

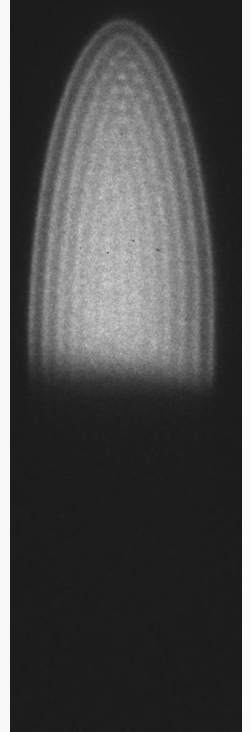
Exploitation Optimale du Signal REFIMEVE pour la Spectroscopie de très haute résolution en fréquence (EXOSSTIF)

Mathieu Collombon

Confinement d'Ions et Manipulation Laser (CIML)

PIIM - AMU - CNRS

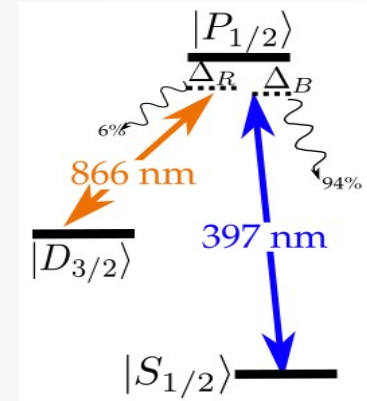
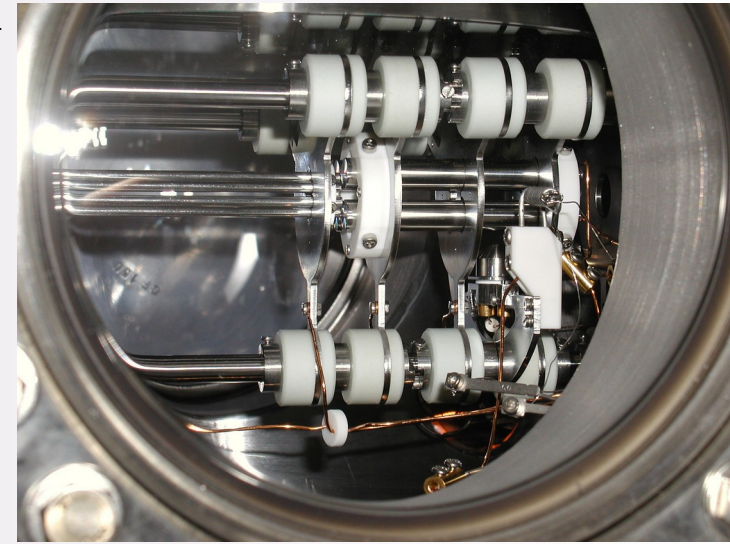
- Spectroscopie très haute résolution sur Ca^+
 - Enjeux métrologiques
 - Ensemble expérimental
- Utilisation du signal Refimeve
- Diagnostic du Signal Refimeve à Marseille



Spectroscopie de très haute résolution sur Ca^+

- Nuage de Ca^+ en piège quadrupolaire

- * Piège RF macroscopique
- * 21 mm x 4 mm
- * 60 à 3000 Ca^+



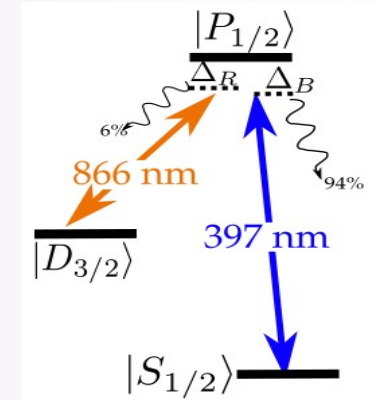
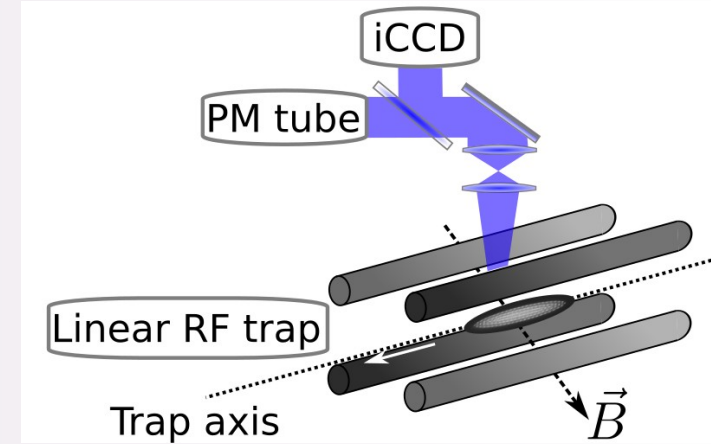
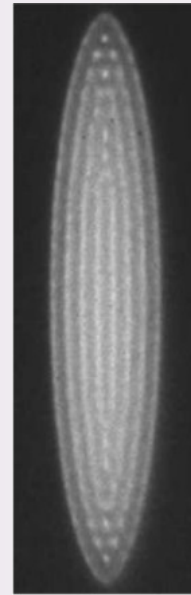
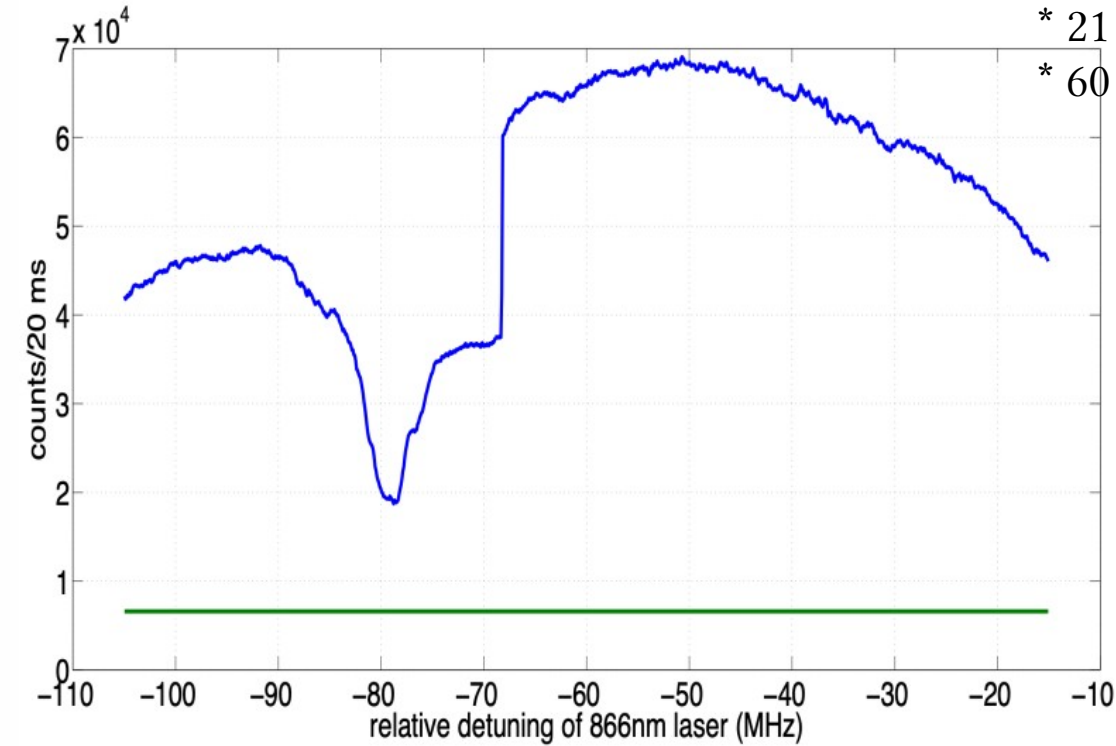
Spectroscopie de très haute résolution sur Ca^+

- Nuage de Ca^+ en piège quadrupolaire

* Piège RF
macroscopique

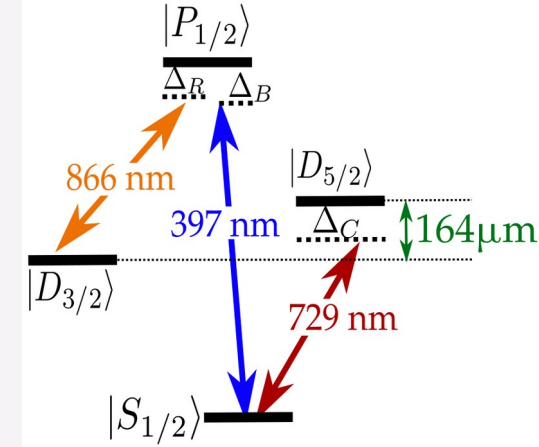
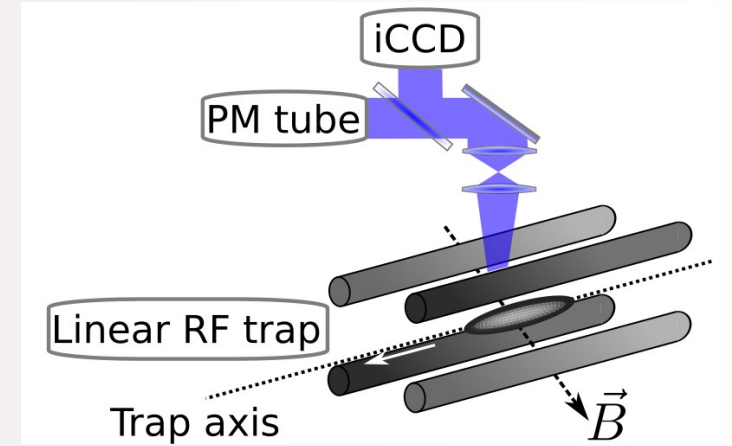
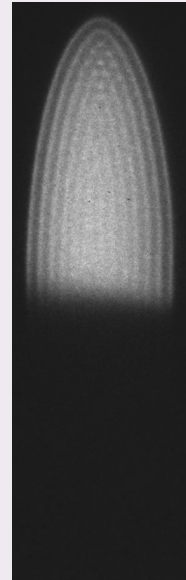
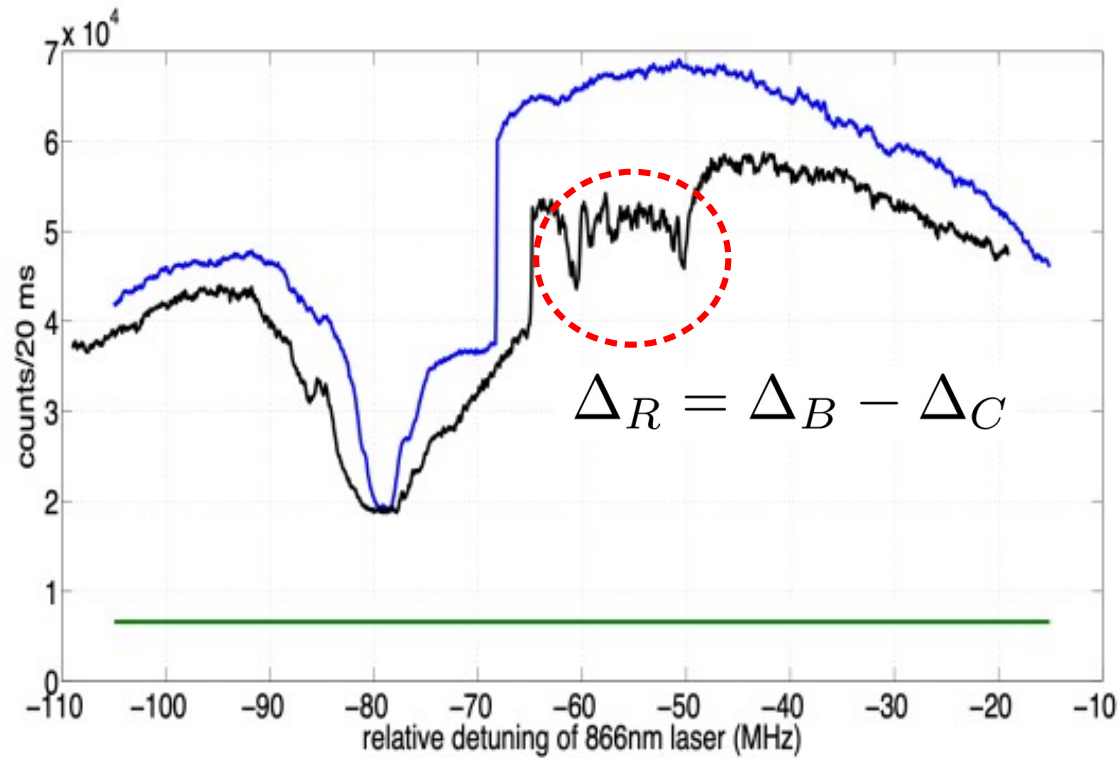
* 21 mm x 4 mm

* 60 à 3000 Ca^+



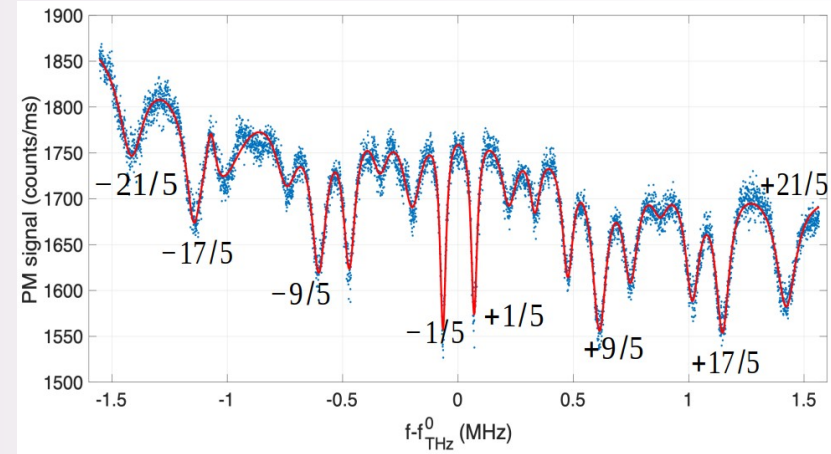
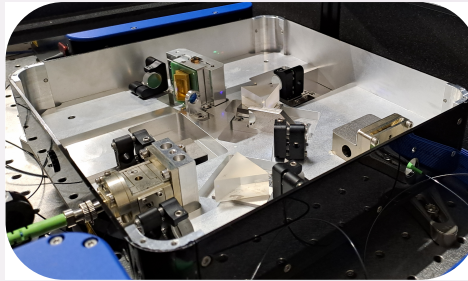
Spectroscopie de très haute résolution sur Ca^+

- Résonance noire à trois photons (CPT)



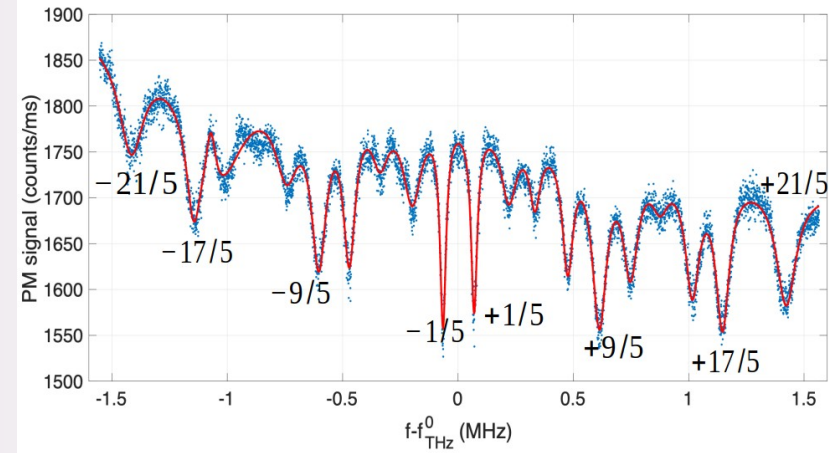
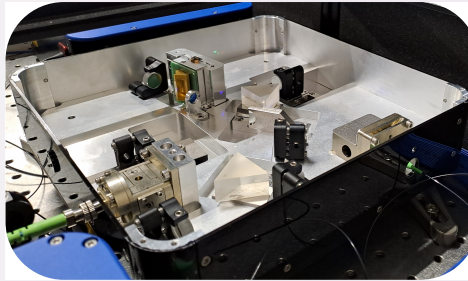
Enjeux métrologiques

- Laser 729nm ultrastable (LUS)
- Asservissement en phase des trois lasers : peigne de fréquence optique



Enjeux métrologiques

- Laser 729nm ultrastable (LUS)
- Asservissement en phase des trois lasers : peigne de fréquence optique
- Mesure absolue et contrôle des fréquences laser

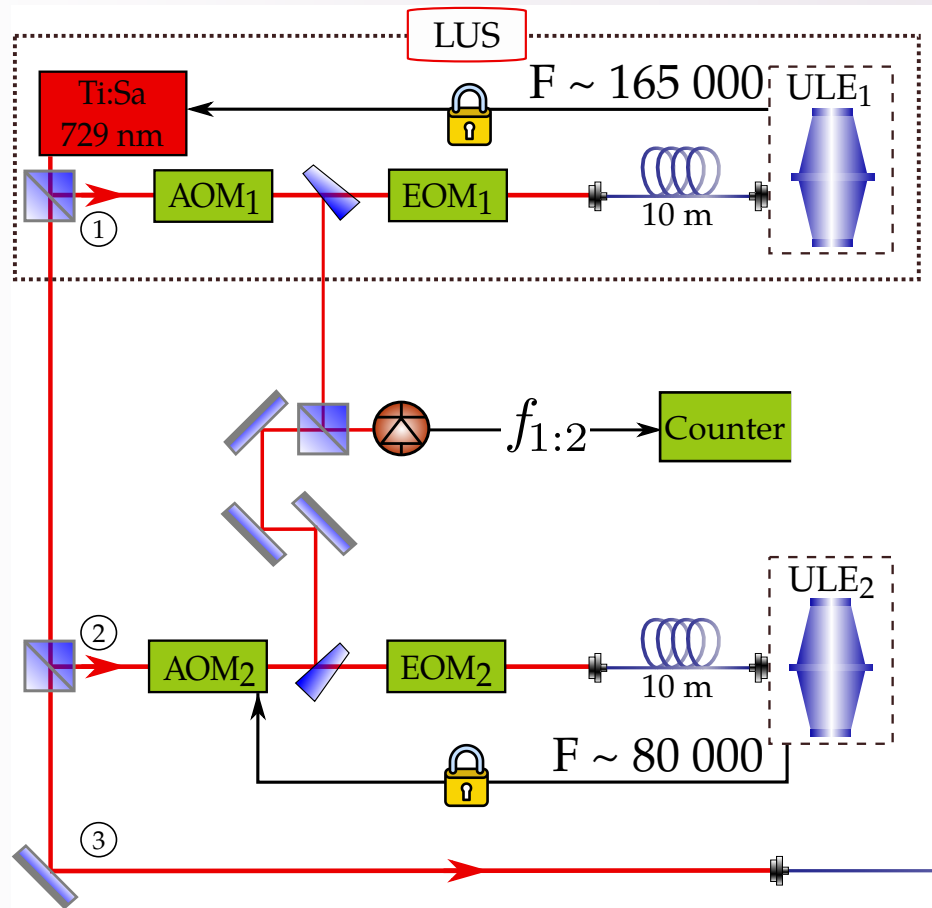


FWHM ~ 8 kHz Prec. 80 Hz

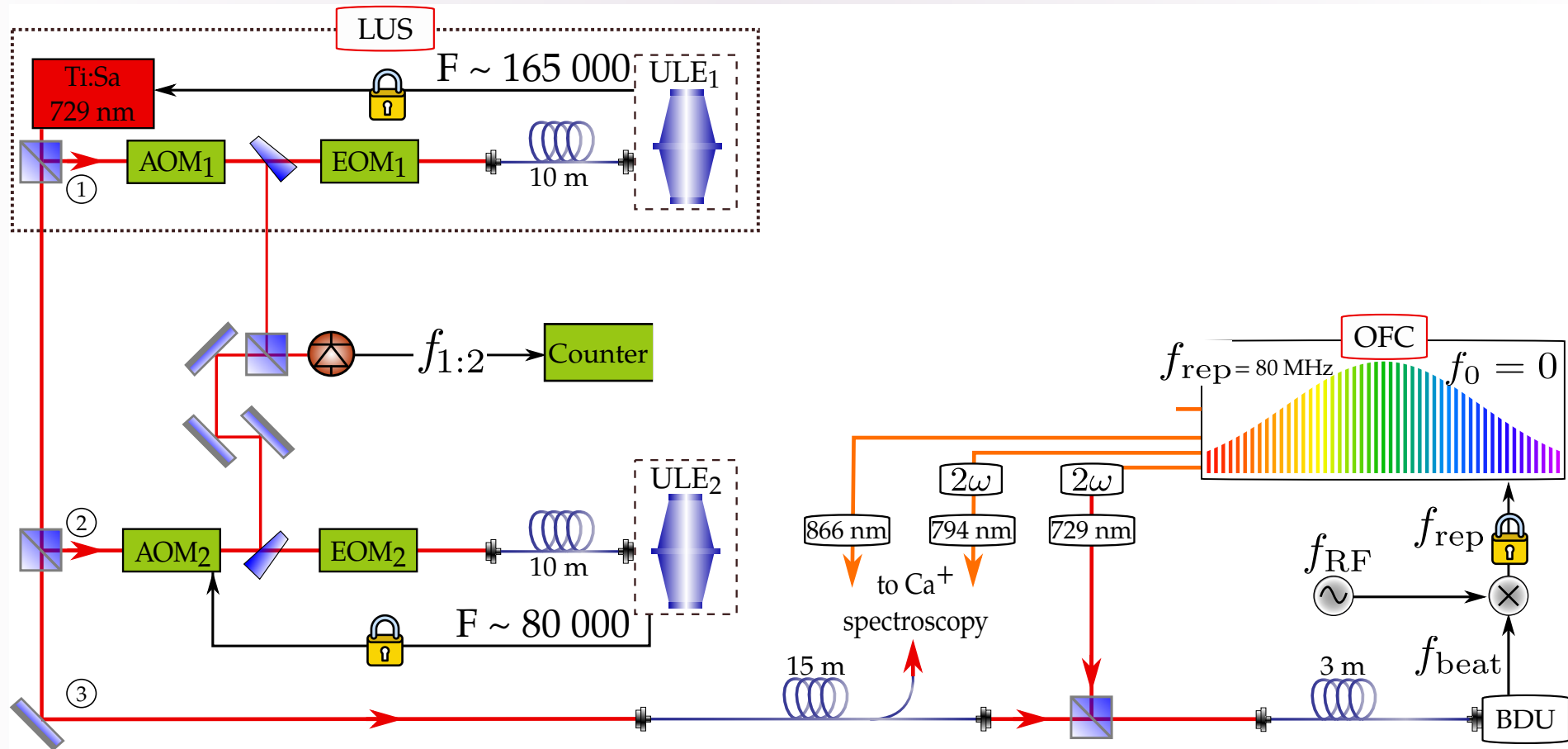
$$\nu_{THz} = \nu_R - \nu_B + \nu_C + syst.$$

Mesure de $D_{3/2} \rightarrow D_{5/2}$ à 1.819 THz

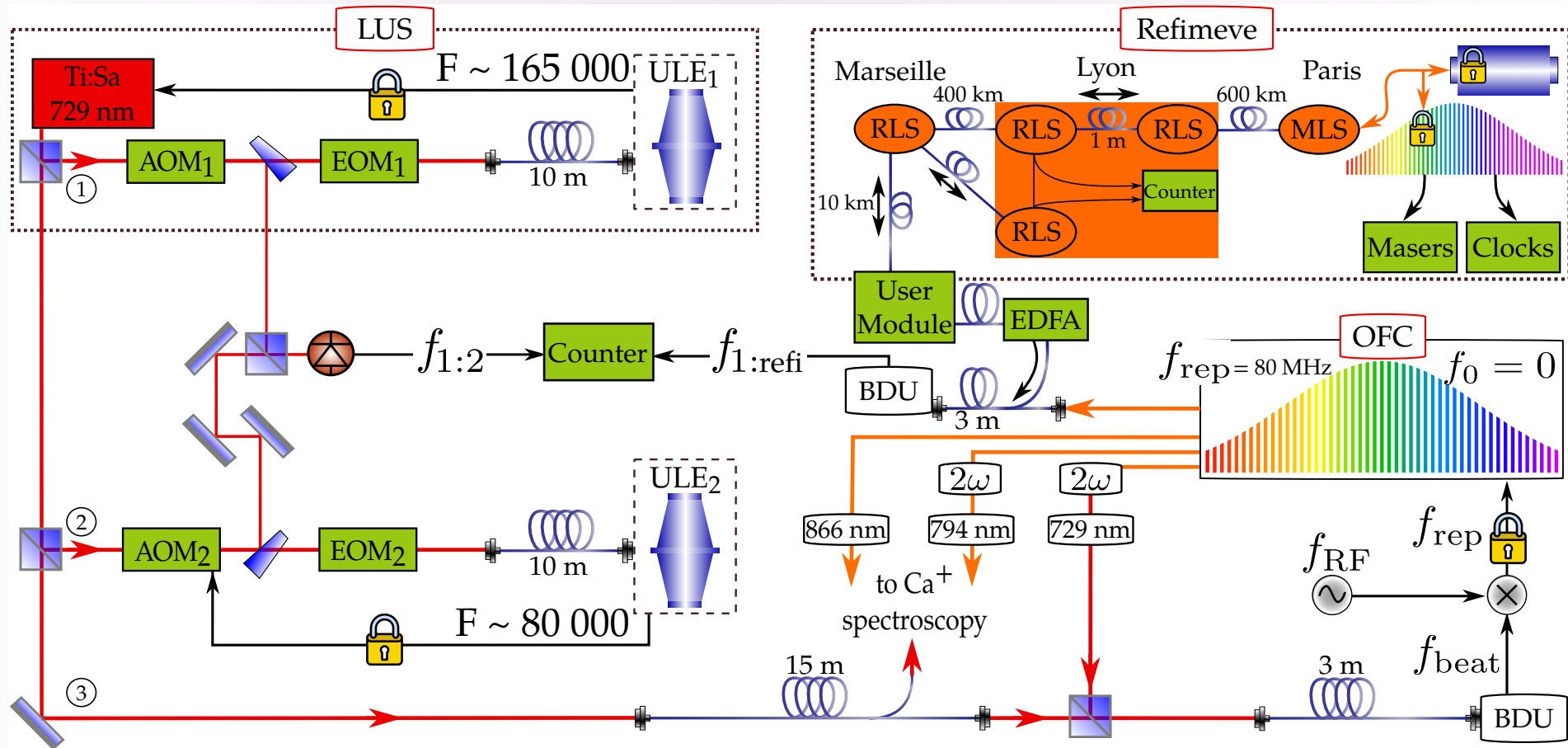
Ensemble expérimental



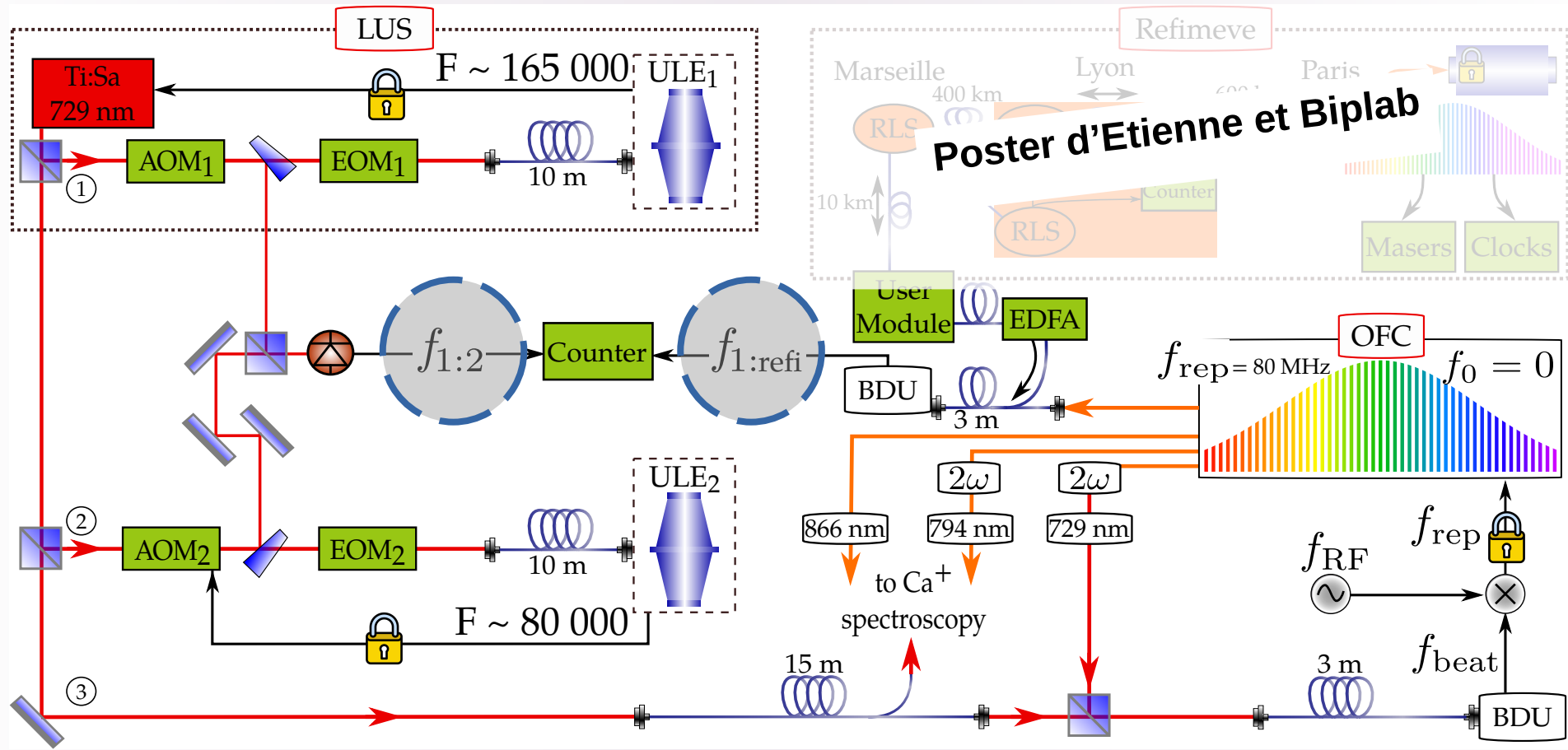
Ensemble expérimental



Ensemble expérimental



Ensemble expérimental



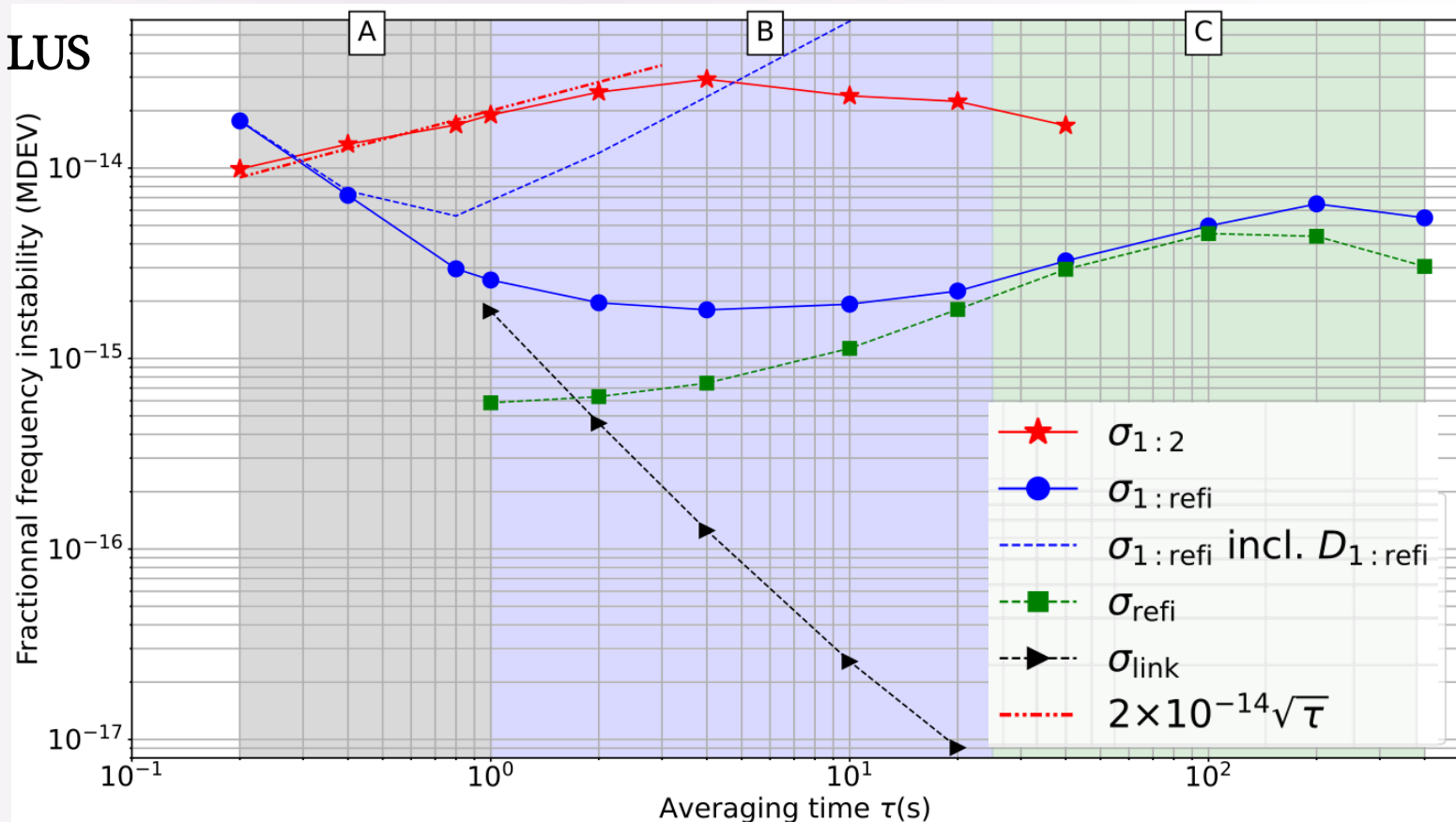
Utilisation du signal Refimeve

1) Analyse de stabilité du LUS

Plus besoin d'une
seconde cavité

$\sim 3 \times 10^{-15}$ à 1s une fois la
dérive corrigée

Confirme le
comportement attendue
de Refimeve

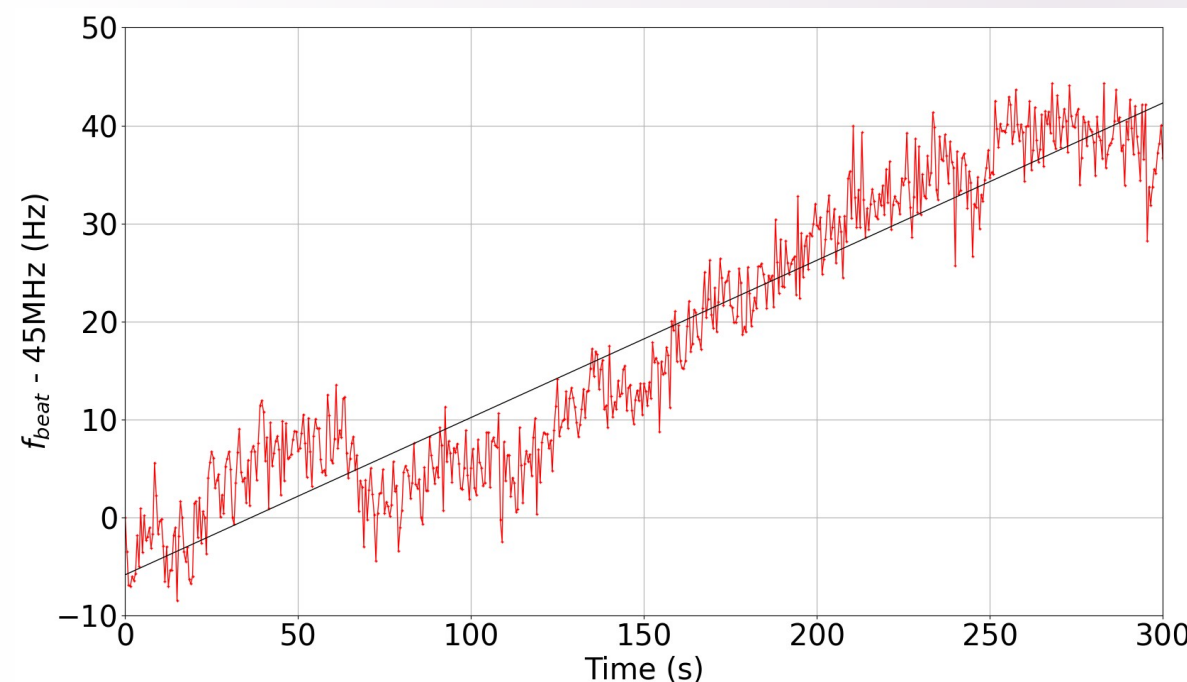


Utilisation du signal Refimeve

$$\nu_{refi} = 194400008500000 \text{ Hz} \pm 5 \text{ Hz}$$

2) Mesure de fréquence

- Tire parti de l'effet d'échelle du peigne



Si comptage freq, $\sim 1\text{h}$ pour sortir du bruit de mesure !

Comptage du battement REFIMEVE :
0.47 x dérive

Ici 5 min suffisent pour extraire une dérive de 320 mHz/s sur le LUS.

Sur la transition 3 photons :

GNSS (frep) $\sigma_{THz} \approx 20 \text{ Hz}$ Pas encore limitant aujourd'hui

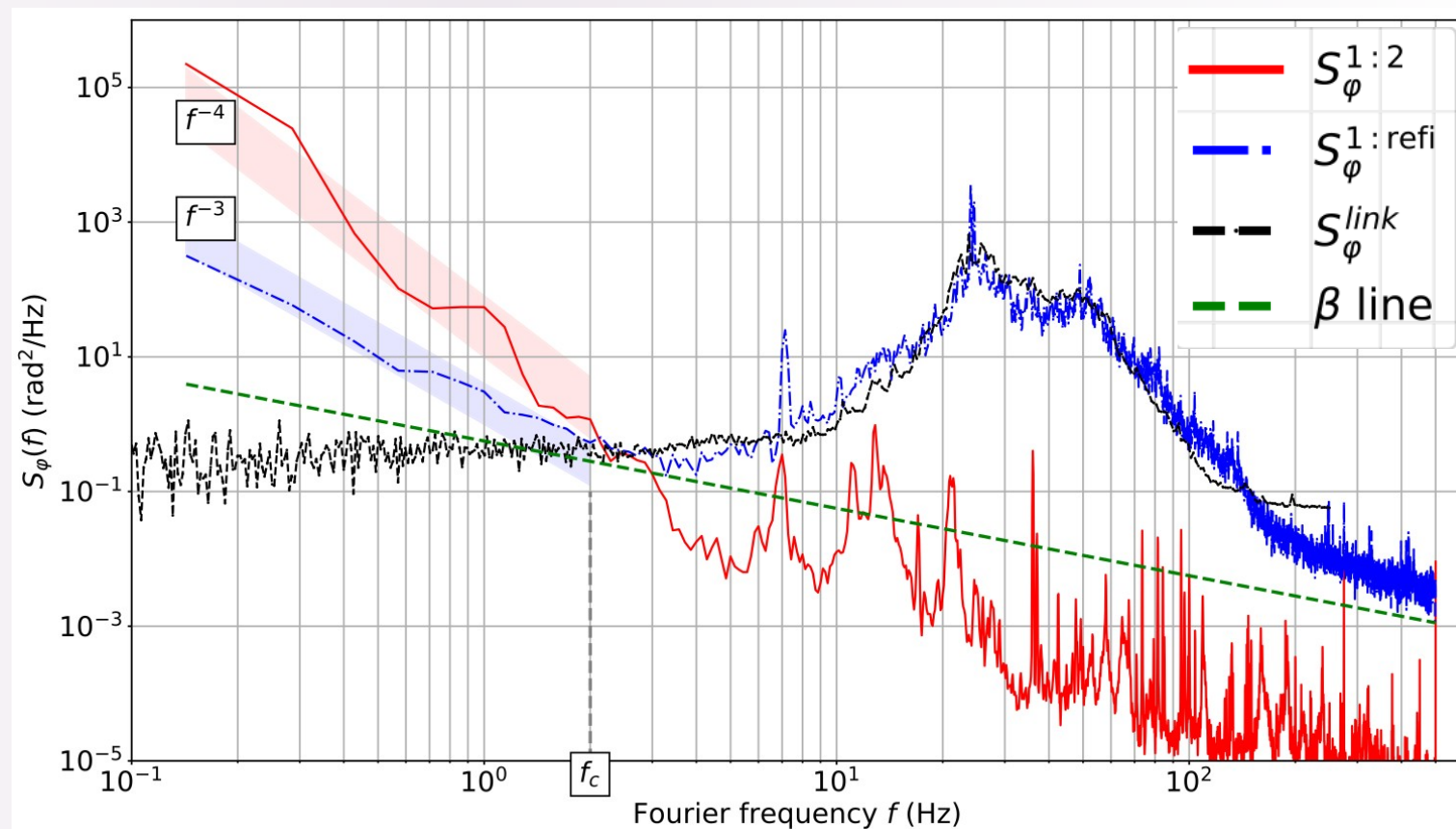
Refimeve
 $\sigma_{THz} \approx 50 \text{ mHz}$

Diagnostic du signal Refimeve

Mesure du bruit de phase

Confirme les données
two-ways du lien à
partir de 2 Hz

Permet d'accéder au
bruit de phase du
LUS < 2Hz

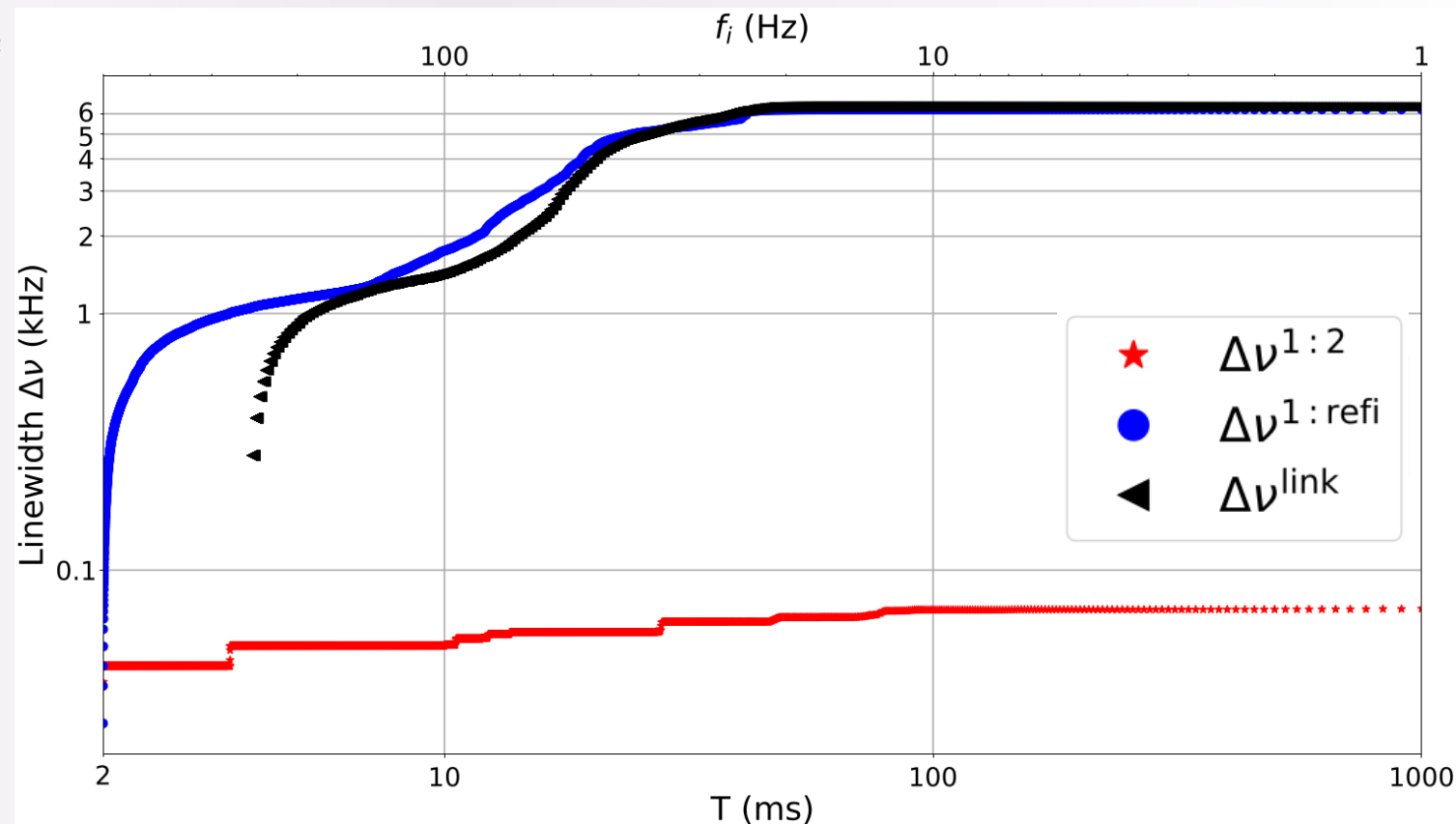


Diagnostic du signal Refimeve

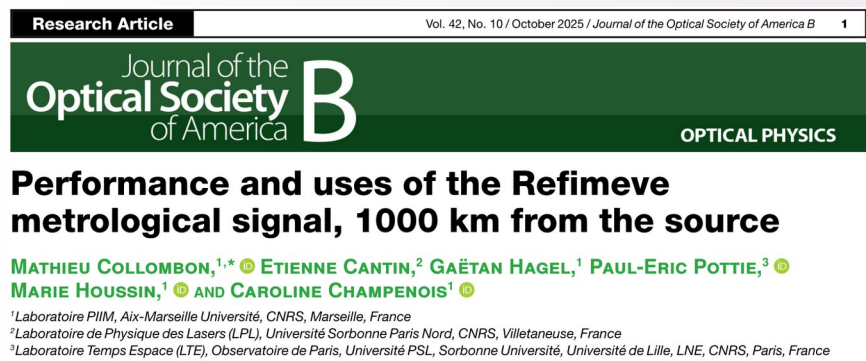
Intégrale du bruit de phase

Mesure de la largeur spectrale du signal
Refimeve après 1000 km
de fibre

6.2 kHz après 40 ms



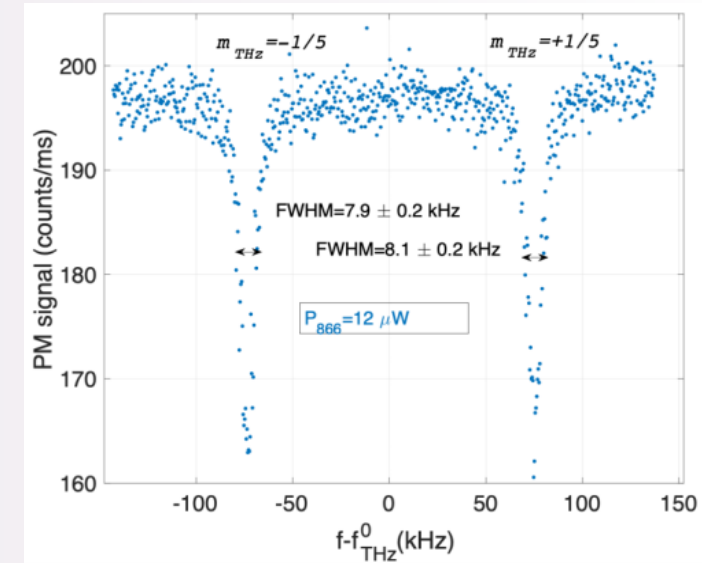
Conclusions



- Les comparaisons Refimeve/LUS confirment les données two-ways du lien.
- Possibilité de mesurer stabilité et bruit de phase à un excellent niveau après $\sim 1s$ (10^{-15})
- Aux temps courts, le LUS reste nécessaire, asservissement de la dérive aux temps longs ($>1s$)

Coté spectro :

- FWHM < 8 kHz
- ± 80 Hz de précision
- Déplacement lumineux encore non compatible avec zéro



Merci !



L'équipe CIML fin 2024

Merci à Etienne Cantin, Anne Amy-Klein, Rodolphe le Targat,
Benjamin Pointard, Biplab Dutta et Paul-Eric Pottie

Utilisation du signal Refimeve

2) Mesure de fréquence

Exemple : suivi de la dérive du mode ULE1

