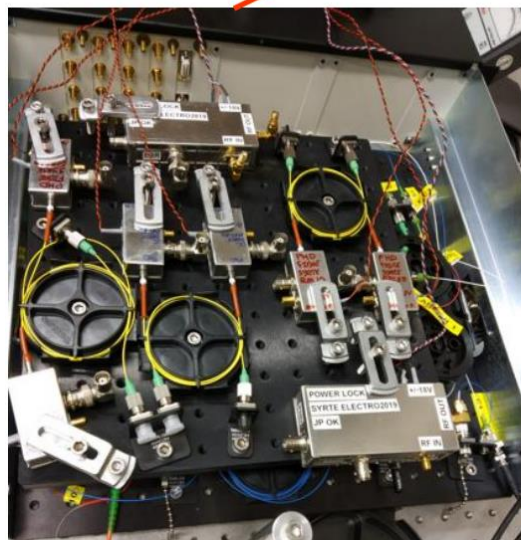
**1<sup>st</sup> setup involve :**

- Two phase locked 1064 nm lasers
- PLL bandwidth > 30 kHz
- Frequency difference tuneable from 0.1 MHz to > 50 MHz (rate up to 10 kHz/s)
- Optical Power stabilized over the LISA band
- Whole optical setup fibered
- Residual Frequency fluctuations << LISA specs.

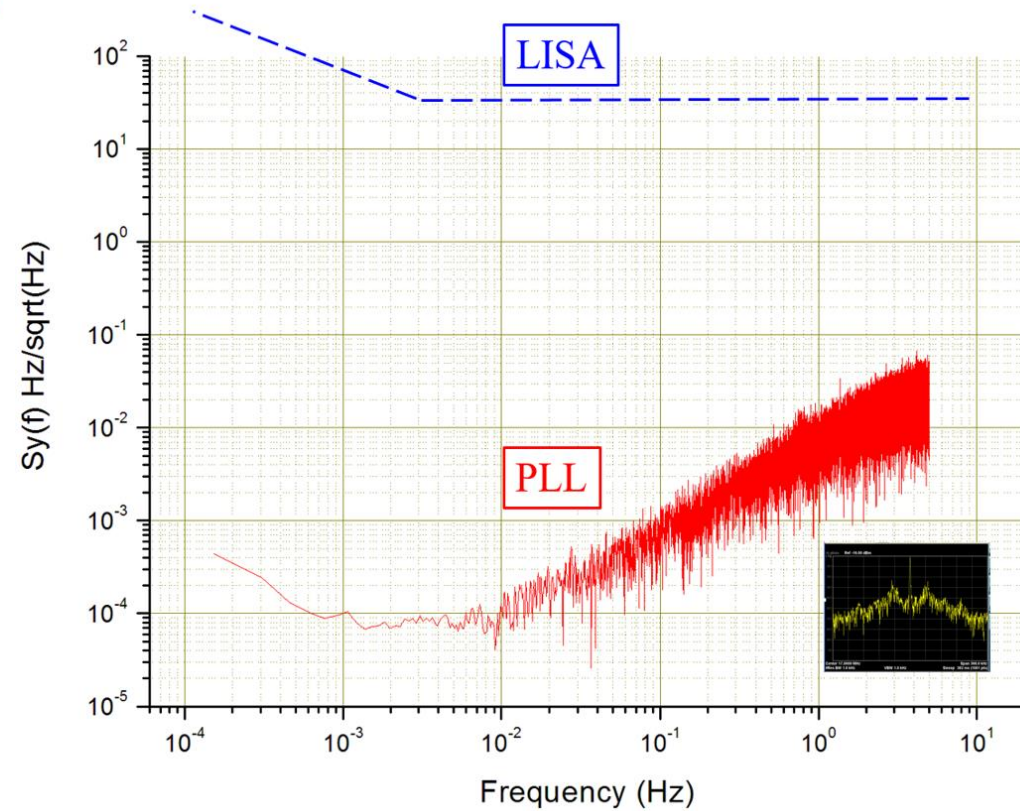


**Objectif :**  
 Identifier et quantifier les principales perturbations affectant la mesure de chemin optique:  
 Bruit de fréquence laser, fluctuations de puissance laser, bruit électronique, bruits thermiques, effets de Tilt-To-Length, cross-talk ...

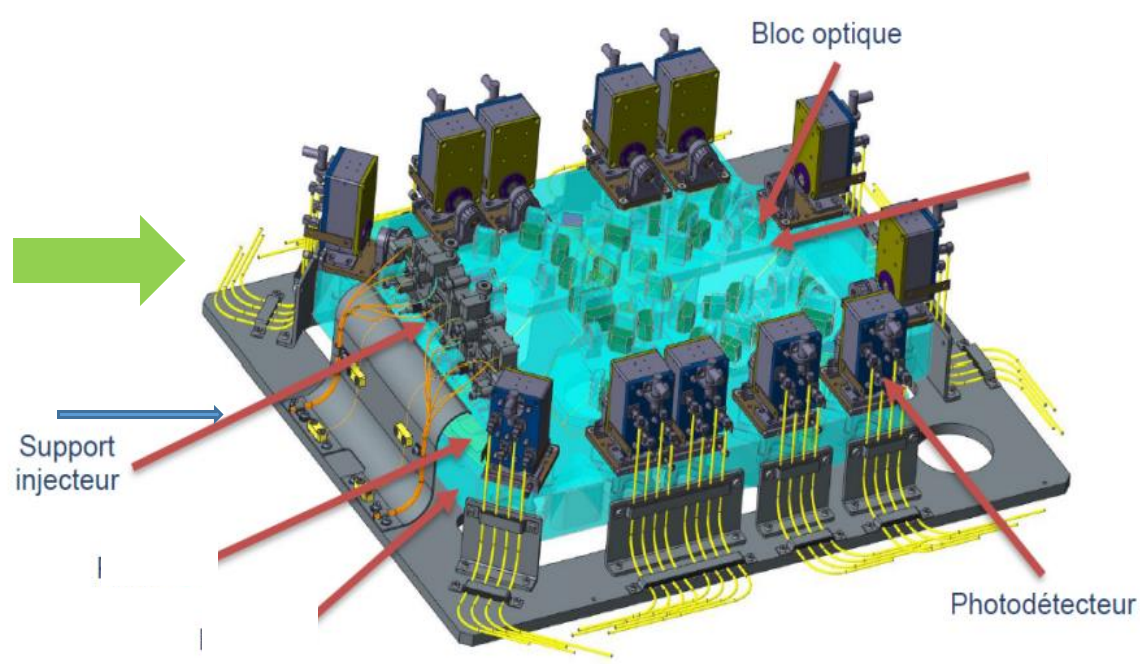
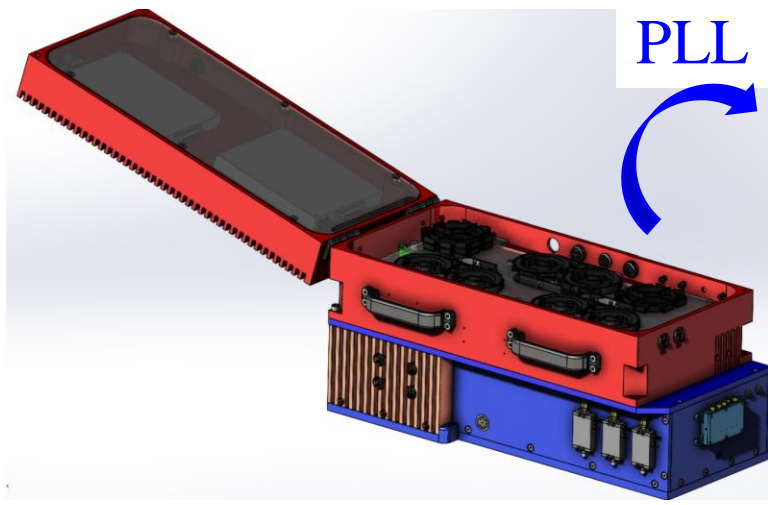




60 x 60 x 130 cm<sup>3</sup>

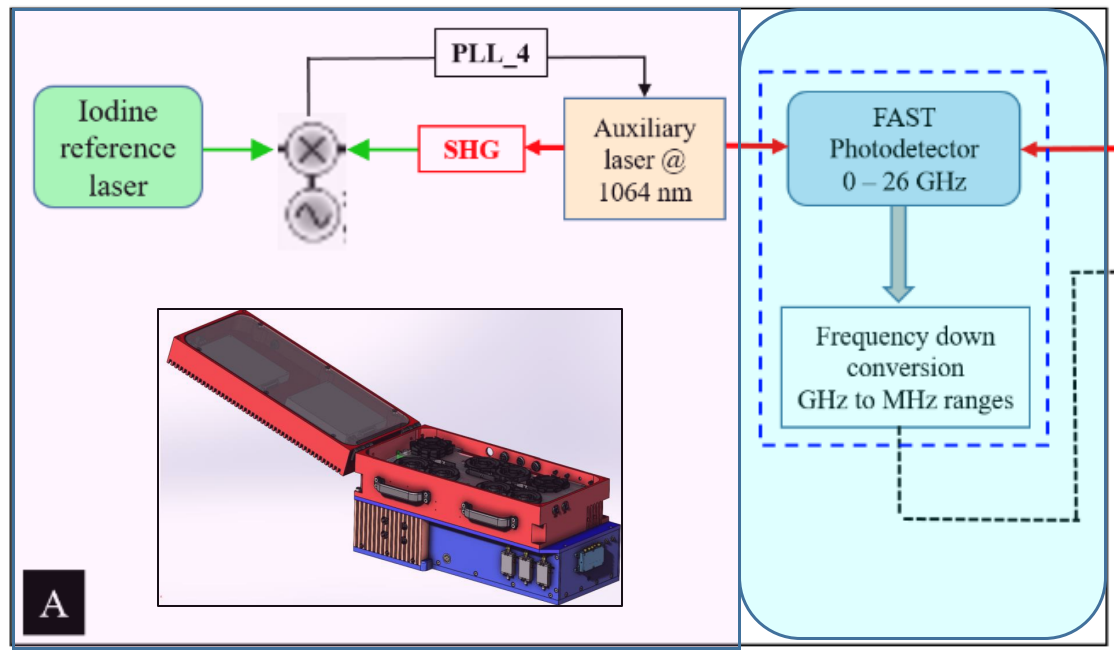


Laser stabilisé en fréquence / Iode  
Bruit résiduel de fréquence inférieur  
à la spec. de LISA ( $30 \text{ Hz}/\sqrt{\text{Hz}}$ )

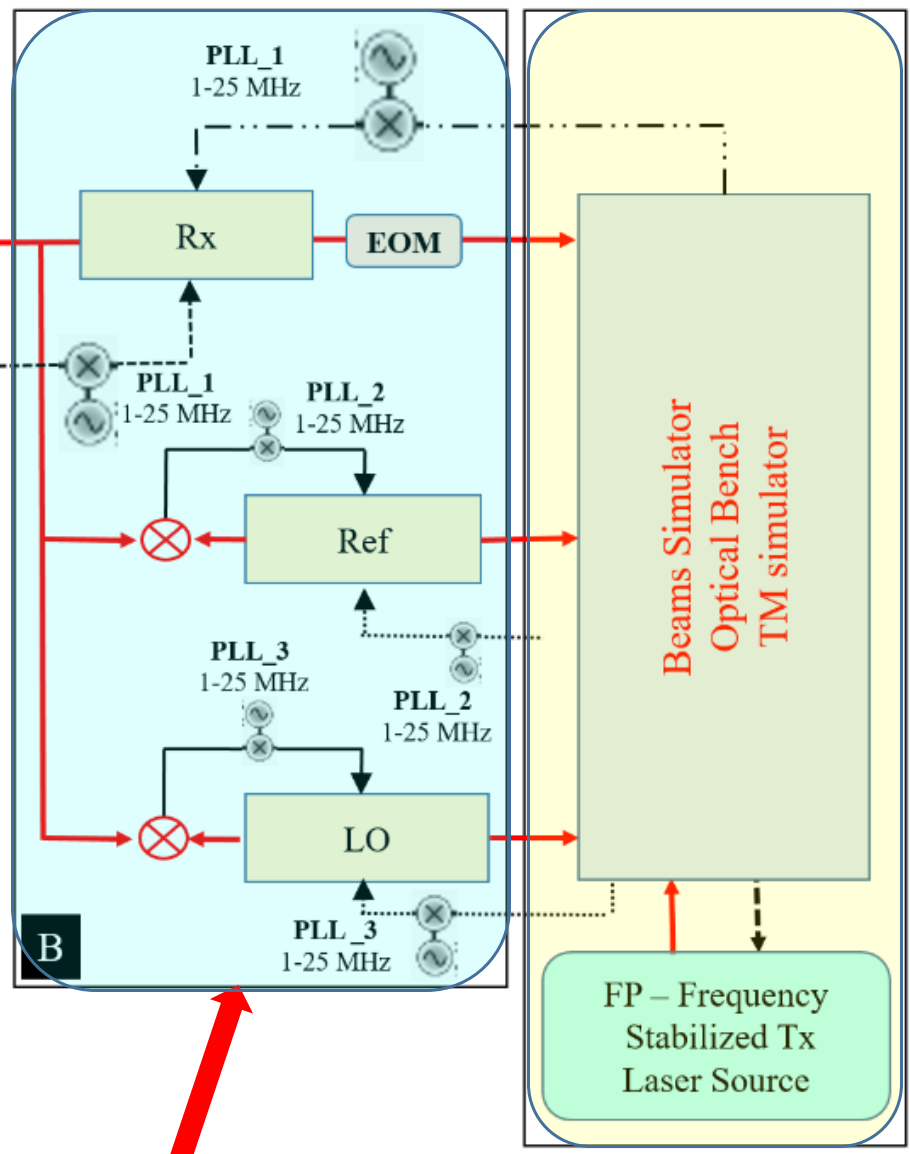


**Objectif :**  
Atteindre une résolution de mesure des fluctuations de longueur de chemins optiques  $\leq 10 \text{ pm}/\sqrt{\text{Hz}}$  dans la bande de fréquence [10 mHz – 1 Hz]





- 1064 nm
- 532 nm
- ⋯ Beatnote on Beams simulator
- External beatnote
- . - . Locking scheme 1 (Tx=master)
- - - - Locking scheme 2 (Rx=master)



**LH.Req.Opt.10 Laser Centre Wavelength**  
 The centre wavelength in vacuum for the LH shall be in the range  $\lambda_0 = 1064.5 - 0.05 + 0.1$  nm  
 (or in frequency  $2.81627E+14$  Hz-12GHz+26GHz)

Iode →  $\lambda_{IR} = 1064.490\,072$  nm

Développement industriel

# Plan

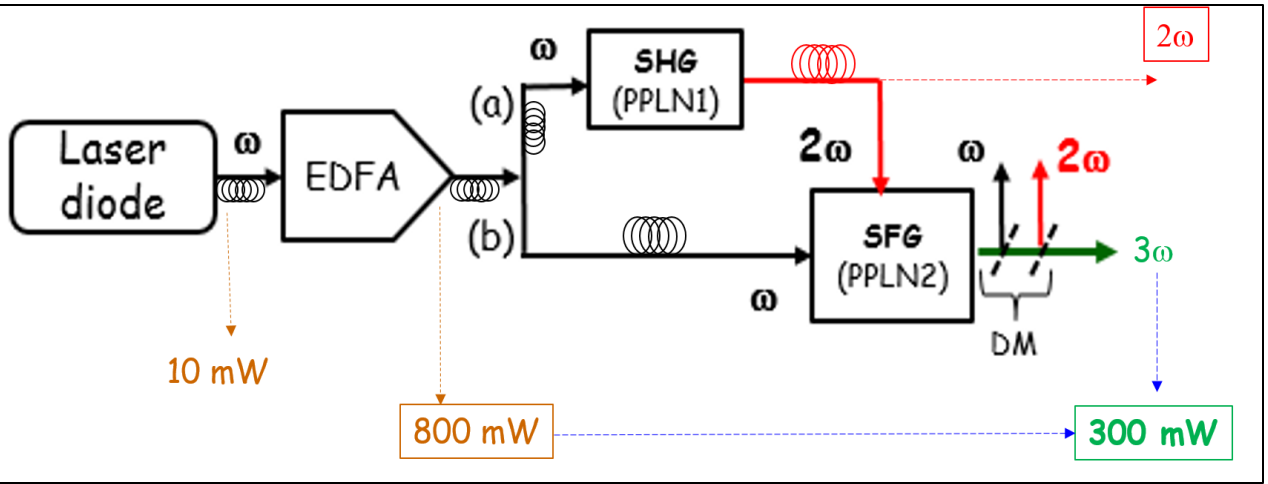
□ Introduction

□ Présentation générale de l'activité du SYRTE au sein de LISA-France

□ Développement d'OGSE pour l'AIVT

- ❖ Approche du SYRTE pour la stabilisation en fréquence vs spécification de LISA
- ❖ Banc lasers pour l'interférométrie (V1) & Laser de référence stabilisé sur l'iode (V2)
  - Banc laser triplé en fréquence, modulé en phase, totalement fibré
  - Banc de spectroscopie de l'iode monolithique

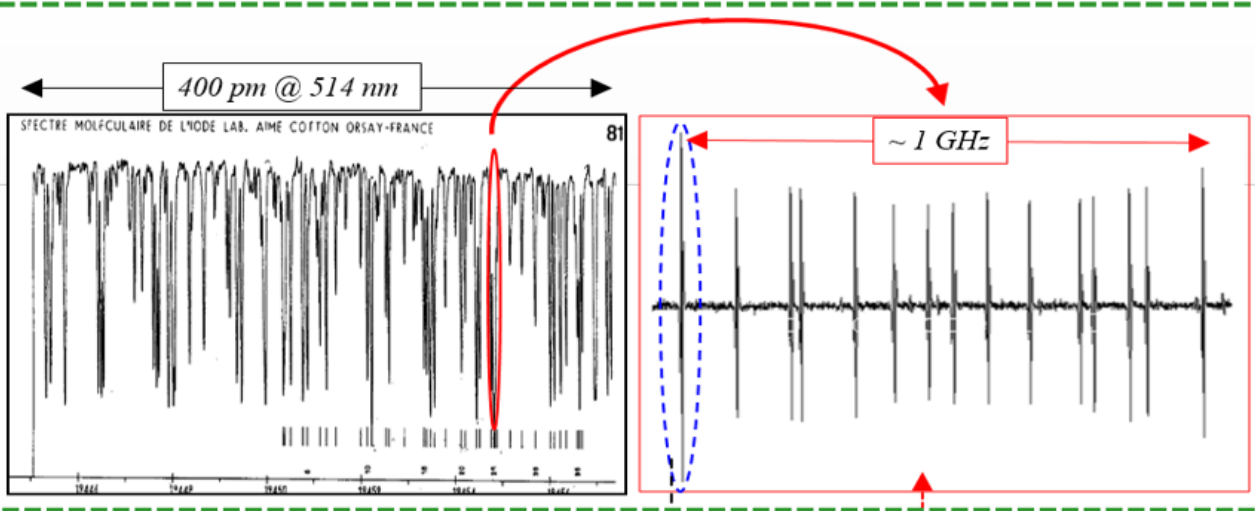
□ Conclusion / perspective

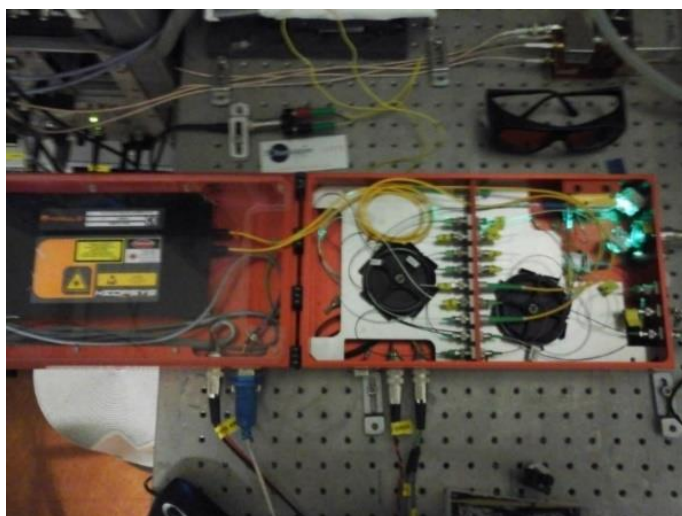


- ✓ Power consumption ~ 20 Watt
- ✓ No cooling required
- ✓ Total volume = 5 l
- ✓ Power stability < 1 % over
- ✓ 7 years continuous operation
- ✓ Optical conversion efficiency  $P_{3\omega}/P_{\omega} > 36 \%$

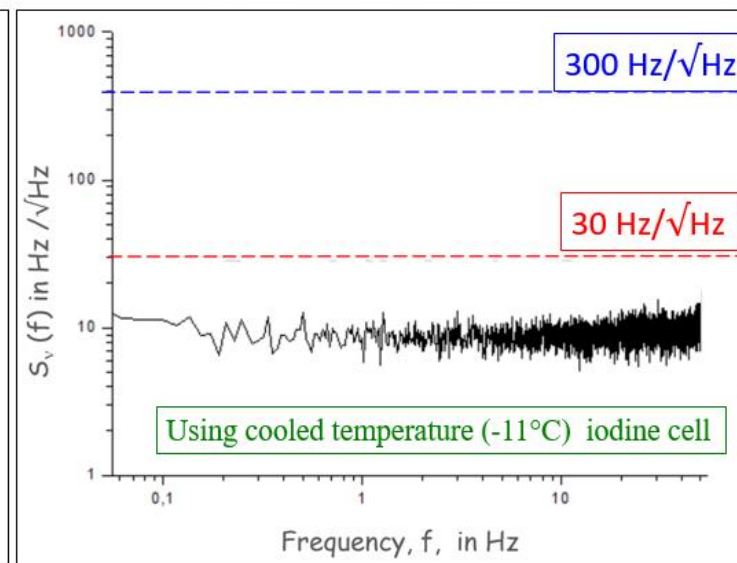
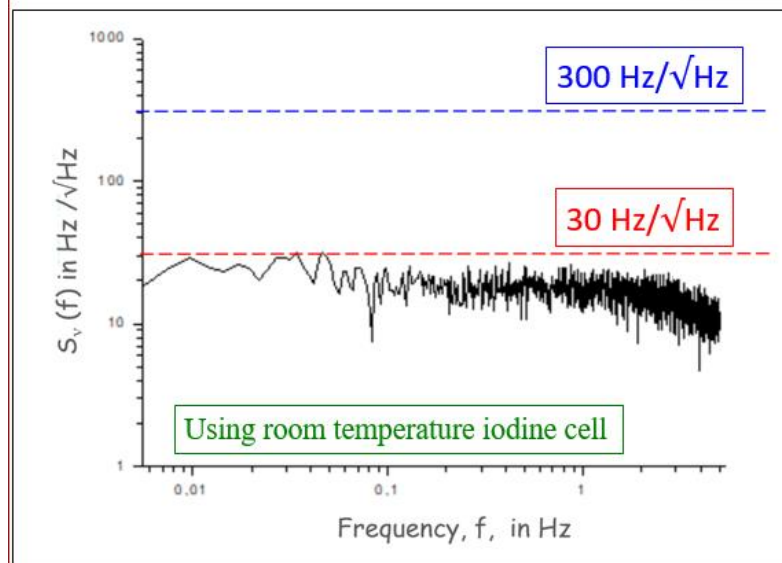
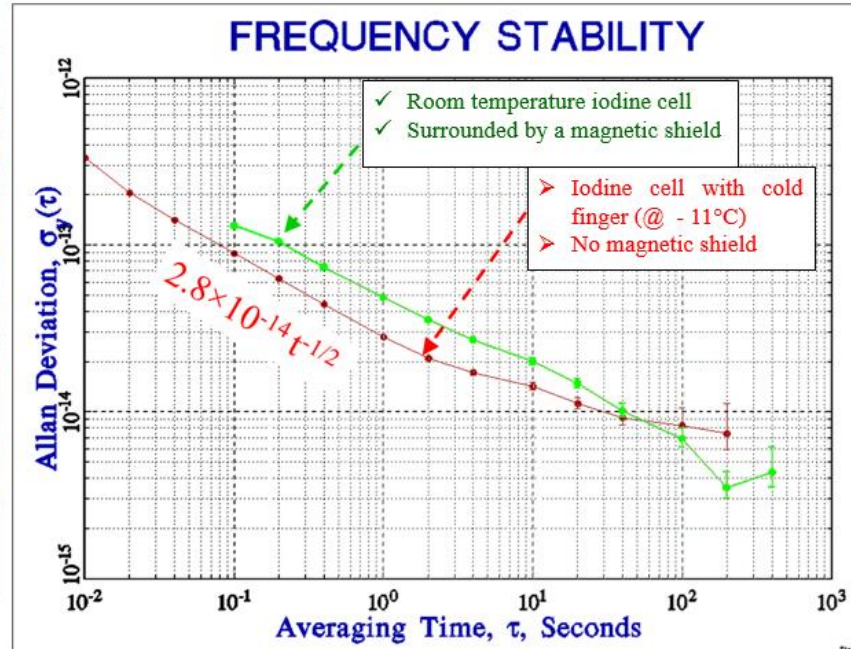
Spectroscopy

More than  $10^4$  intense and narrow hyperfine components of  $^{127}\text{I}_2$  are available between 510 nm and 533 nm, in coincidence with the third harmonics of Telecom laser frequency (C&L bands)  
 Linewidths  $\Delta\nu \sim 300$  kHz to 500 kHz  
 Quality factors  $Q = \nu/\Delta\nu > 10^9$





Saturated absorption technique Multi-pass sealed iodine quartz cells (length ~ 20 cm)



C. Philippe et al., App. Phys. B, 2016

*Amplitude spectral density of the residual frequency fluctuations of the iodine frequency stabilized Telecom laser*

Ouali Acef, Journée LISA, Observatoire de Paris 10/12/2021

# Plan

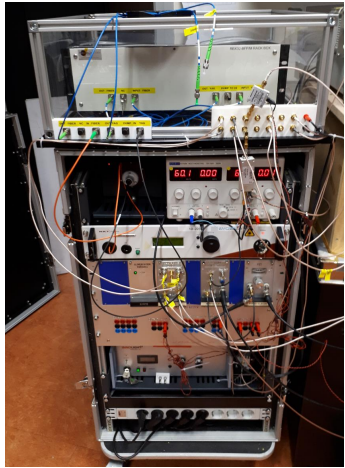
□ Introduction

□ Présentation générale de l'activité du SYRTE au sein de LISA-France

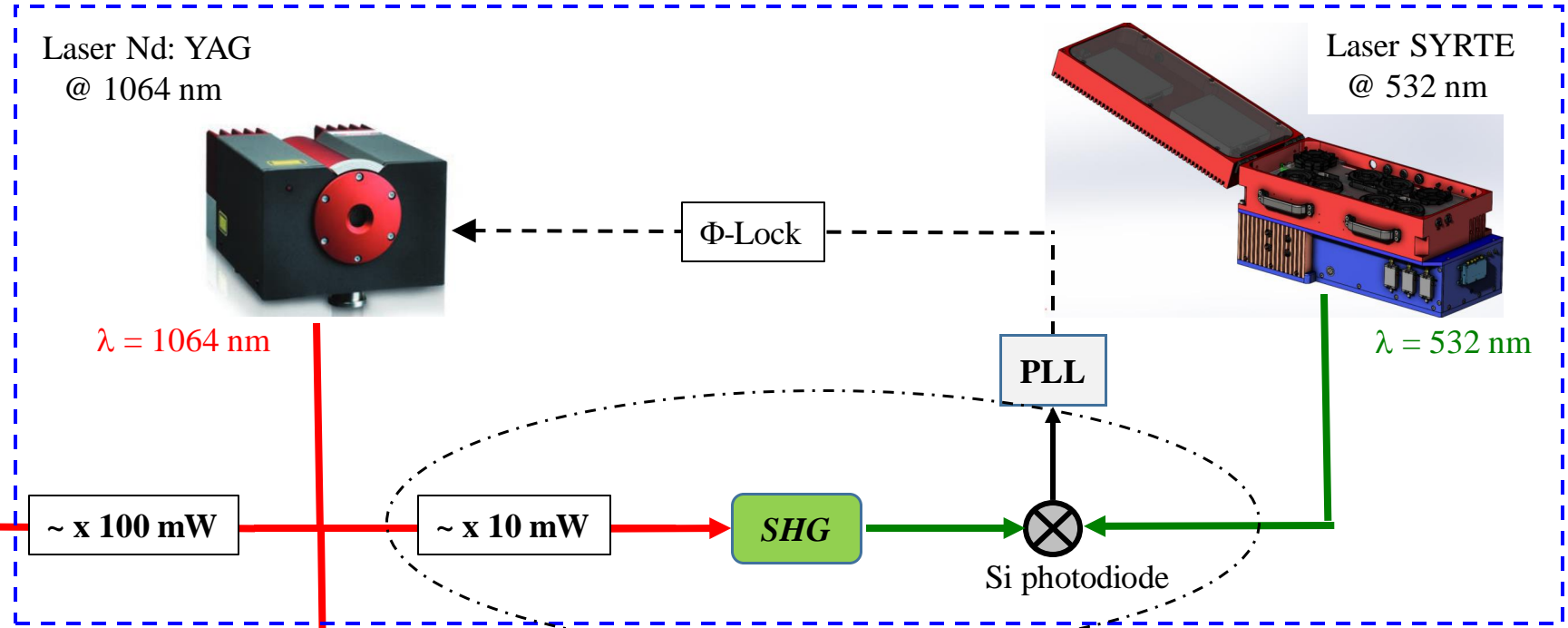
□ Développement d'OGSE pour l'AIVT

- ❖ Approche du SYRTE pour la stabilisation en fréquence vs spécification de LISA
- ❖ Banc lasers pour l'interférométrie (V1) & Laser de référence stabilisé sur l'iode (V2)
  - Banc laser triplé en fréquence, modulé en phase, totalement fibré
  - Banc de spectroscopie de l'iode monolithique

□ Conclusion / perspective



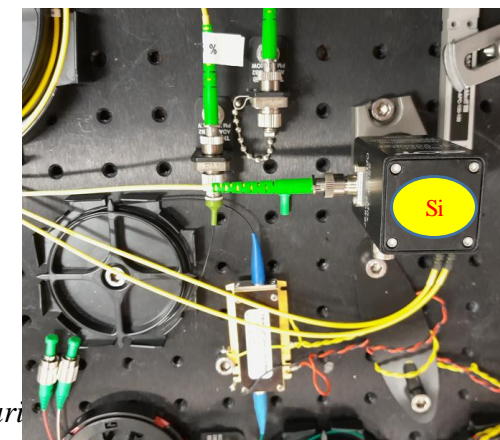
**Banc lasers V1**



60 cm x 60 cm

Caractérisation stabilité de fréquence  
 ·/· Horloges SYRTE

- Efficacité de conversion du PPLN (SHG) mesurée dans les mêmes conditions que celles du fabricant ~ 240 % / Watt à  $P_{1064 \text{ nm}} = 45 \text{ mW}$
- ~ 250  $\mu\text{W}$  @ 532 nm sont suffisants pour la PLL





Laser 1,54  $\mu\text{m}$  triplé en fréquence

+

Laser 1,03  $\mu\text{m}$  doublé en fréquence

2936 OPTICS LETTERS / Vol. 39, No. 10 / May 15, 2014

# Optical phase locking of two infrared continuous wave lasers separated by 100 THz

N. Chiodo,<sup>1</sup> F. Du-Burck,<sup>2</sup> J. Hrabina,<sup>3</sup> M. Lours,<sup>1</sup> E. Chea,<sup>1</sup> and O. Acef<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>INE-SYRTE, Observatoire de Paris/CNRS-UMR 8630/UPMC Paris VI, 61 avenue de l'Observatoire, 75014 Paris, France

<sup>2</sup>LPL/CNRS-UMR 7538/Université Paris 13—Sorbonne Paris Cité, 99 avenue J. B. Clément, 93430 Villetaneuse, France

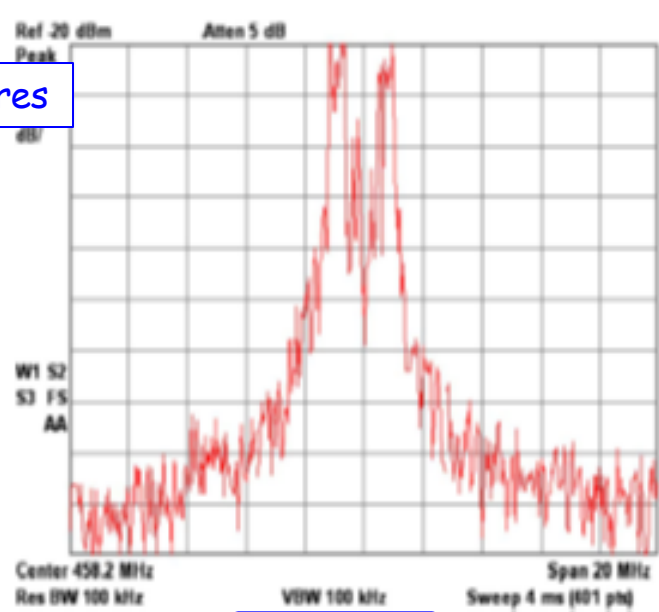
<sup>3</sup>Institute of Scientific Instruments of the ASCR, v.v.i., Královopolská 147, 61264 Brno, Czech Republic

\*Corresponding author: ouali.acef@obspm.fr

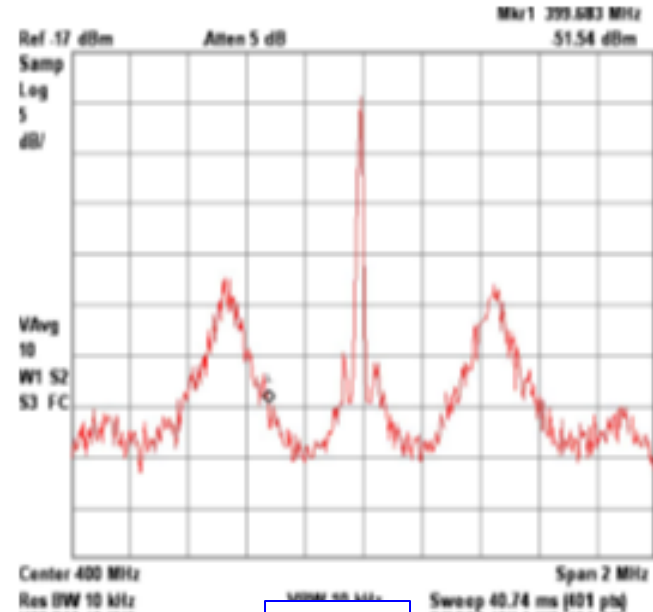
Received December 20, 2013; revised March 28, 2014; accepted March 30, 2014;  
posted April 11, 2014 (Doc. ID 203532); published May 9, 2014

We report on phase locking of two continuous wave IR laser sources separated by 100 THz emitting around 1029 and 1544 nm, respectively. Our approach uses three independent harmonic generation processes of the IR laser frequencies in periodically poled MgO:LiNbO<sub>3</sub> crystals to generate second and third harmonics of those two IR sources. The

Lasers libres



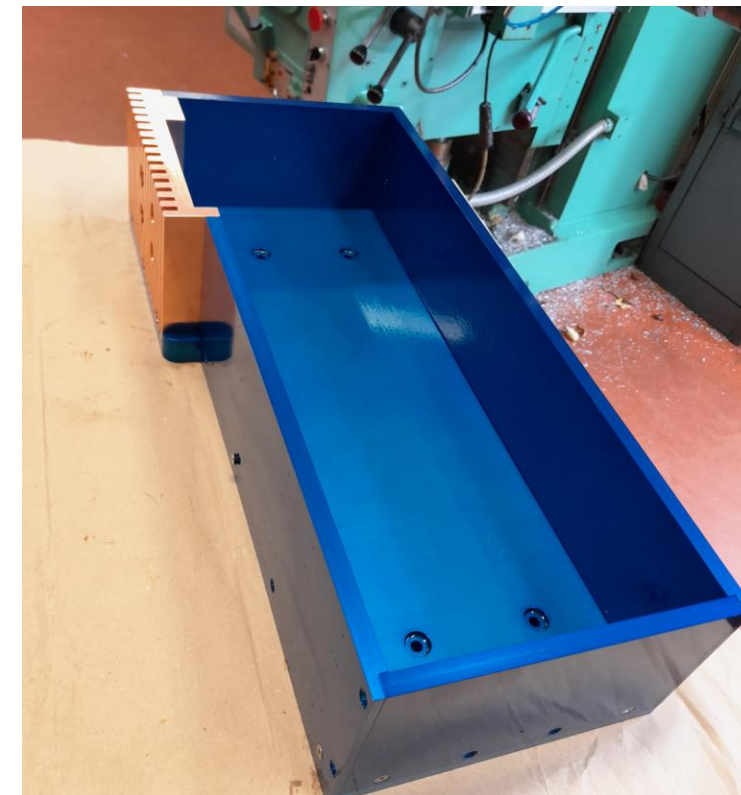
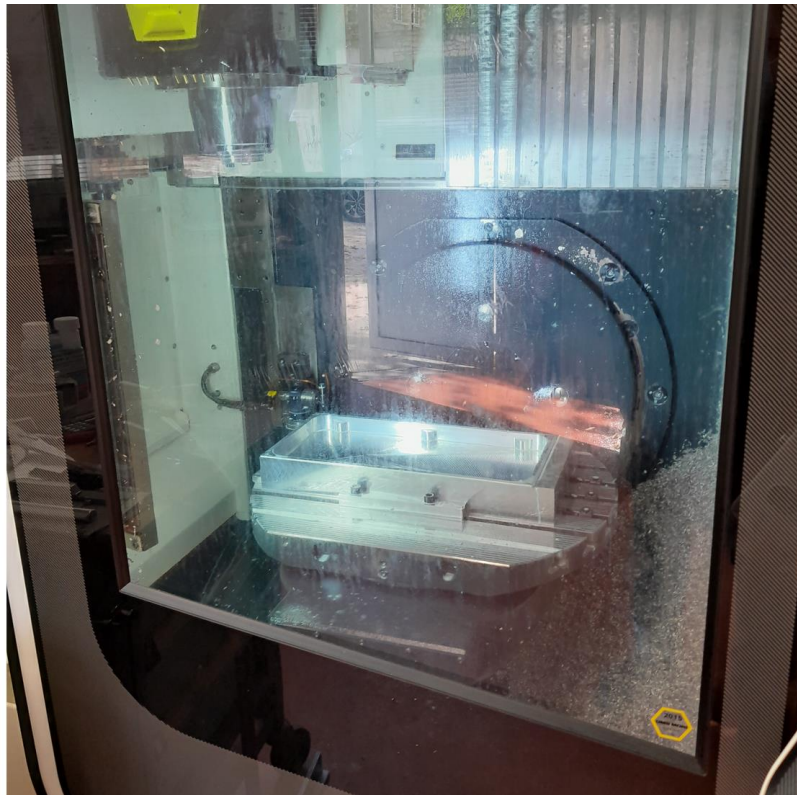
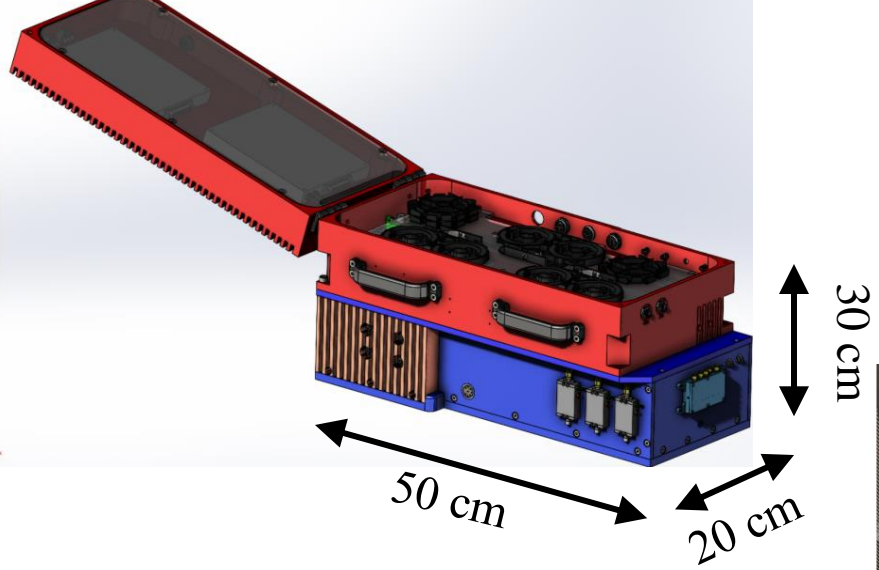
Lasers  $\phi$ -Lockés



20 MHz

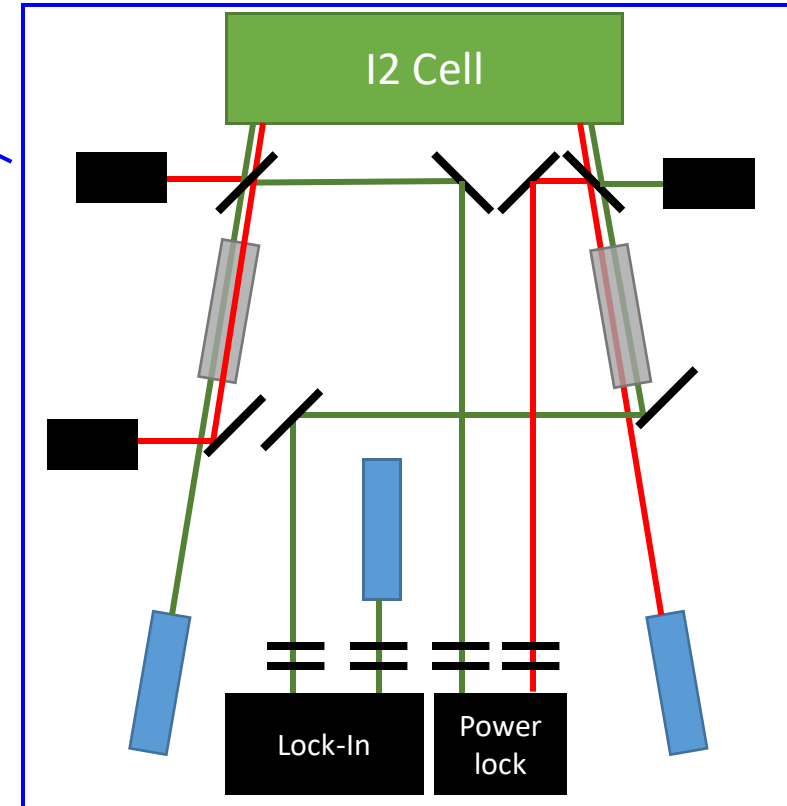
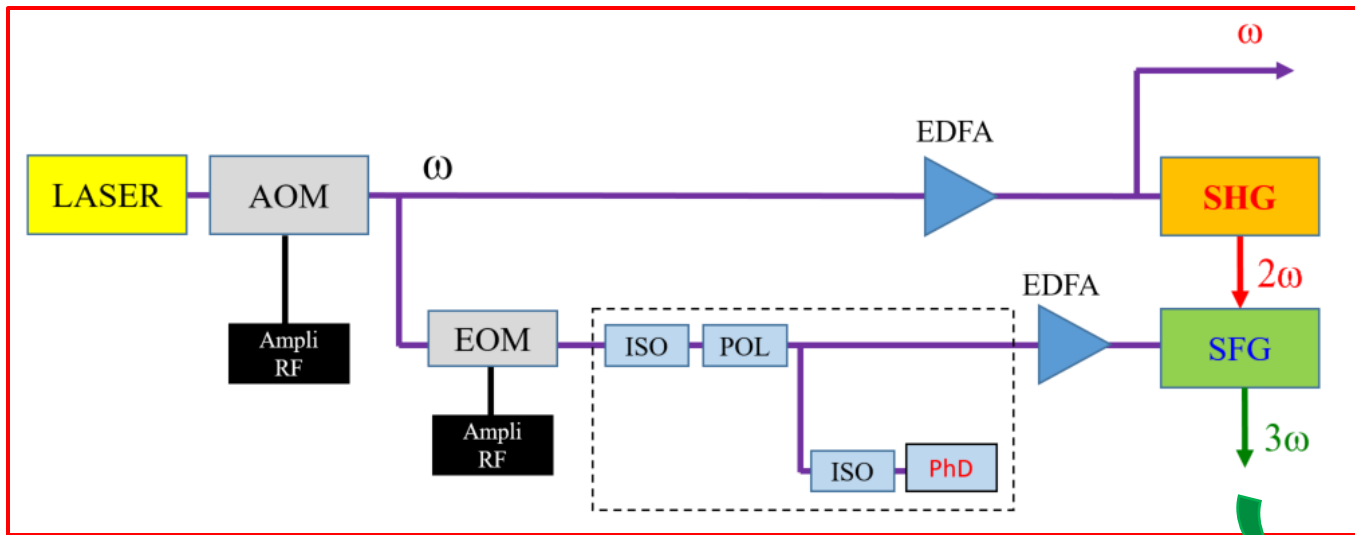
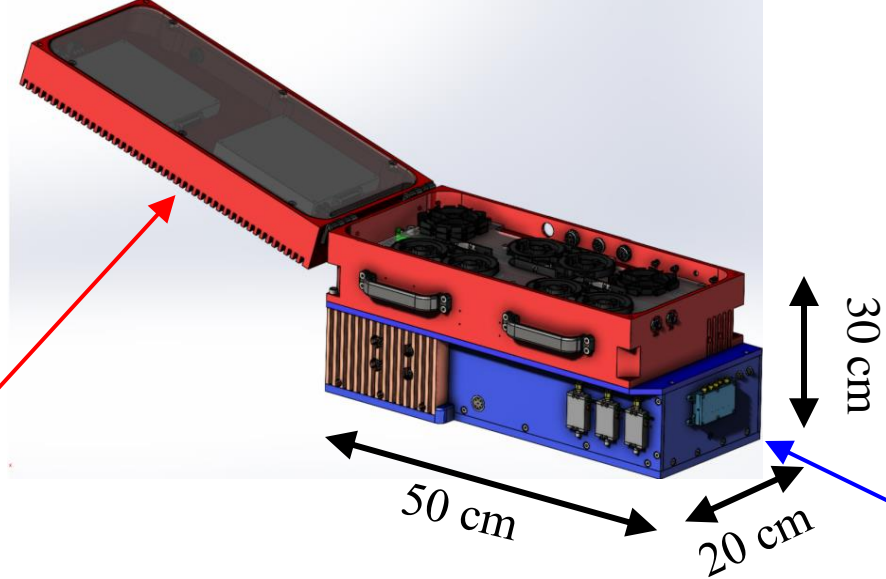
2 MHz

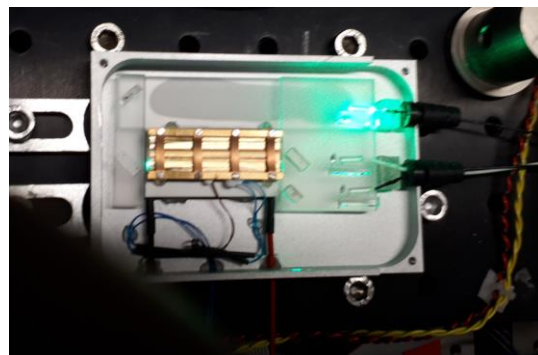
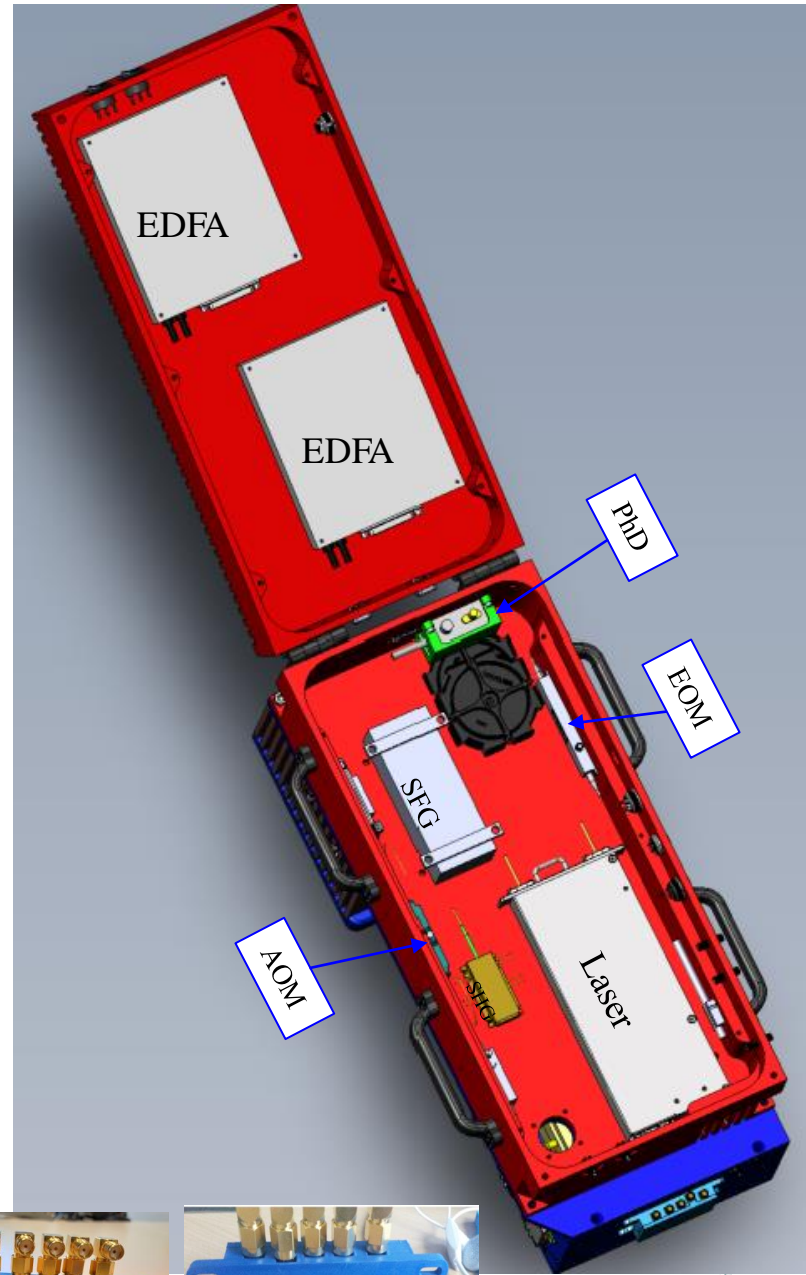
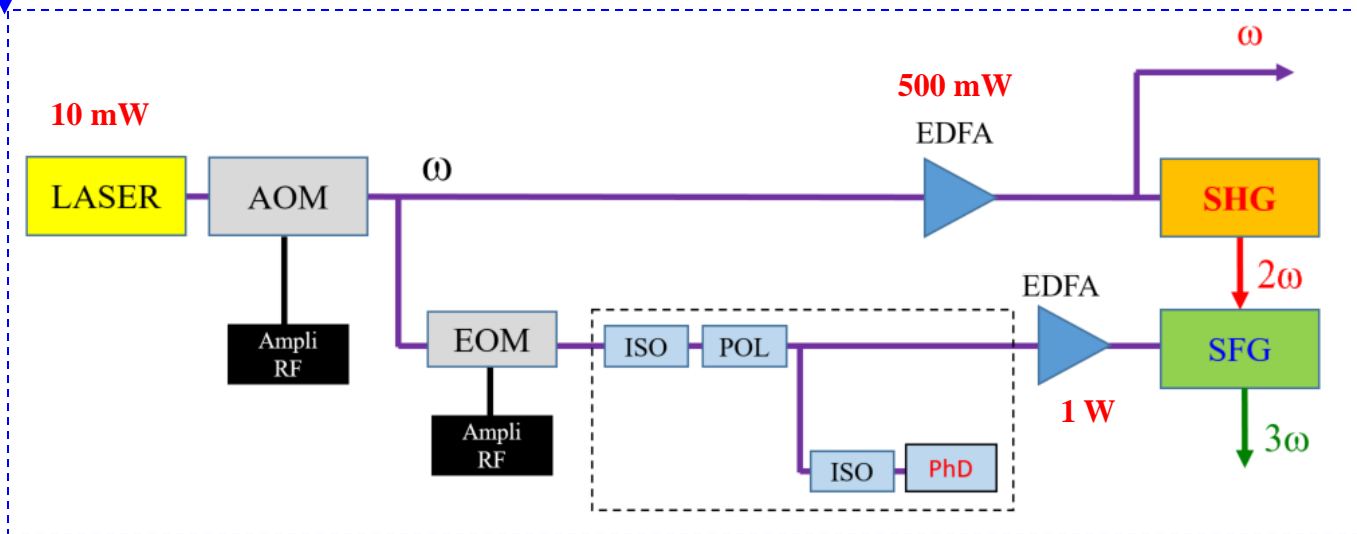
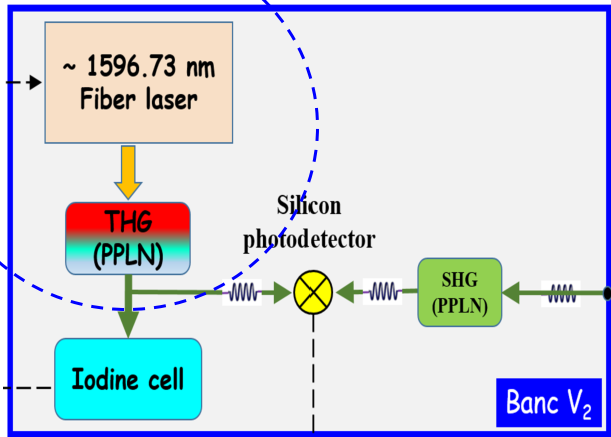
Ouali Acef, Journée LISA, Observatoire de Paris 10/12/2021



Le module laser est usiné dans la masse  
Sous forme de 2 coquilles.  
(Atelier méca. Paris)

Le module spectroscopie est constitué  
de 6 parois indépendantes  
(assemblées entre elles)





ixblue kYlia

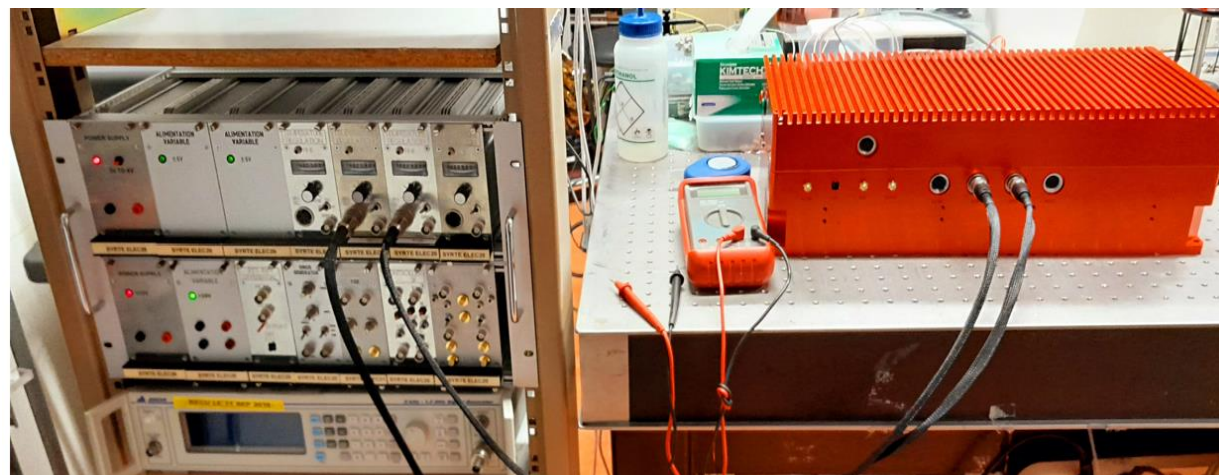
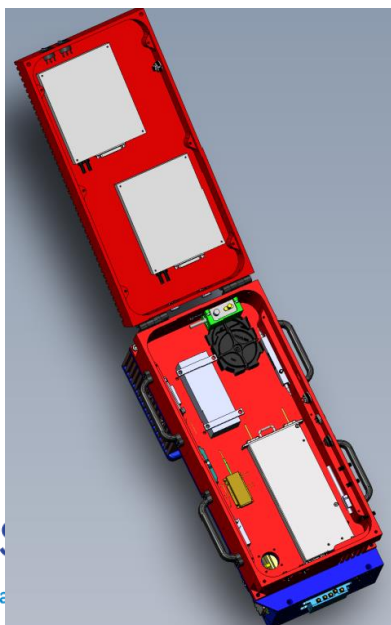
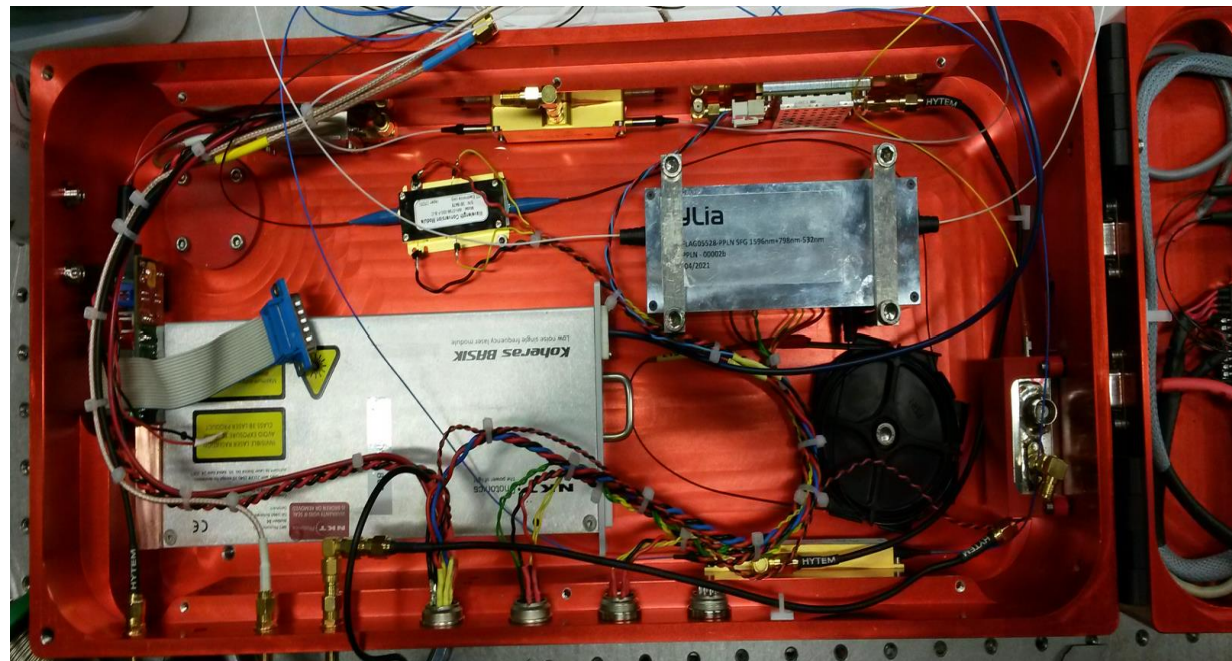
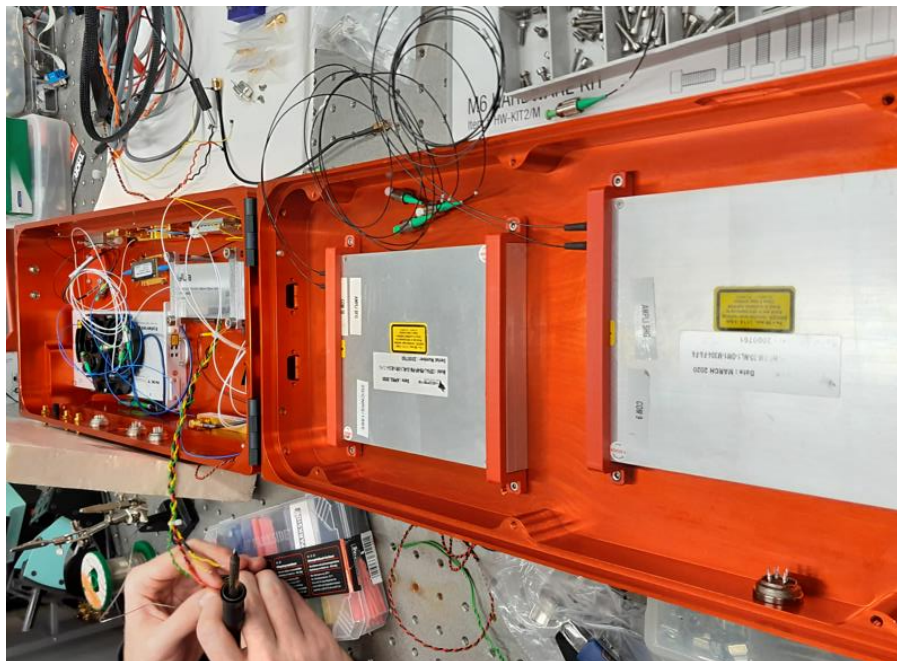
SYRTE l'Observatoire de Paris | PSL

Systèmes de Référence Temps-Espace

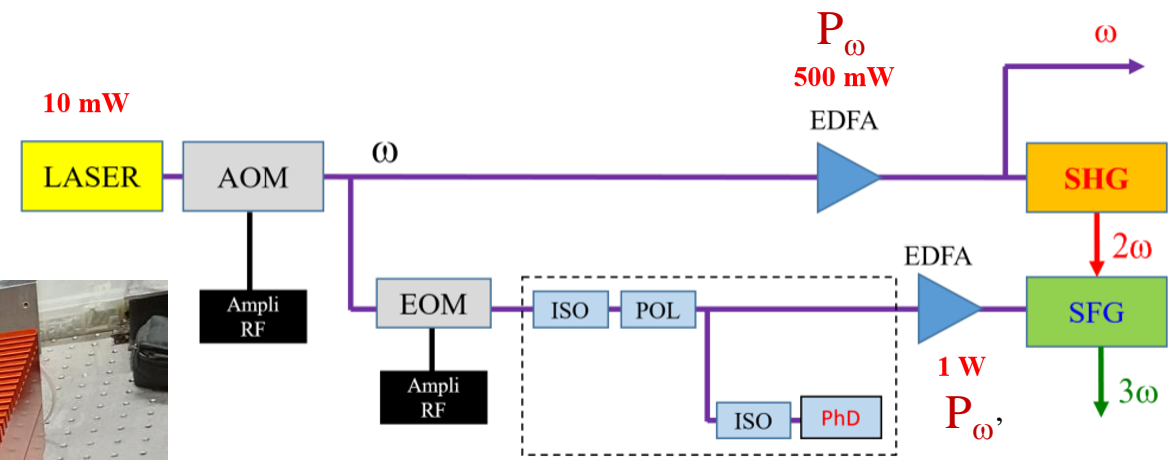
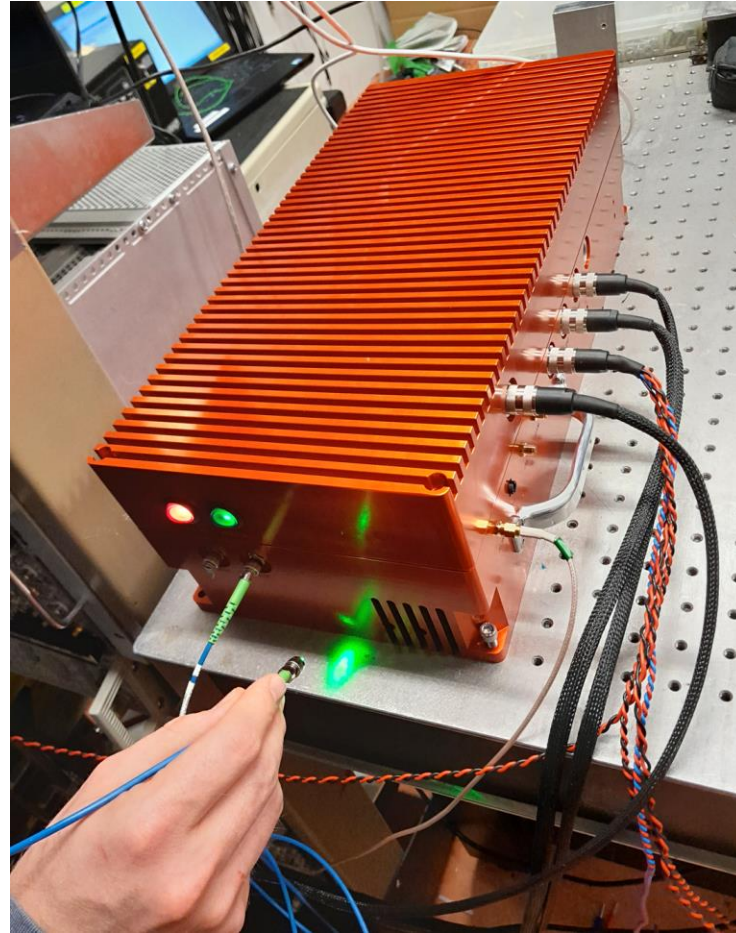
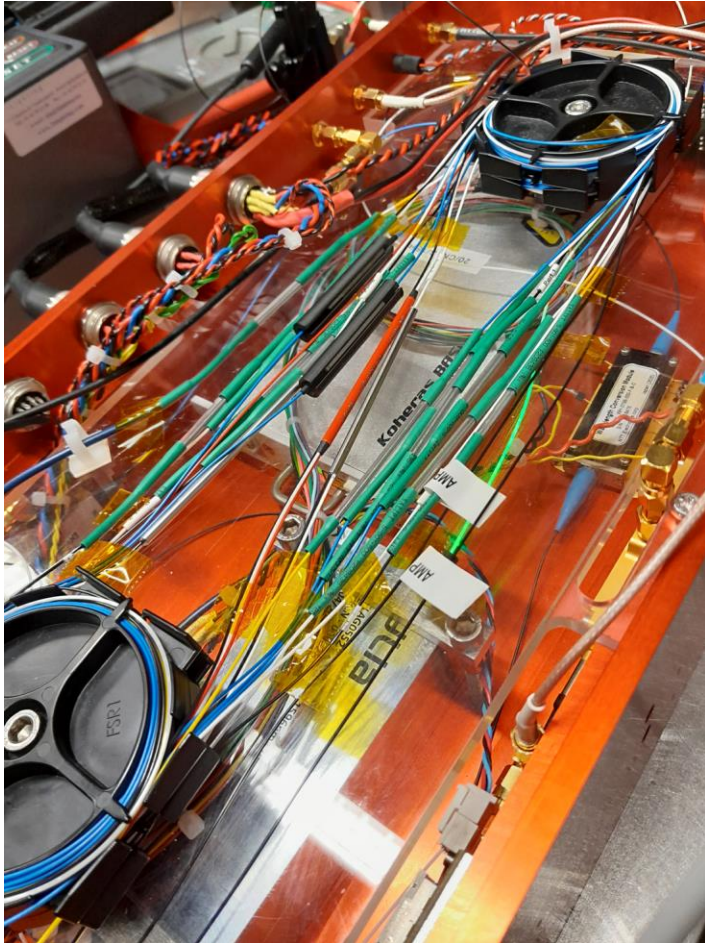
LISA, Observatoire de Paris



# Intégration du module laser



# Intégration du module laser



- Le module laser est totalement fibré.
- La puissance harmonique  $P_{3\omega} > 30 \text{ mW}$
- Efficacité de conversion optique  $P_{3\omega} / P_{\omega} * P_{\omega'} \sim 6 \%$

# Plan

## □ Introduction

## □ Présentation générale de l'activité du SYRTE au sein de LISA-France

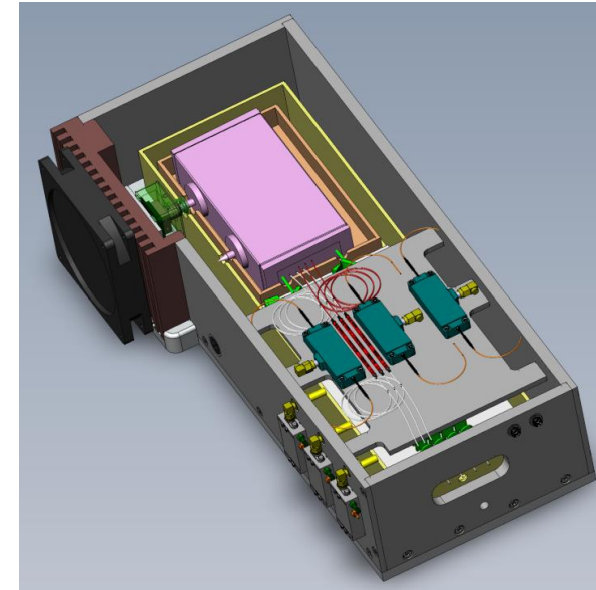
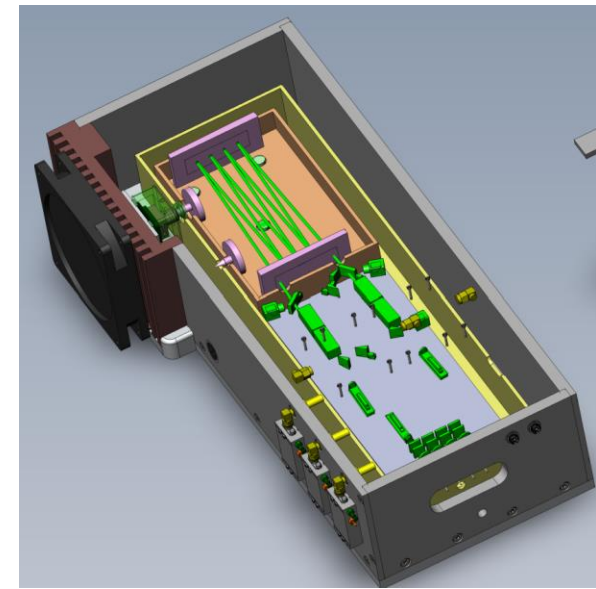
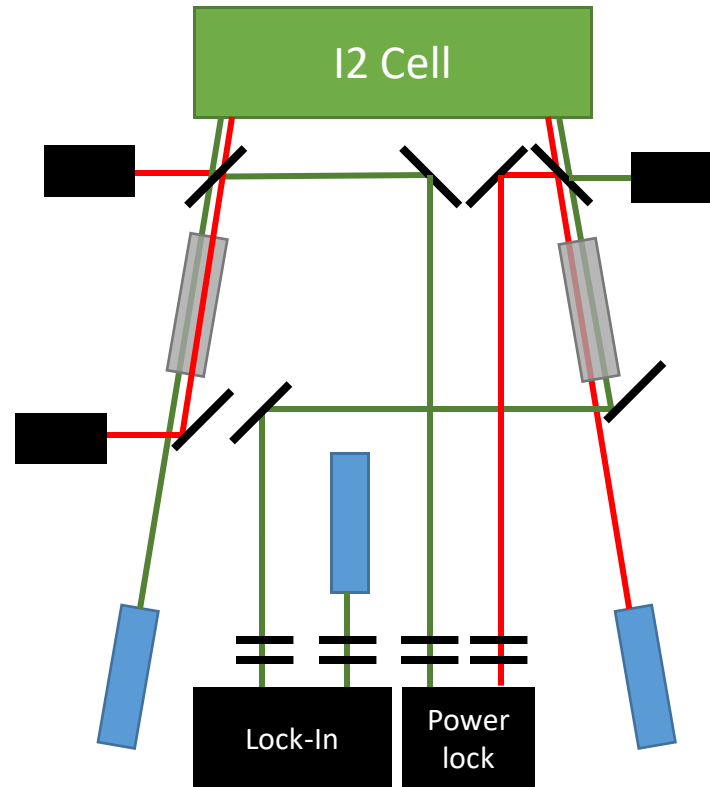
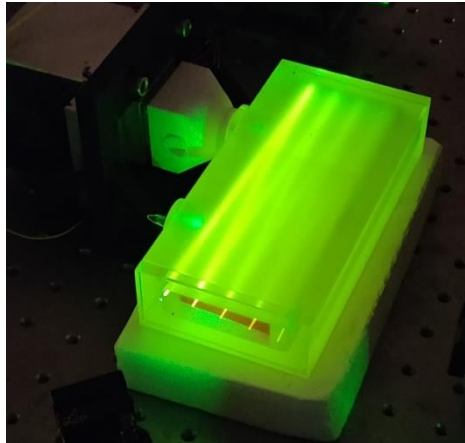
## □ Développement d'OGSE pour l'AIVT

- ❖ Approche du SYRTE pour la stabilisation en fréquence vs spécification de LISA
- ❖ Banc lasers pour l'interférométrie (V1) & Laser de référence stabilisé sur l'iode (V2)
  - Banc laser triplé en fréquence, modulé en phase, totalement fibré
  - Banc optique (monolithique) de spectroscopie de l'iode

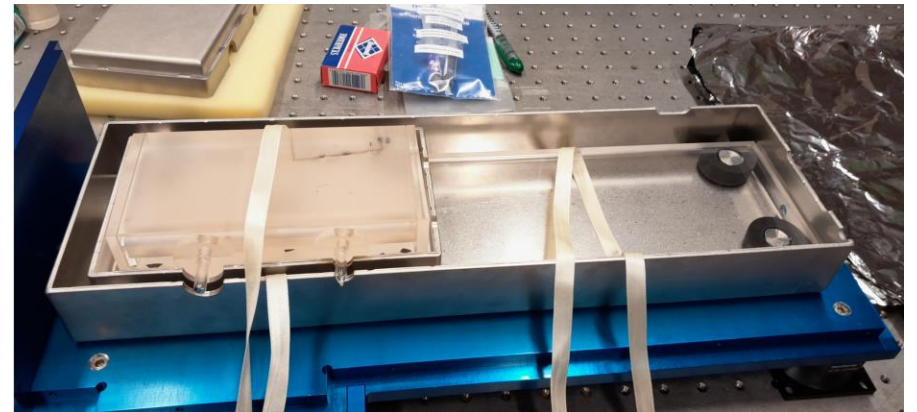
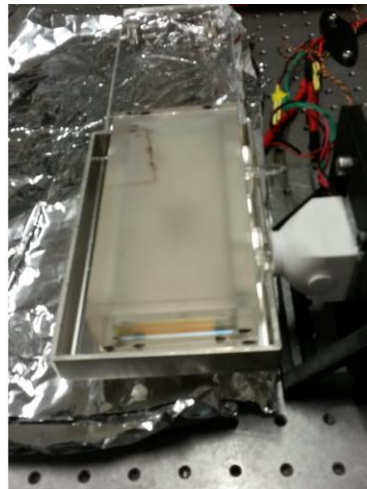
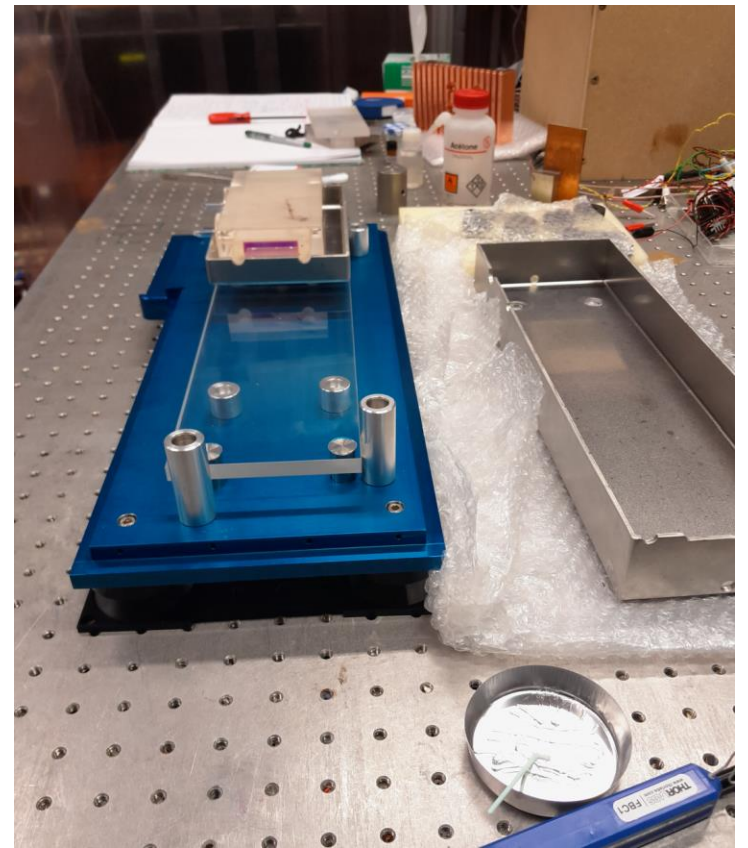
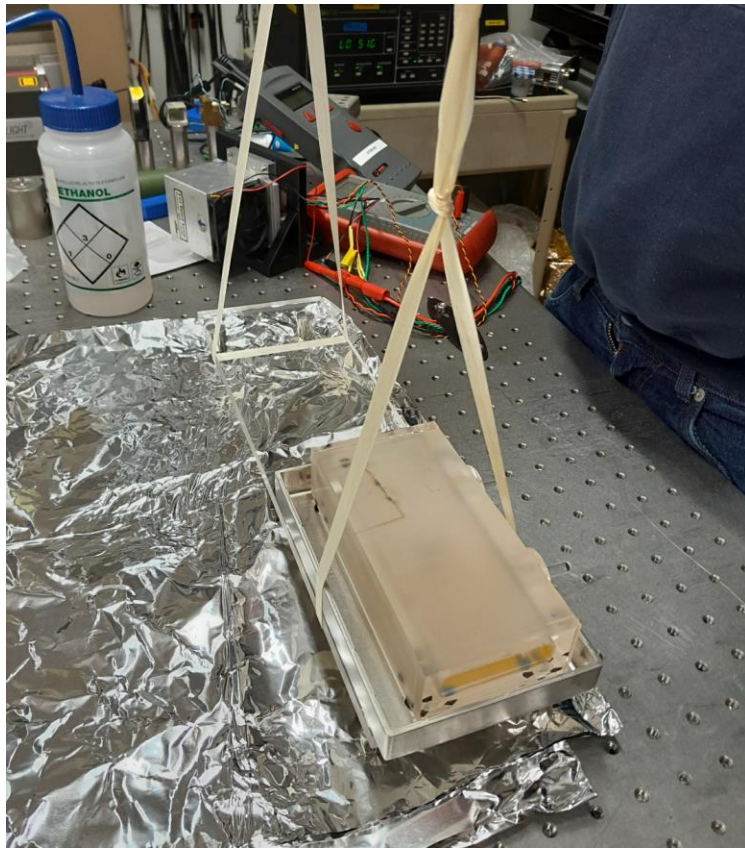
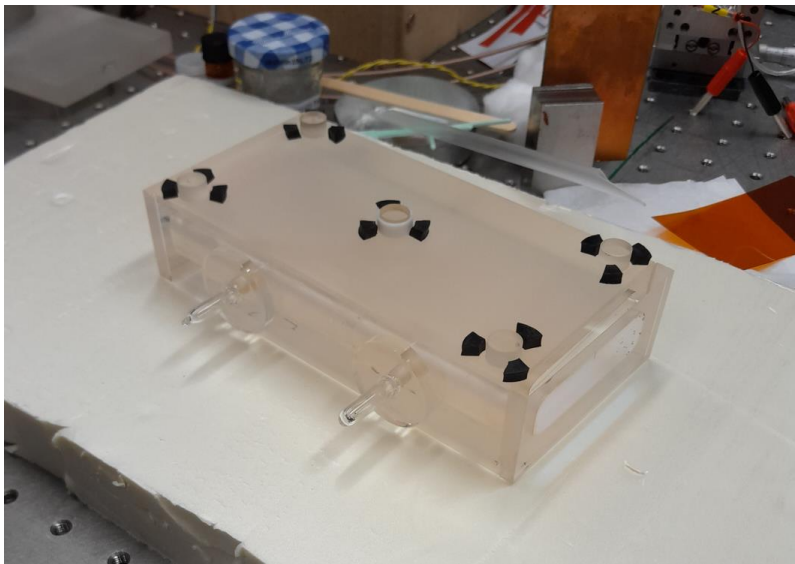
## □ Conclusion / perspective

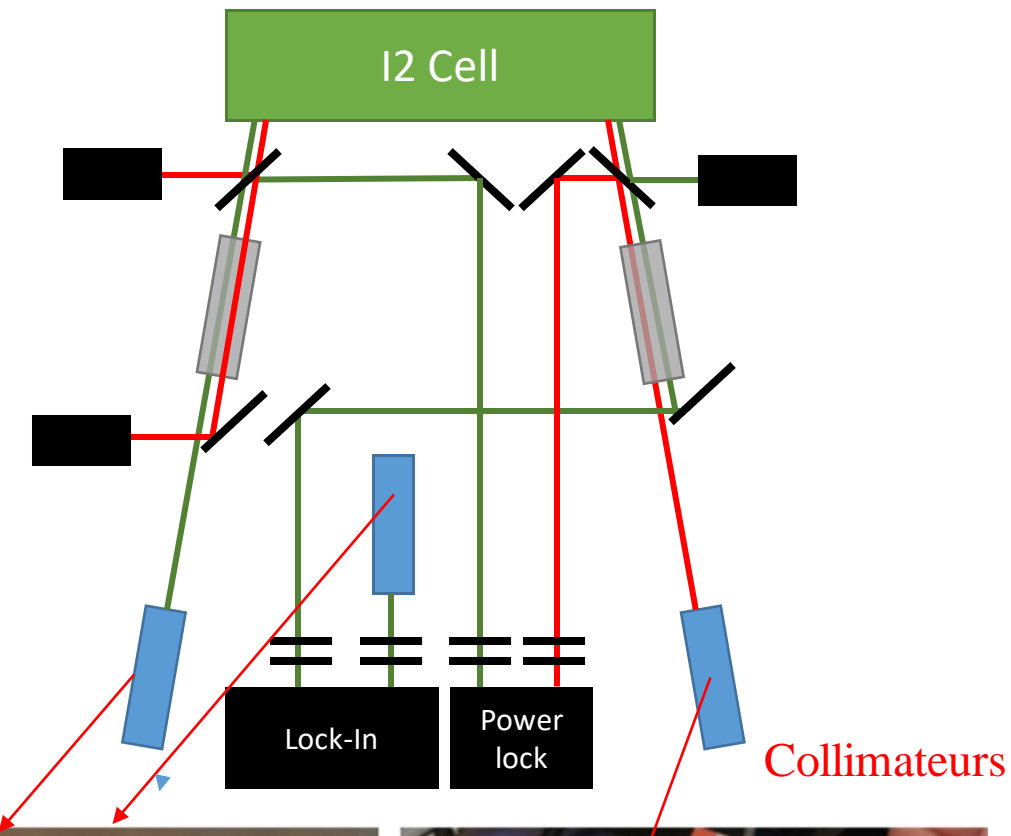
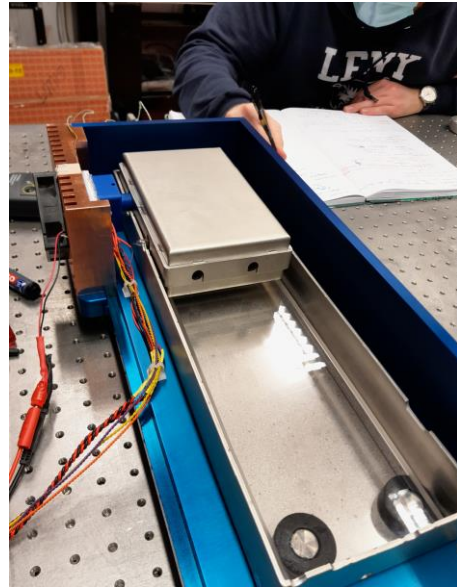
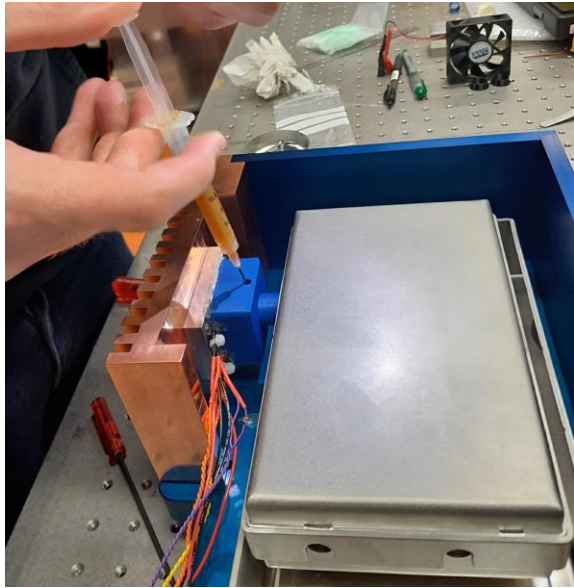
# Banc de spectroscopie

- Very compact Iodine cell (15 x 8 x 4 cm<sup>3</sup>) developed in Czech republic.
- Monolithic optical bench on basis of KYLIA's knowledge

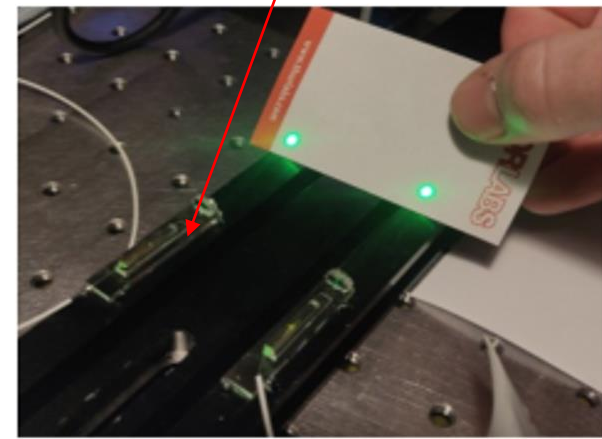




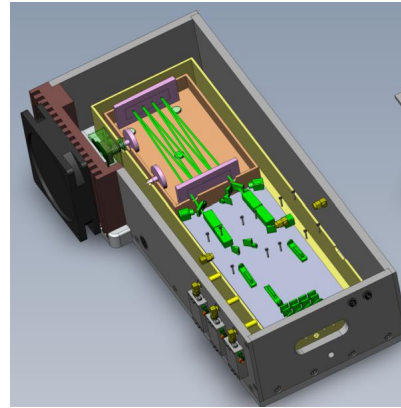
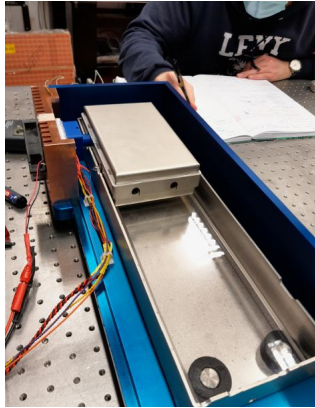
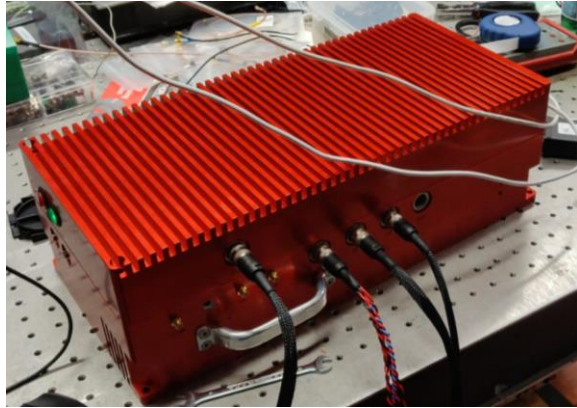




Queusot refroidi @ -17°C  
 Température radiateur = + 21°C



**ixblue kYlia**



### Prochaines étapes :

- Transfert de l'ensemble laser + banc iode dans les locaux de Kylia
  - Implantation du banc optique monolithique
  - Détection des signaux de saturation de l'iode
- 
- ❑ Retour au SYRTE pour la caractérisation des performances métrologiques vs horloges optiques du laboratoire

# Plan

## □ Introduction

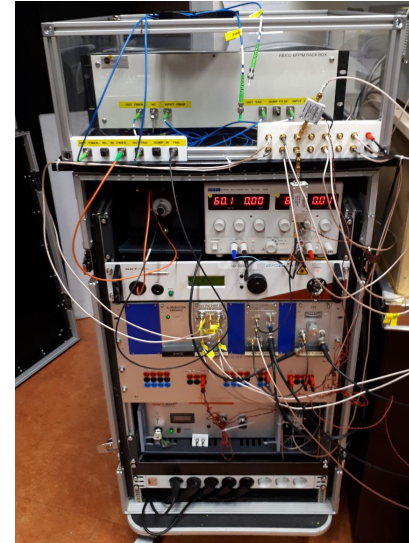
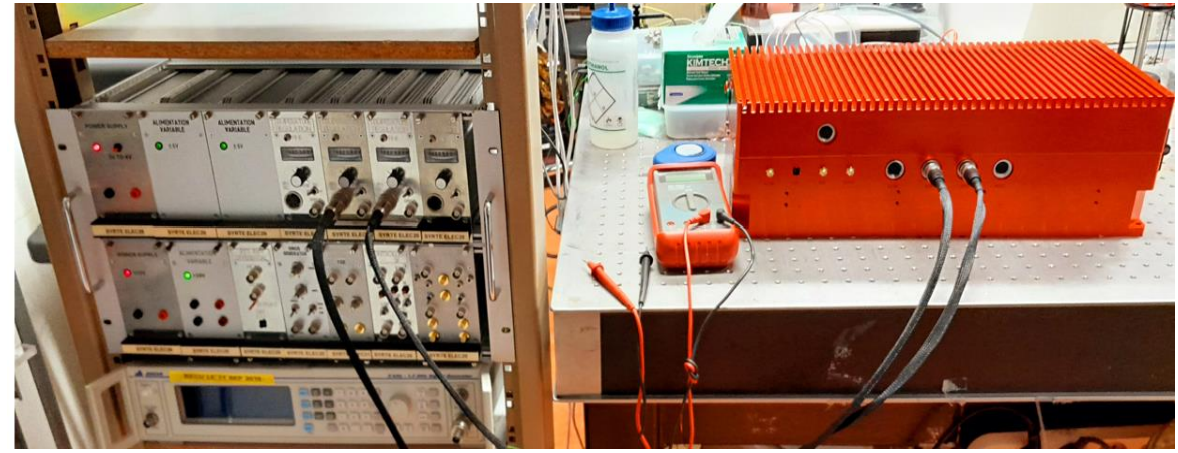
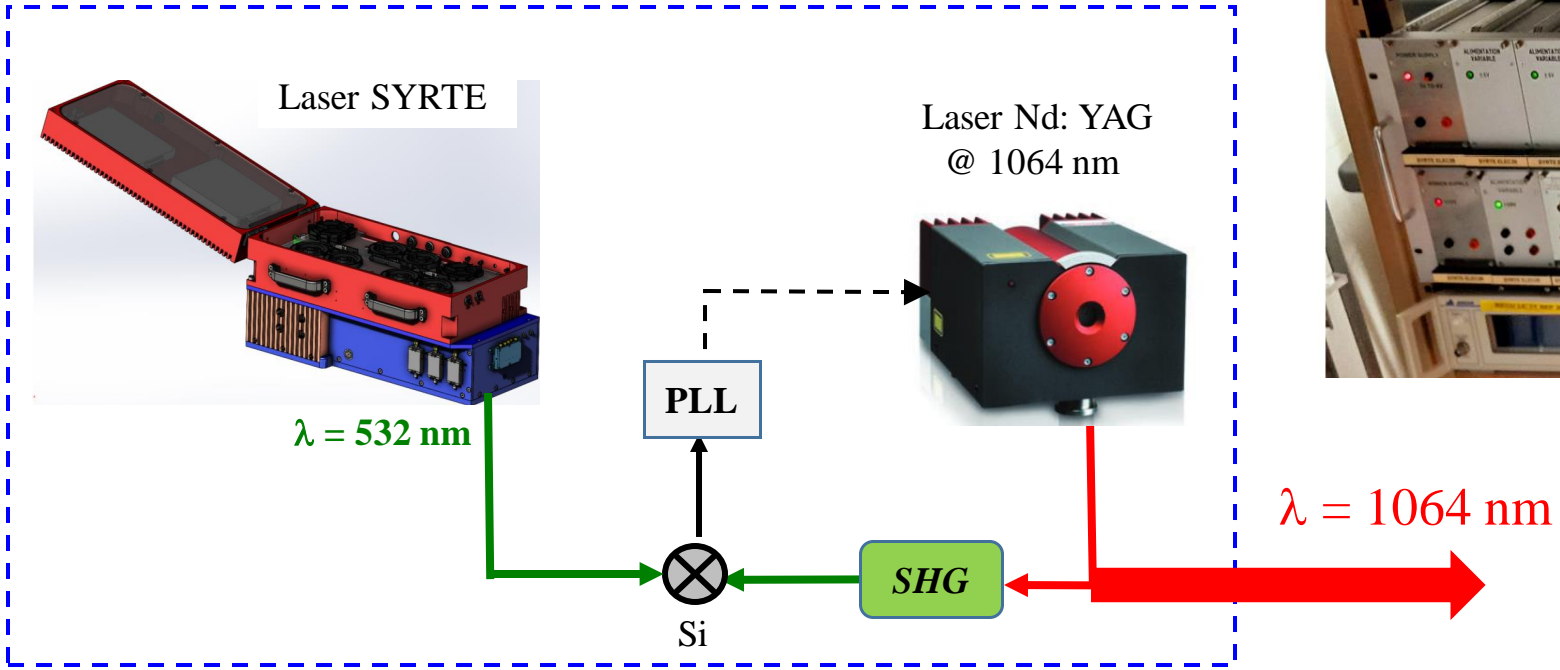
## □ Présentation générale de l'activité du SYRTE au sein de LISA-France

## □ Développement d'OGSE pour l'AIVT

- ❖ Approche du SYRTE pour la stabilisation en fréquence vs spécification de LISA
- ❖ Banc lasers pour l'interférométrie (V1) & Laser de référence stabilisé sur l'iode (V2)
  - Banc laser triplé en fréquence, modulé en phase, totalement fibré
  - Banc de spectroscopie de l'iode monolithique

## □ Conclusion / perspective

# Conclusion



## Interférométrie banc optique ZIFO

- APC (Juin 2022)
- LAM (Automne 2022)
- ☐ Référence de fréquence pour Industriel 2023 - 2024
- ❖ Référence de fréquence tests IDS au CNES début 2025

