

FIRST
TF

Développement de peignes de fréquences compacts à $1,5 \mu\text{m}$

Frédéric Du-Burck, Vincent Roncin, Karim Manamanni,
Amine Chaouche-Ramdane, Pierre Grunding, Omar Sahni

Assemblée générale du labex FIRST-TF
9 novembre 2020

PEIGNE DE FRÉQUENCES COMPACT

LASERS À SEMI-CONDUCTEURS DÉVELOPPÉS POUR LES TELECOMS OPTIQUES

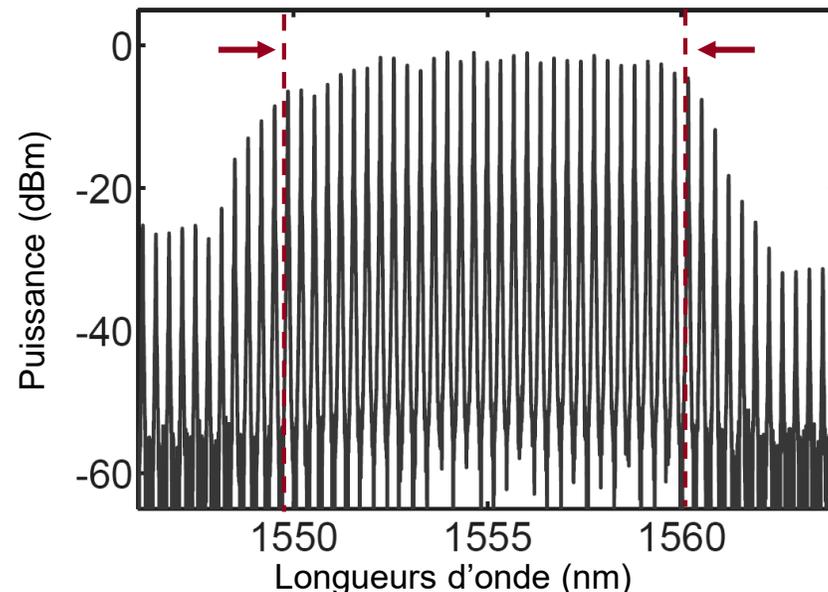
Peigne centré à 1,55 μm

Largeur spectrale de plusieurs 10 nm

Faible consommation

Taux de répétition entre 10 et 100 GHz

env. 40 modes espacés d'une dizaine de GHz

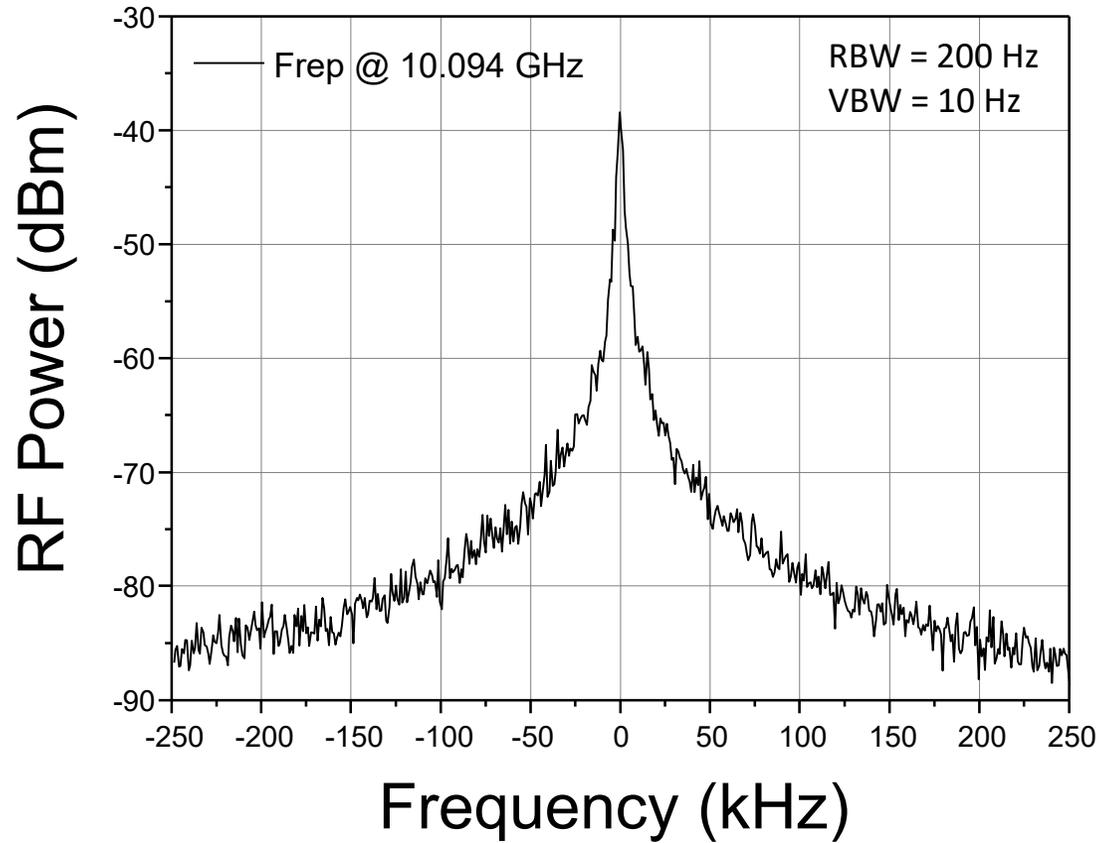


Q-dash Fabry-Perot Mode Locked Laser Diode
(III-V Lab)

INTÉRÊT POUR LA MÉTROLOGIE ?

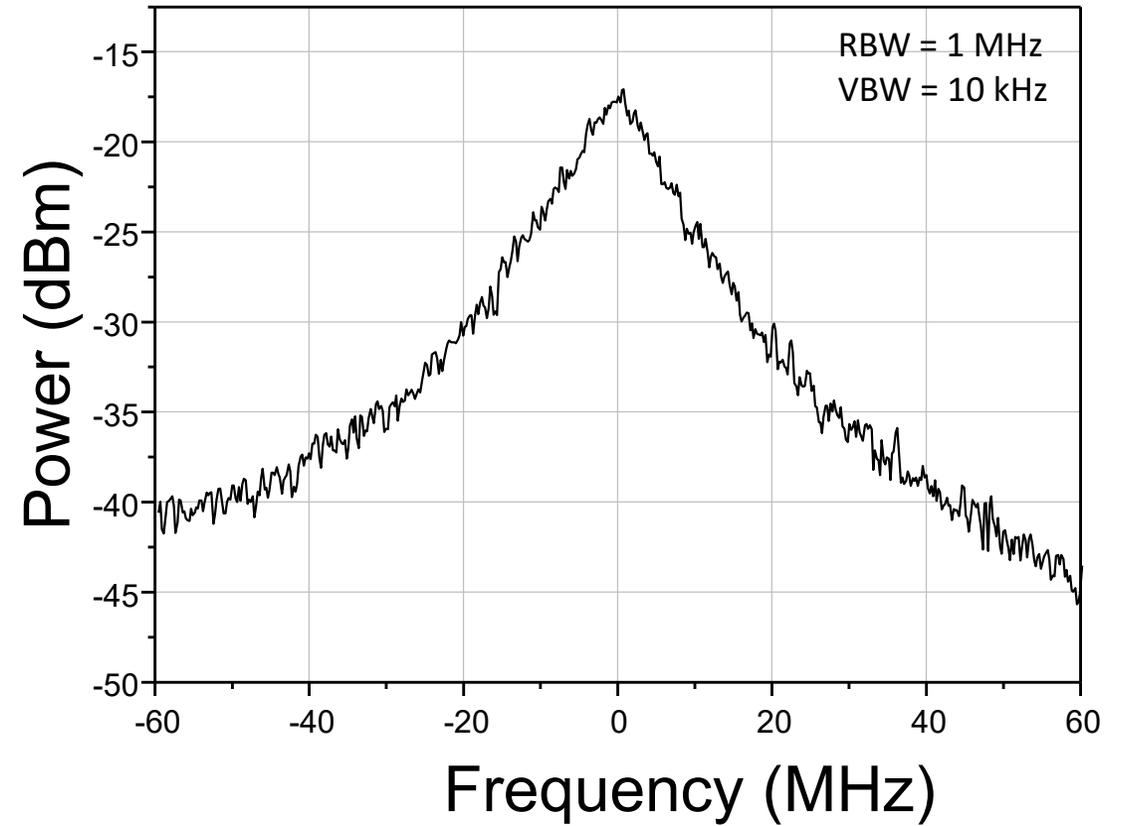
- Stabilisation en fréquence du peigne (f_{rep} , f_{CEO}) par injection optique
- Etude de l'injection du peigne
- Etude du transfert de stabilité dans le peigne
- Etude des bruits

Battement RF



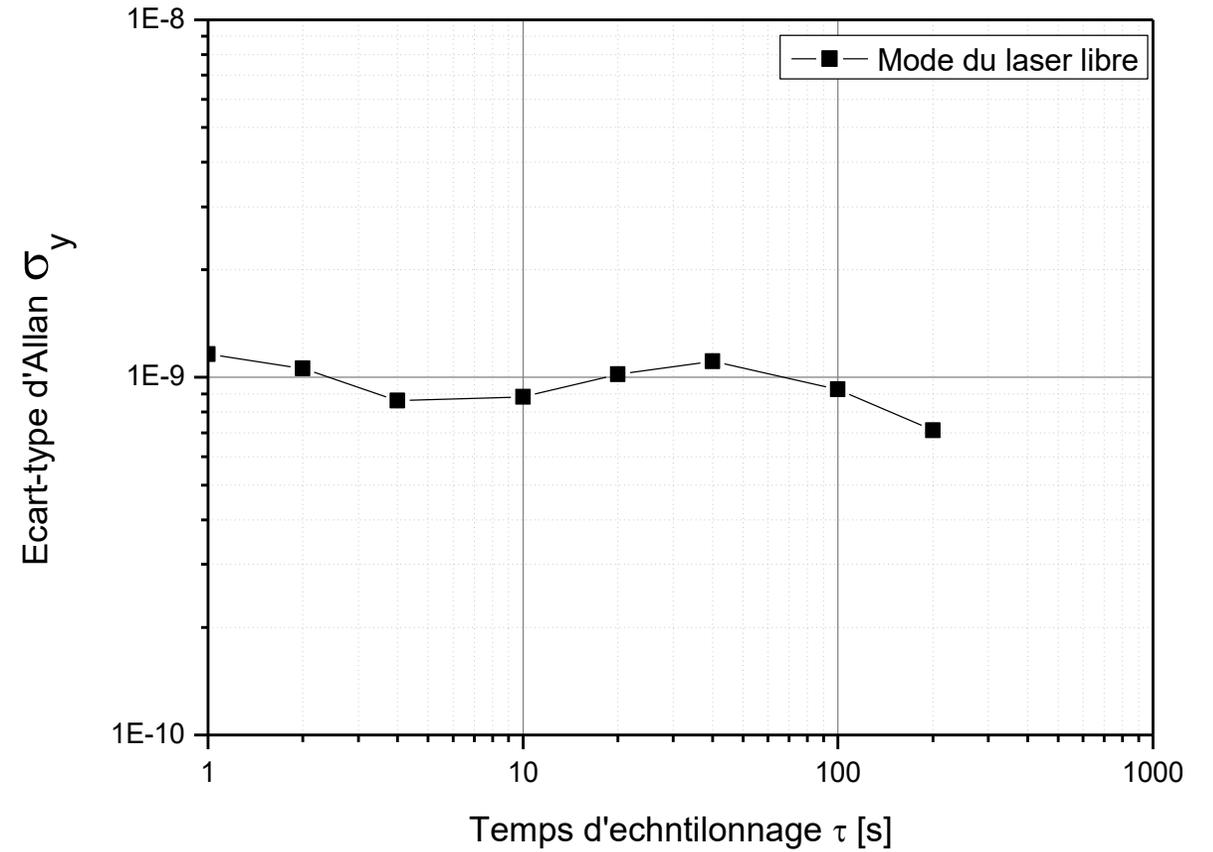
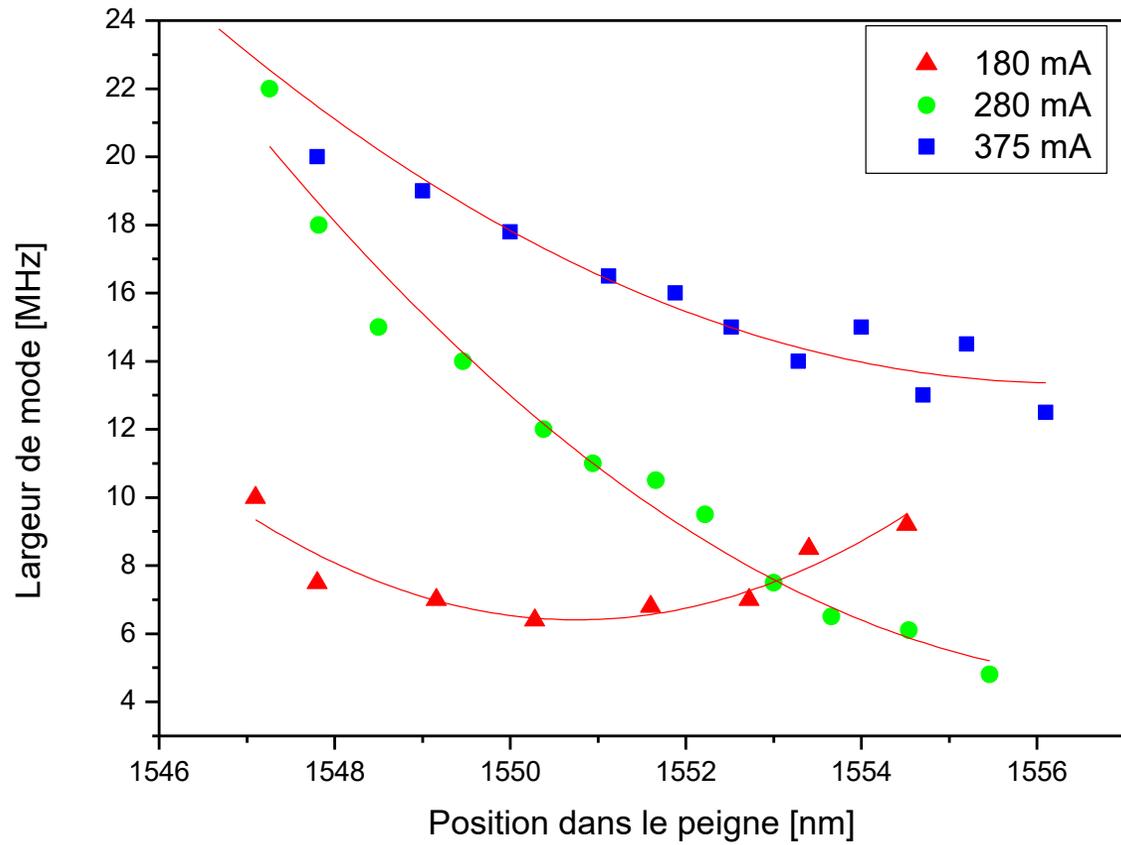
Fit lorentzien : FWHM = 500 Hz

Mode optique

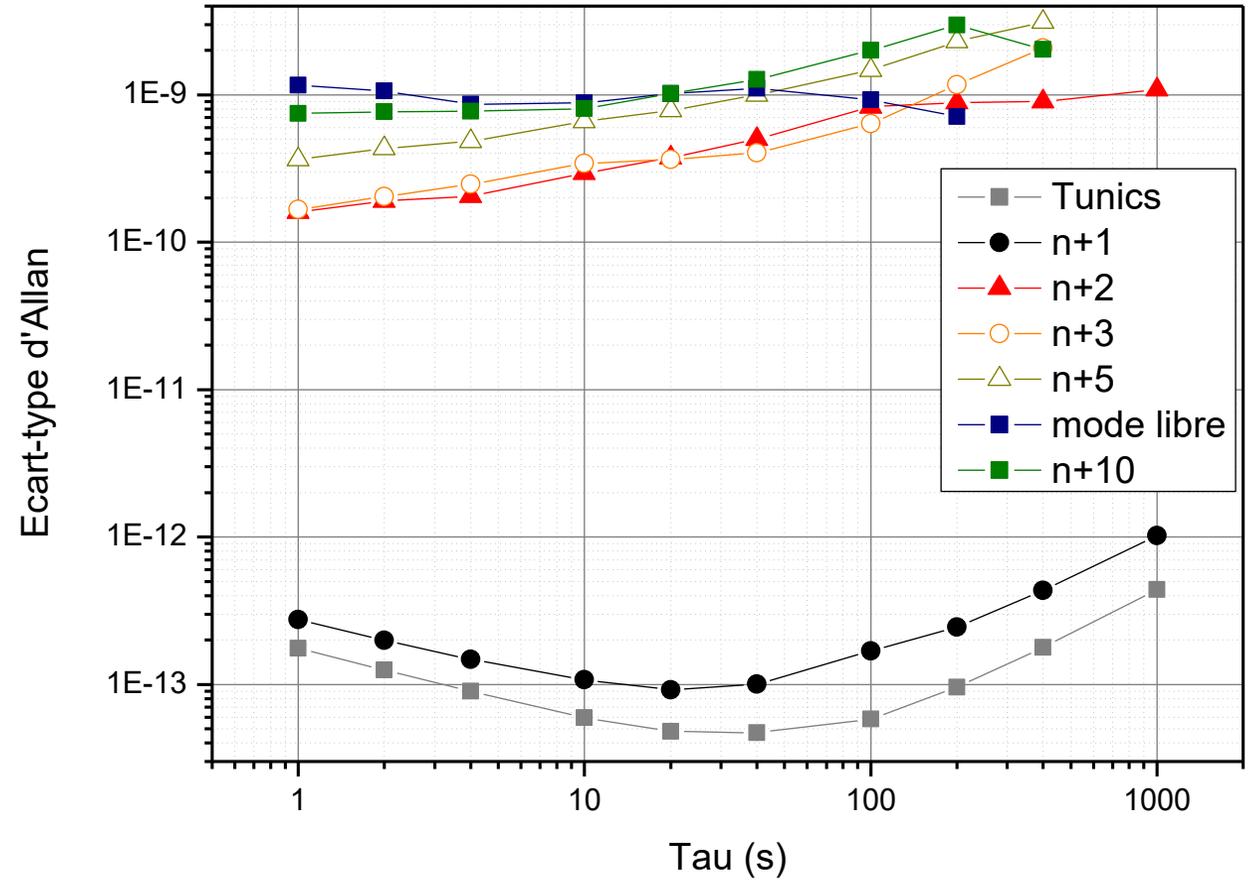
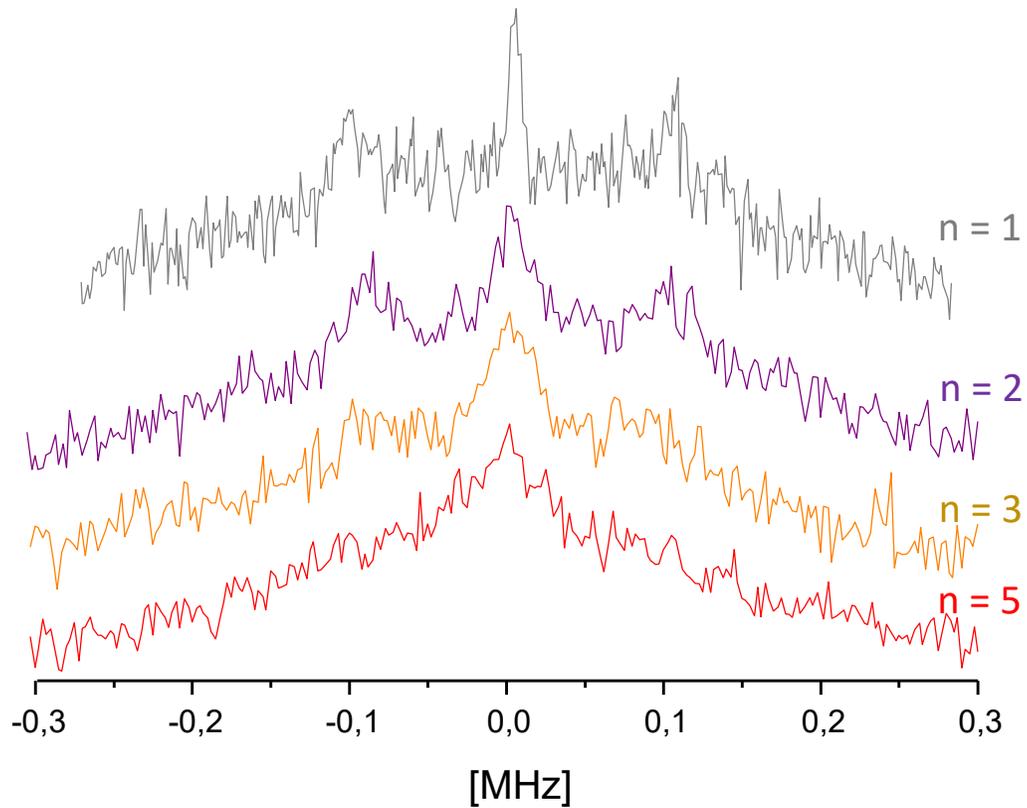


Fit lorentzien : FWHM = 10 MHz

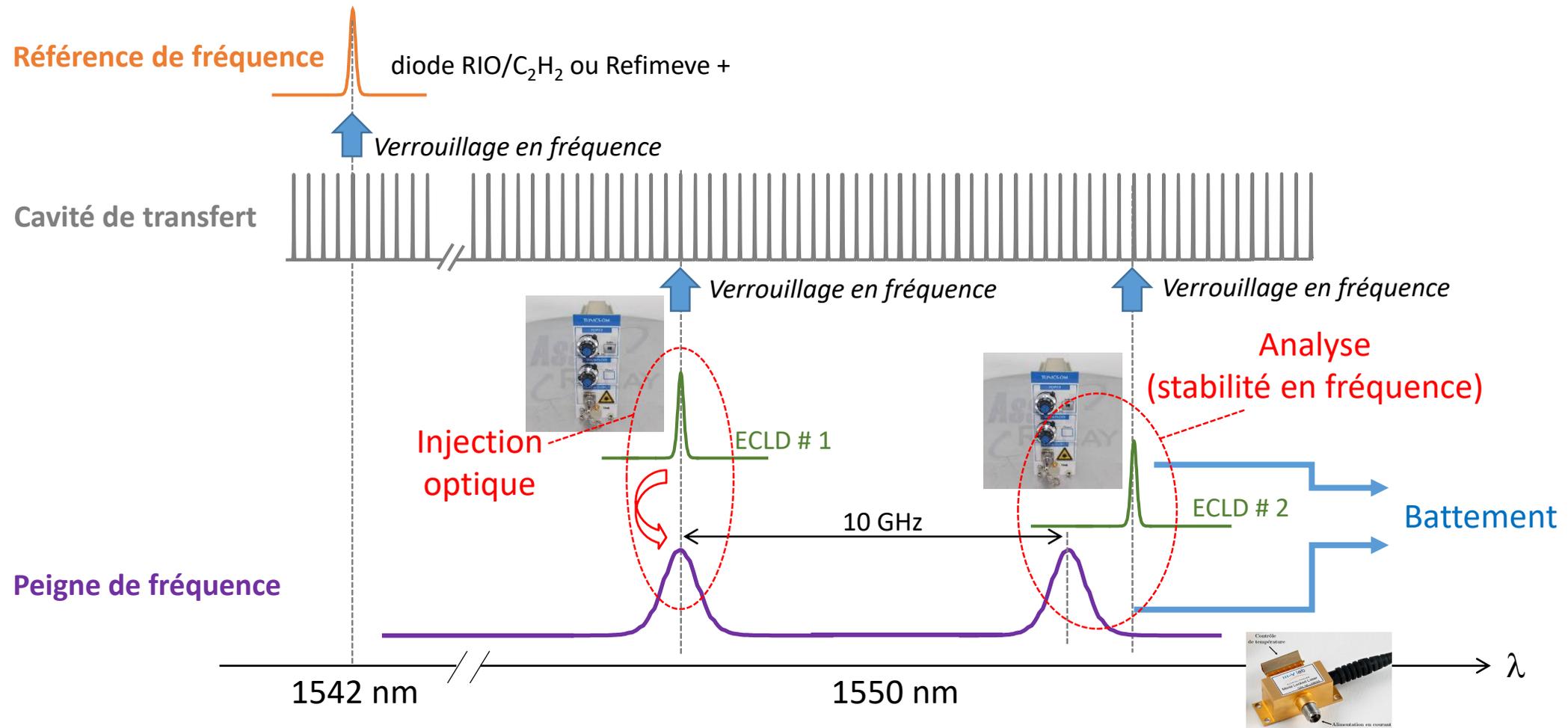
Laser libre



Stabilisation par injection optique d'un mode



Transfert de stabilité en fréquence de 1542 nm (référence) à 1550 nm



Montage entièrement fibré

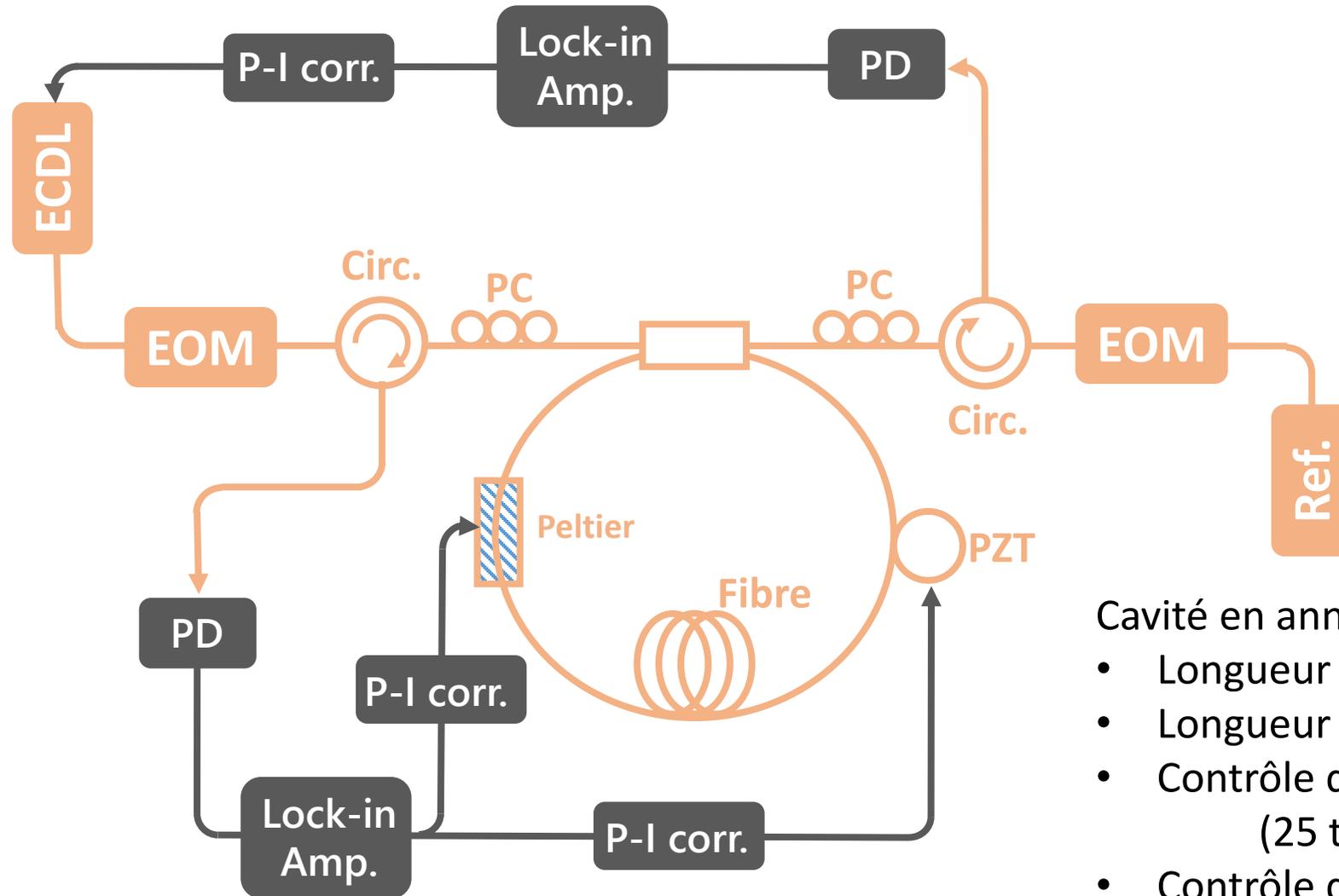
- Technologies développées à 1,5 μm pour les télécoms
- Simplicité (alignement)
- Compacité / Robustesse
- Intéressant pour les dispositifs transportables (télécoms, spatial, ...)

Mais

Composants fibrés :

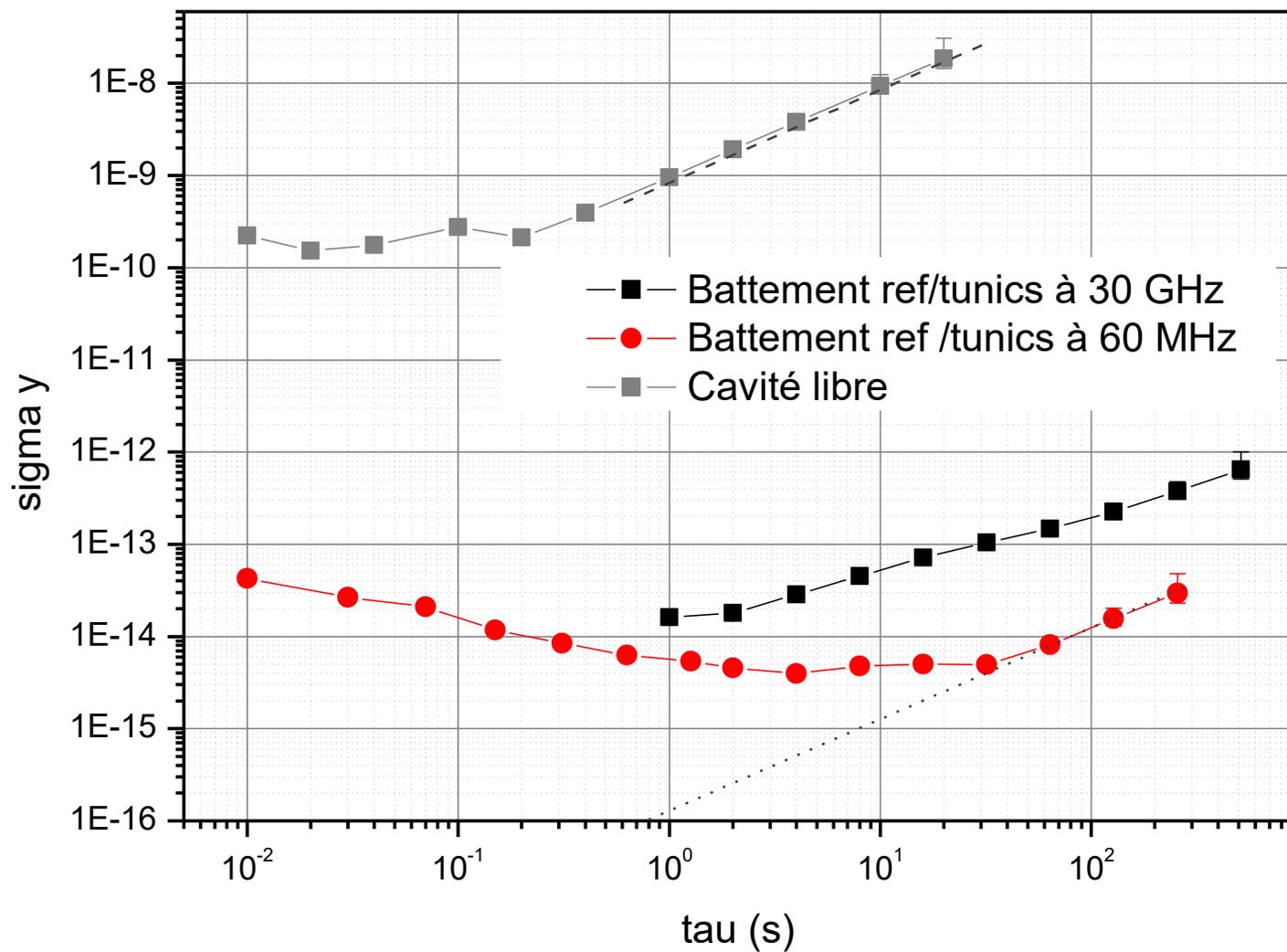
- Sensibilité de la polarisation à l'environnement (thermique, mécanique, ...)
- Réflexions parasites \Rightarrow interférences

LA CAVITÉ DE TRANSFERT

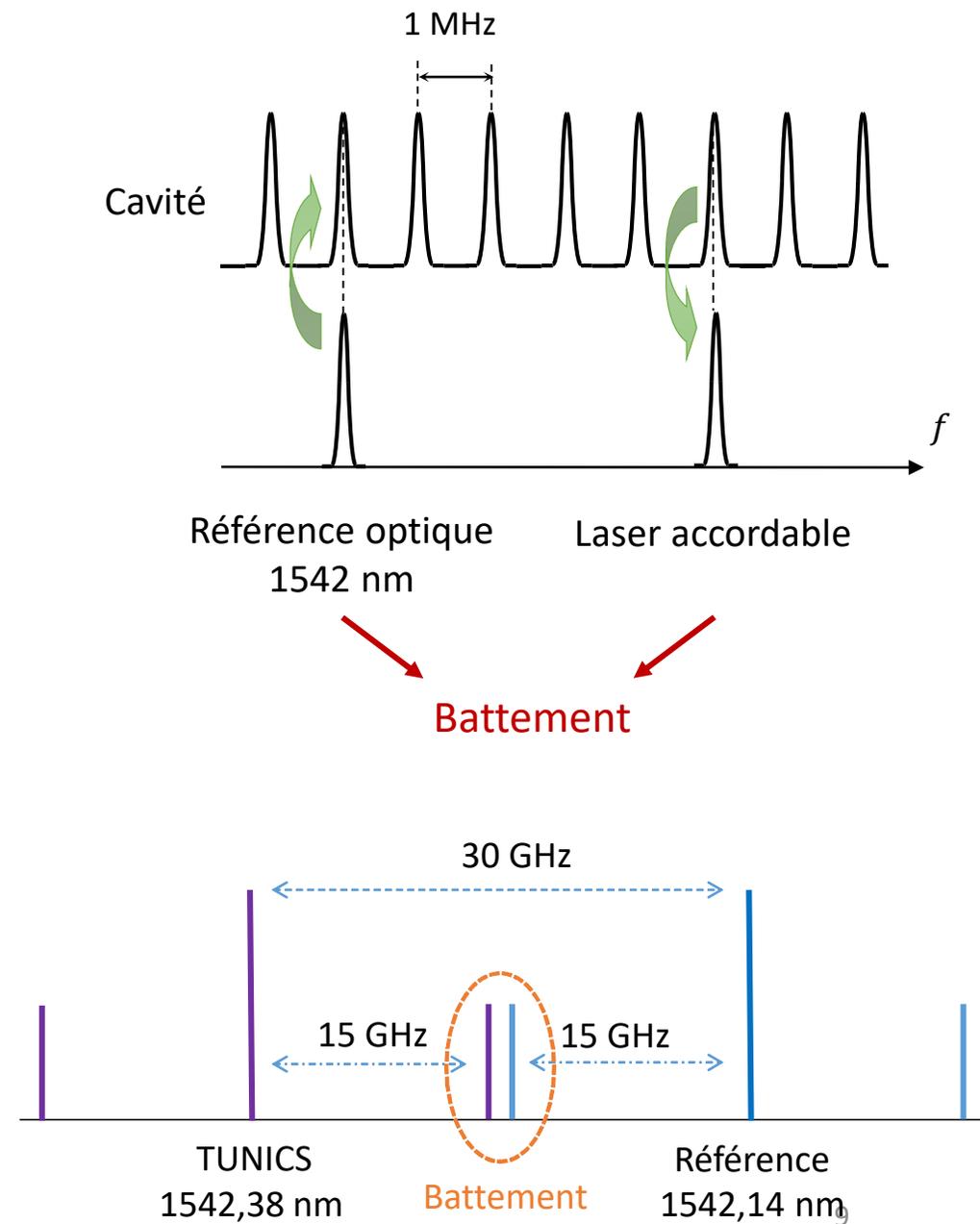


Cavité en anneau à fibre :

- Longueur 200 m (ISL = 1 MHz)
- Longueur asservie sur la référence optique
- Contrôle de la longueur
(25 tours de fibre autour d'une PZT)
- Contrôle de la température
(1/4 de la longueur de la fibre)

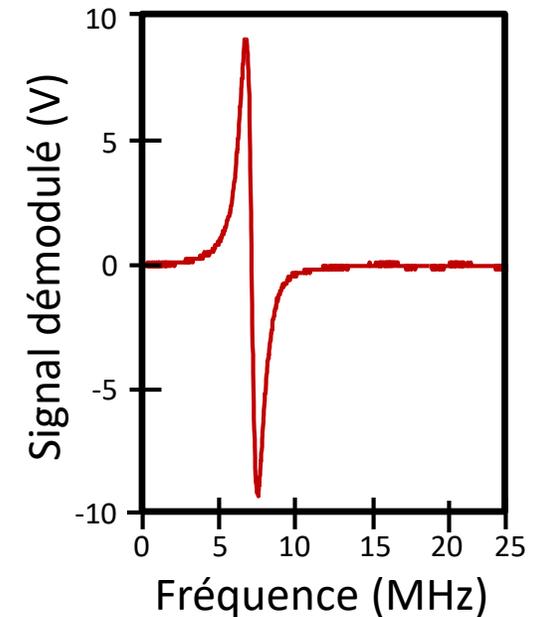
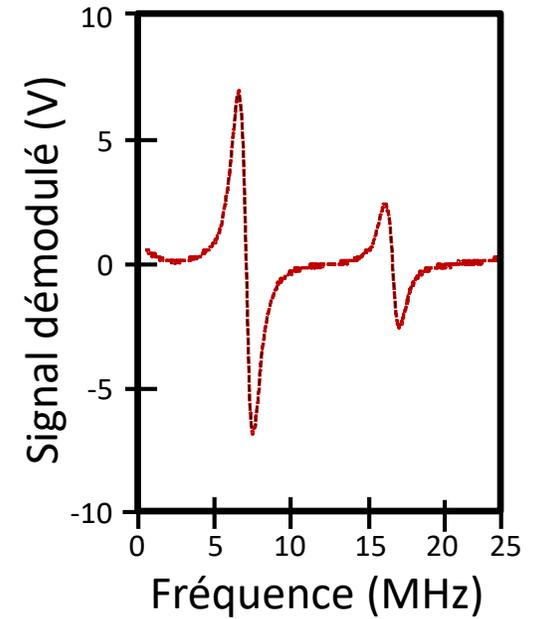


Transfert sur 10 nm : $4 \cdot 10^{-13}$



Effets de la polarisation

- ⇒ Légère biréfringence dans les fibres (typ. 10^{-6})
- ⇒ Contraintes mécaniques (bobinage)
- ⇒ Deux familles de modes dans la cavité
- ⇒ La cavité « analyse » la polarisation en séparant en fréquence les polarisations sur ses deux états principaux de polarisation
- ⇒ Réglage de la polarisation d'entrée pour ne voir qu'une famille de modes

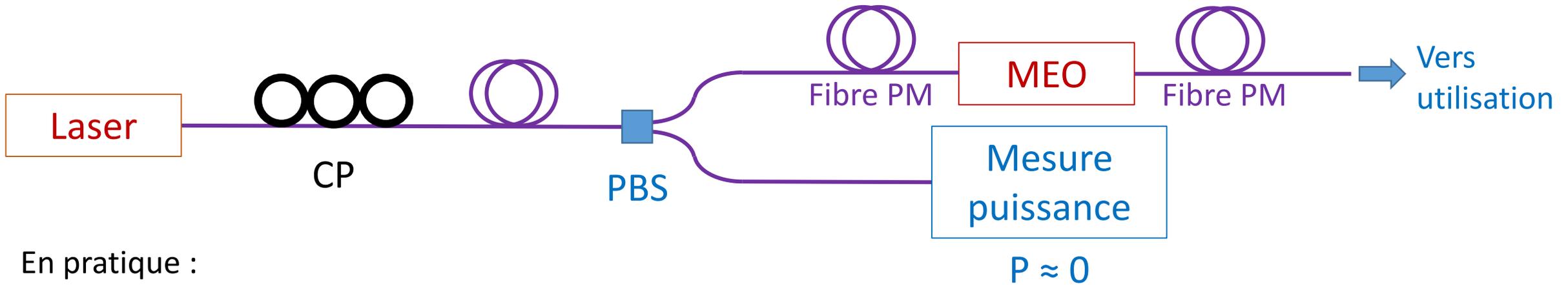


Le modulateur électro-optique

Modulateur fibré PM en entrée et en sortie



IXblue Photonics MPX-LN-0.1



En pratique :

⇒ État de polarisation d'entrée légèrement elliptique et légèrement désaligné (défauts d'alignement, soudures, connecteurs, etc.)

⇒ DPER (differential polarization extinction ratio) d'environ 25 dB

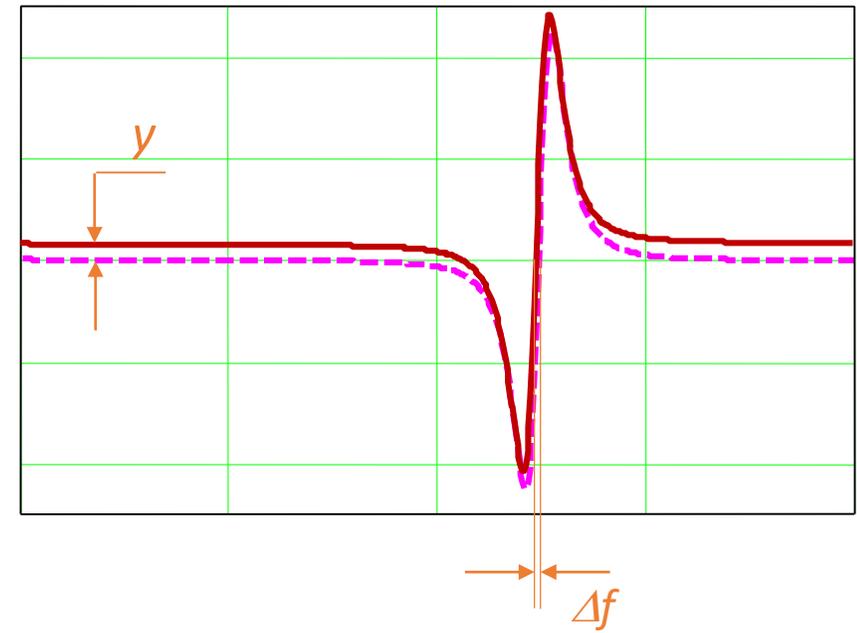
⇒ Modulation de la **polarisation** ⇒ Modulation d'amplitude parasite (RAM) ⇒ Offset

⇒ Une limitation au transfert de stabilité

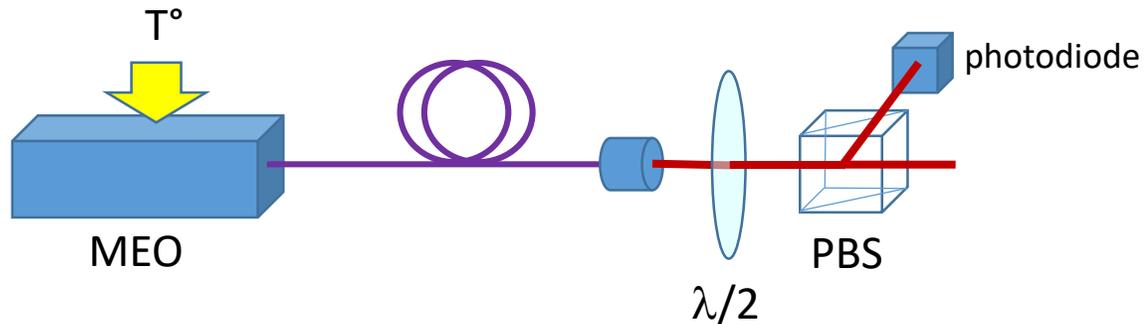
Influence de la température du modulateur

Variation de température \implies variation des indices et de la longueur
 \implies variation périodique de l'offset

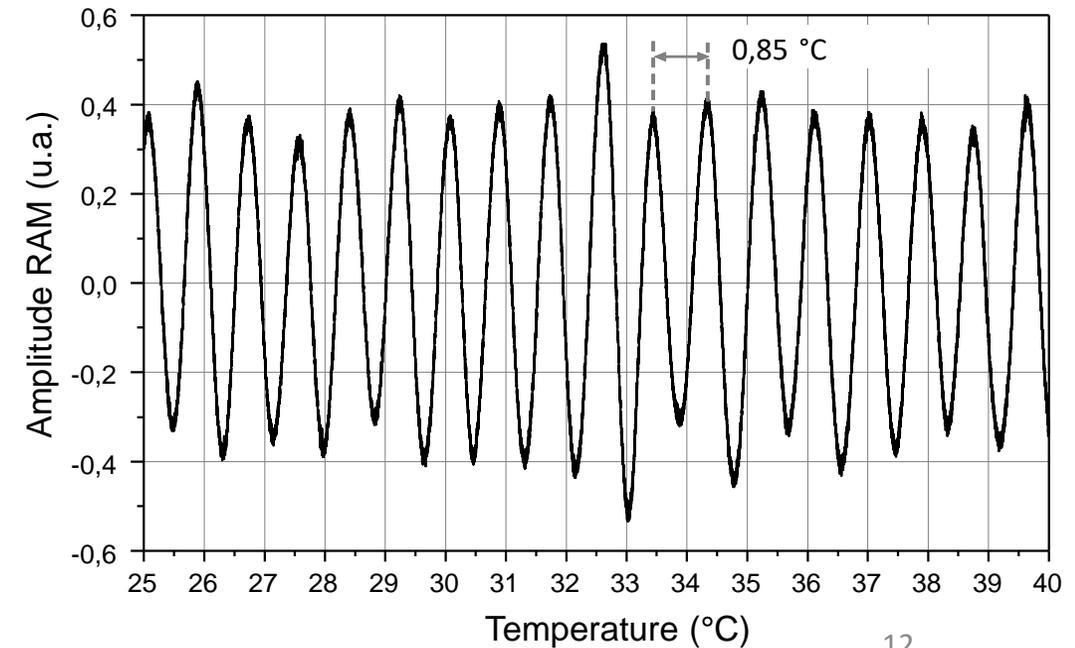
Théorie : offset ± 600 Hz ($3 \cdot 10^{-12}$) ; période : $0,96^\circ\text{C}$



Expérimentalement

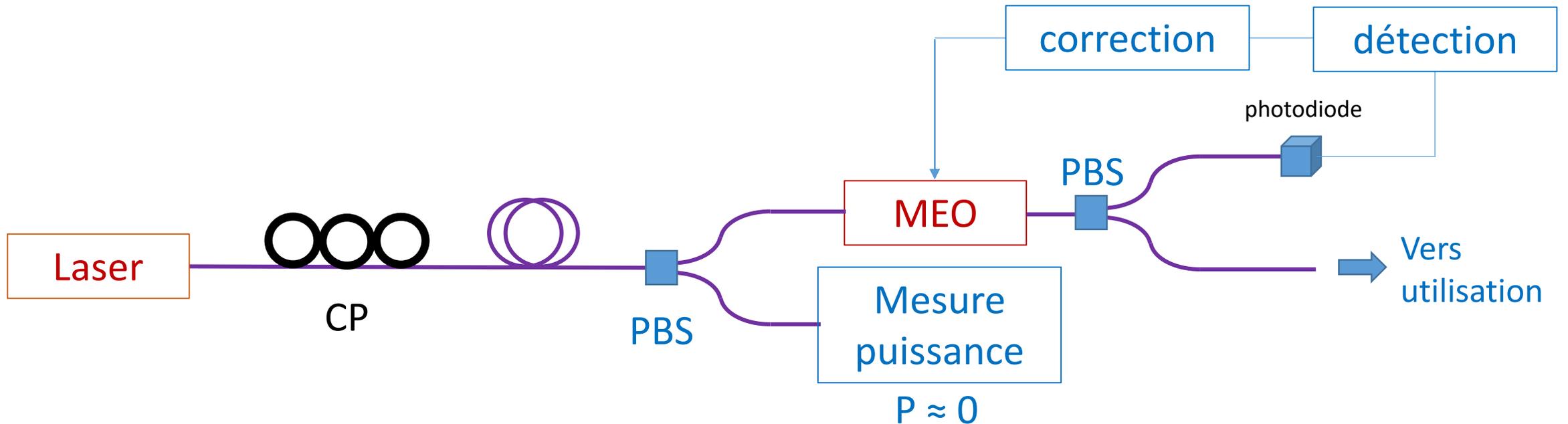


Offset relatif maximum de $\pm 10^{-3}$ \implies ± 800 Hz ($4 \cdot 10^{-12}$)



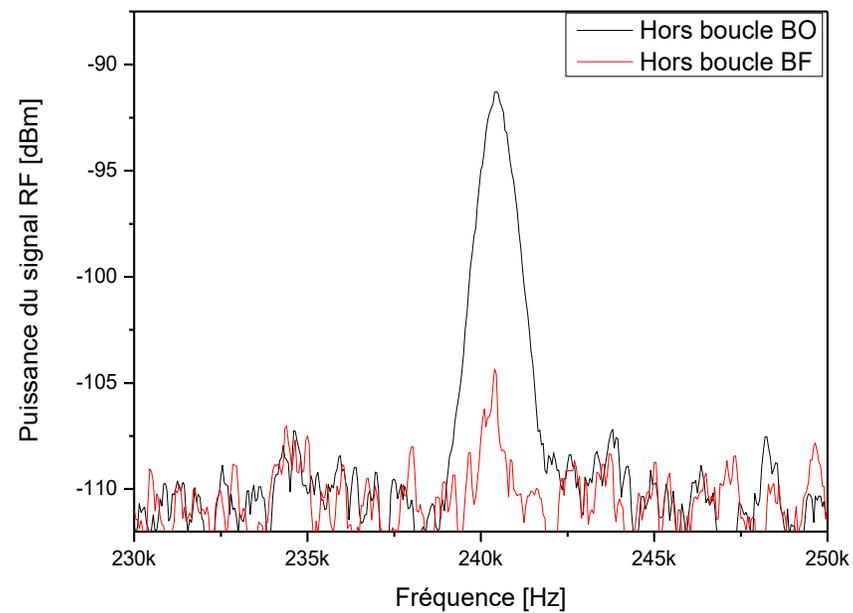
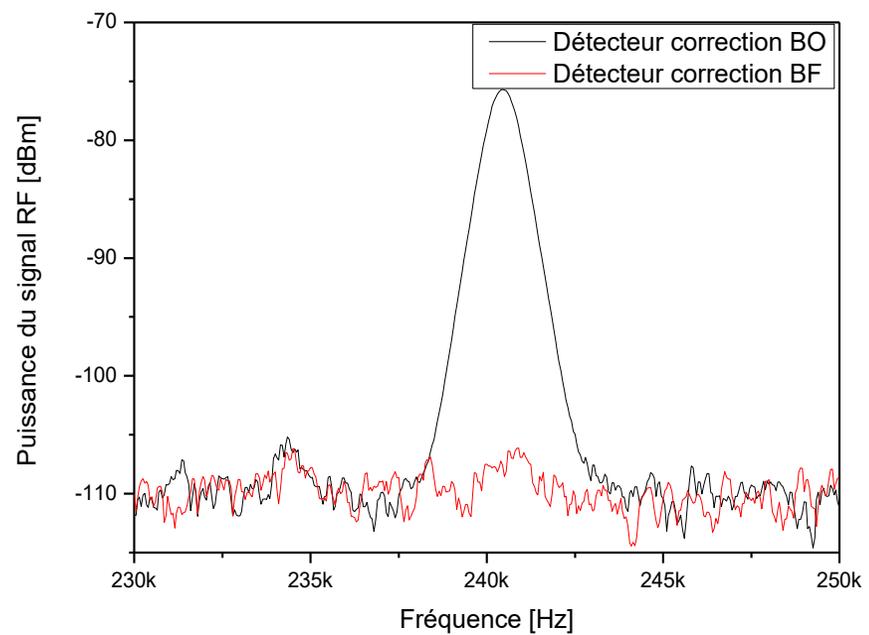
Effet analysé en 1995 par Hall pour un modulateur en espace libre

Correction de la RAM en appliquant un niveau continu sur le modulateur



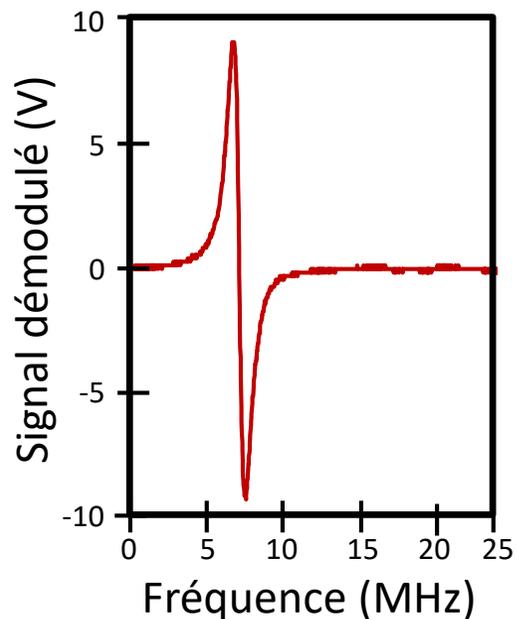
N. C. Wong, J. L. Hall, *Servo control of amplitude modulation in frequency-modulation spectroscopy: demonstration of shot-noise limited detection*, JOSA B, 2(9)1527-1533 (1985)

Correction de la RAM

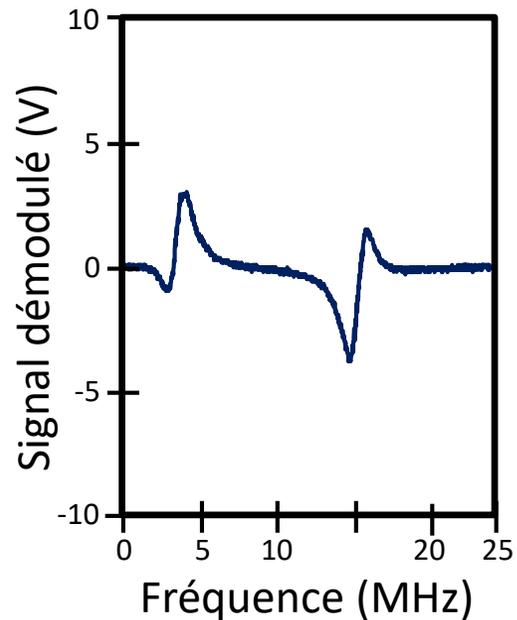


Distorsion du signal détecté en sortie de cavité

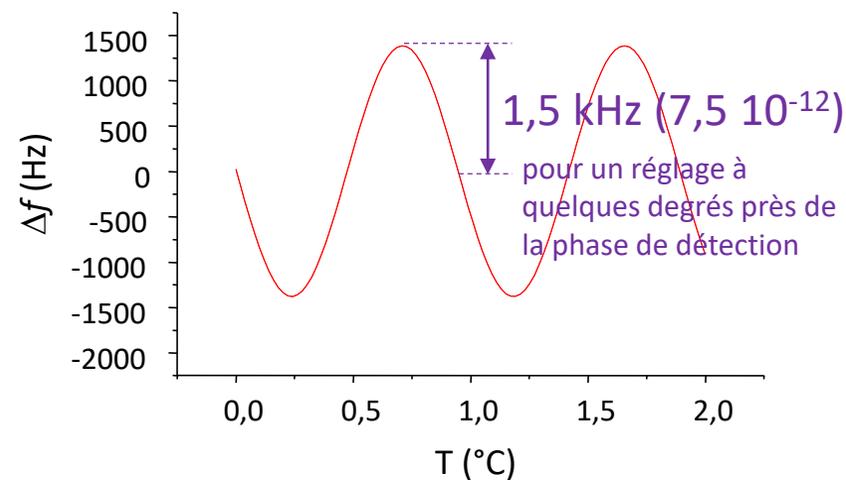
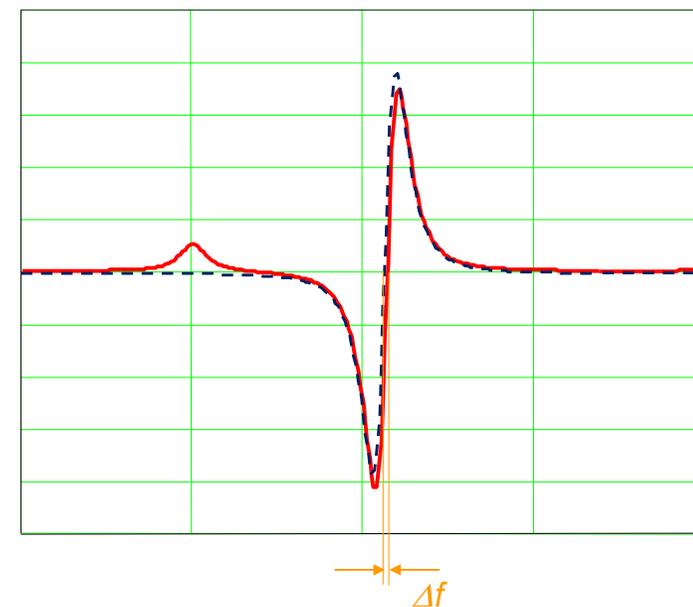
Polarisation **linéaire**
à l'entrée de la cavité



Polarisation **non linéaire**
à l'entrée de la cavité



Simulation :



Variation de température du modulateur

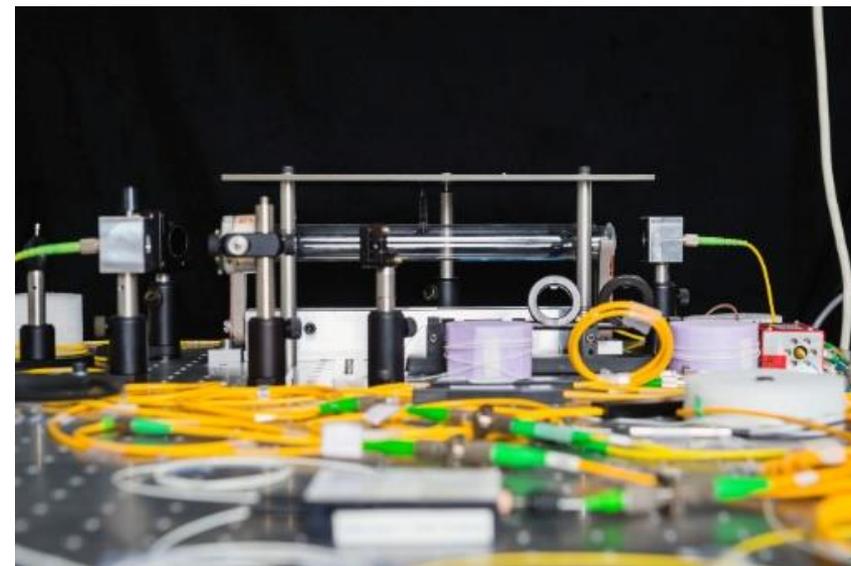
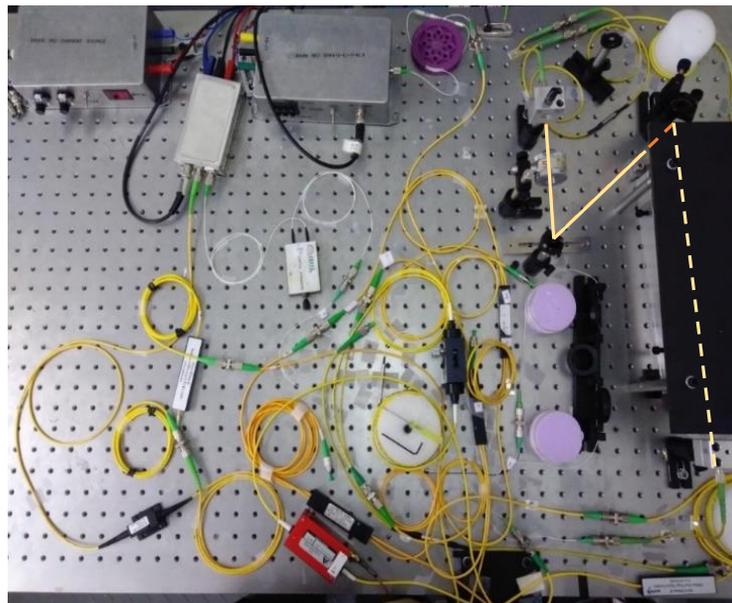
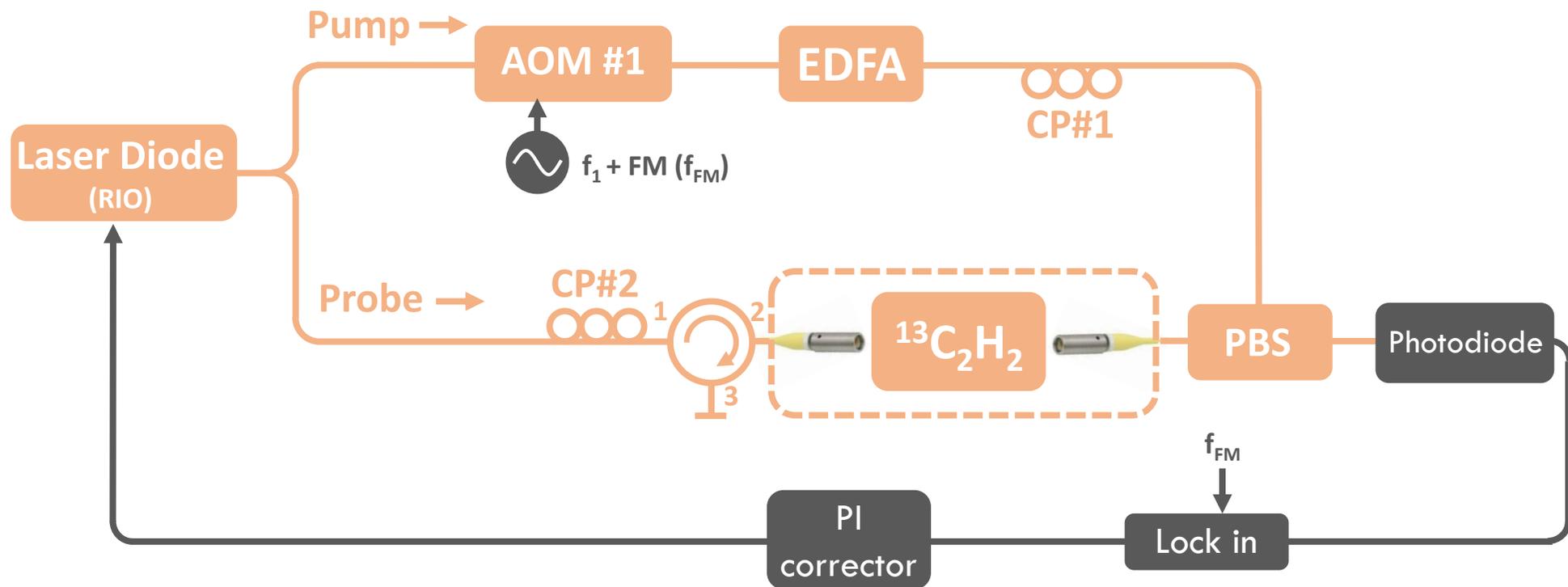
LA RÉFÉRENCE OPTIQUE À 1542 NM

- Transition P(16) $\nu_1+\nu_3$ de $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$
- Détection du signal d'absorption saturée en cellule
- Transfert de modulation
- Montage entièrement fibrée

Très peu de dispositifs fibrés sont décrits dans la littérature

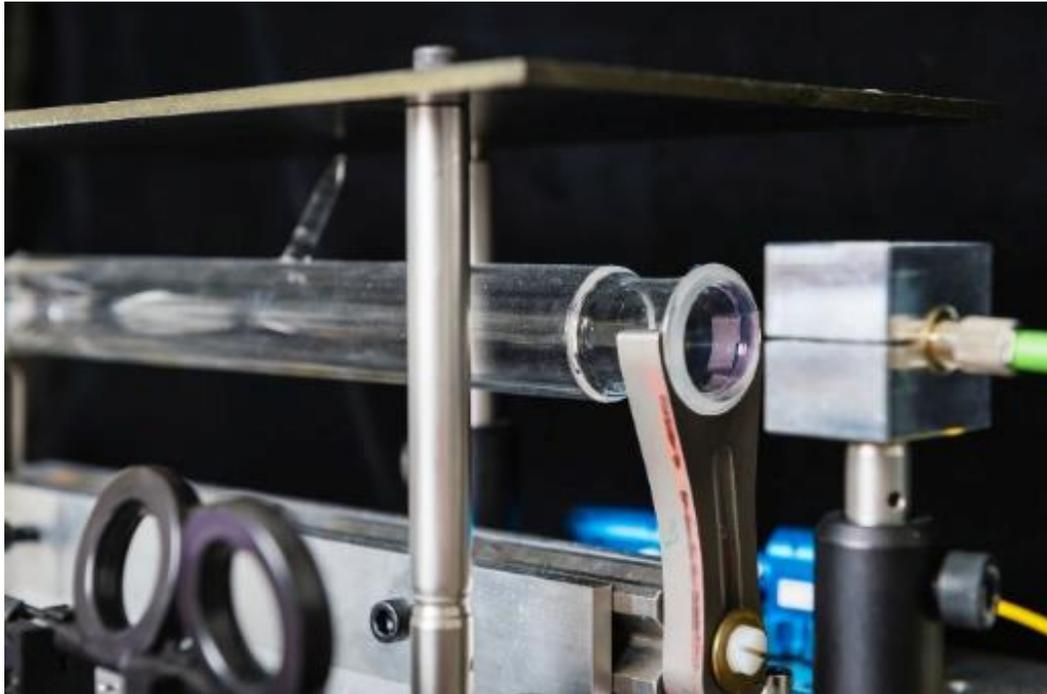
Composants fibrés :

- Réflexions parasites \Rightarrow interférences



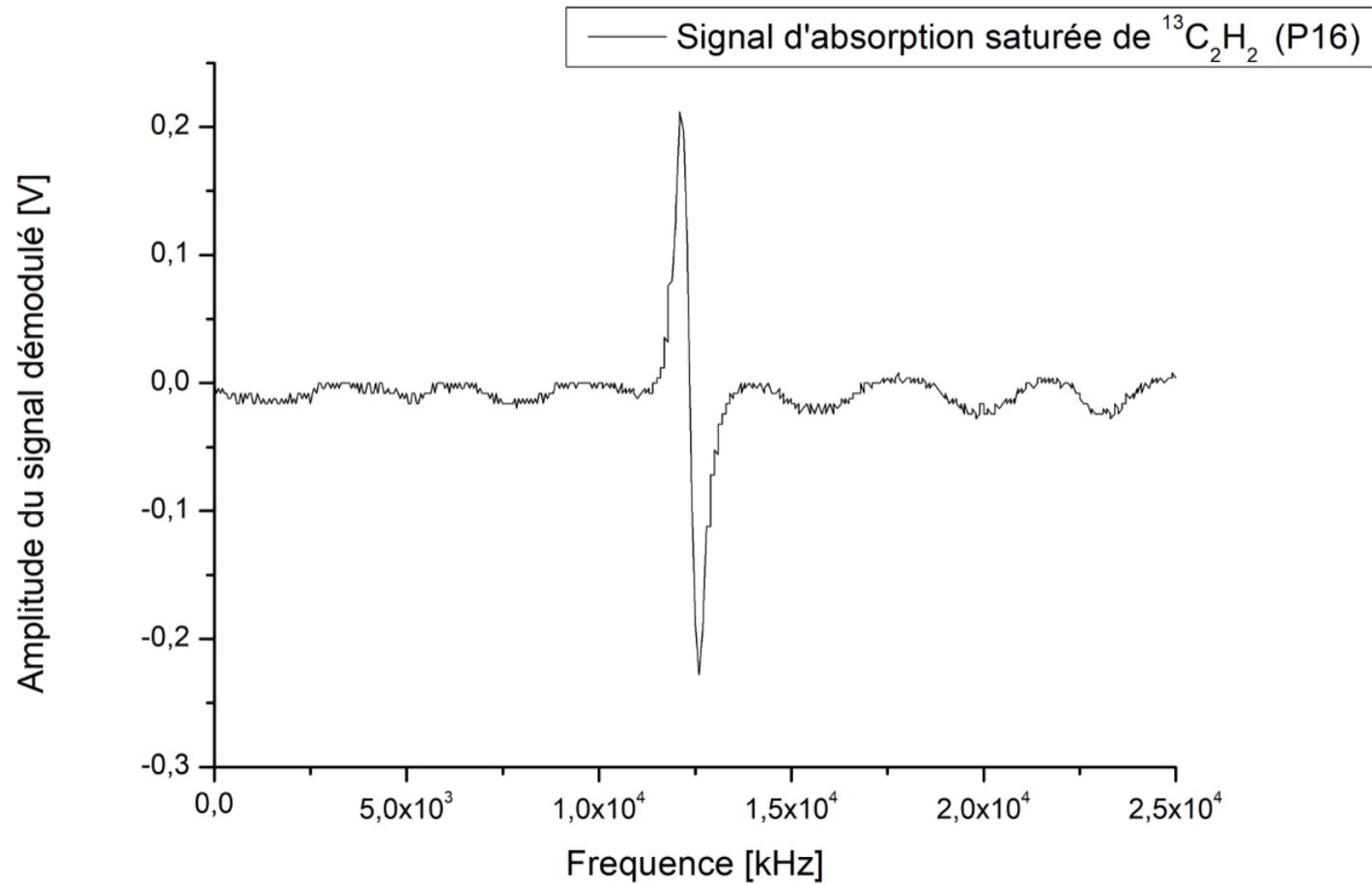
Cellule de d'acétylène

Institute of Scientific Instruments (Brno, Rep. Tchèque)

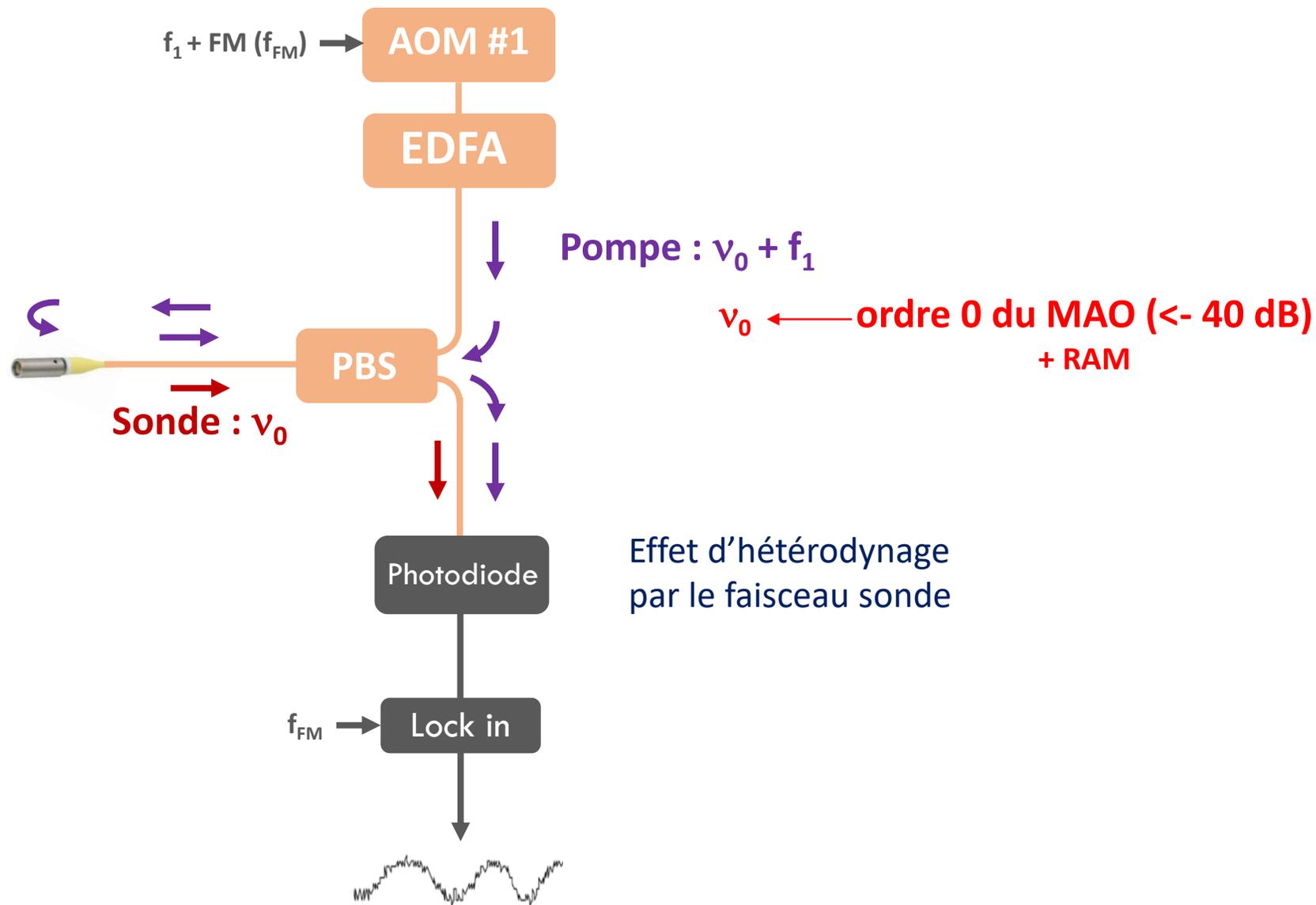


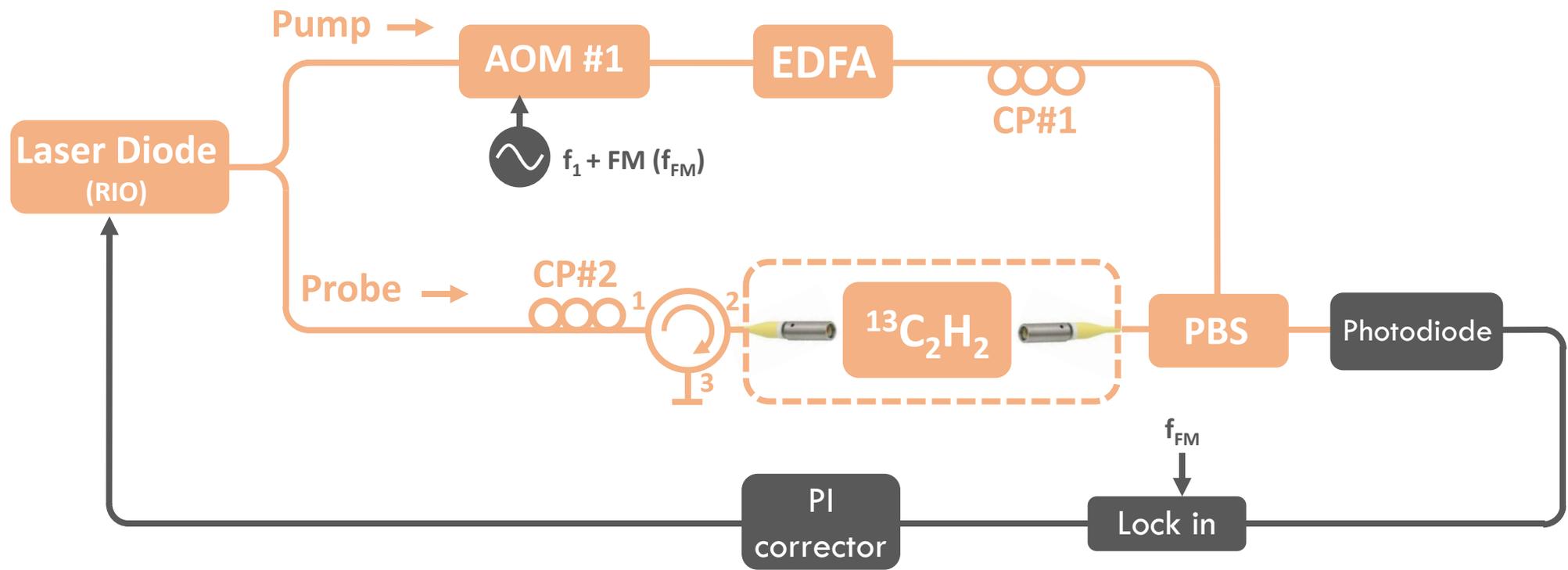
Longueur : 30 cm

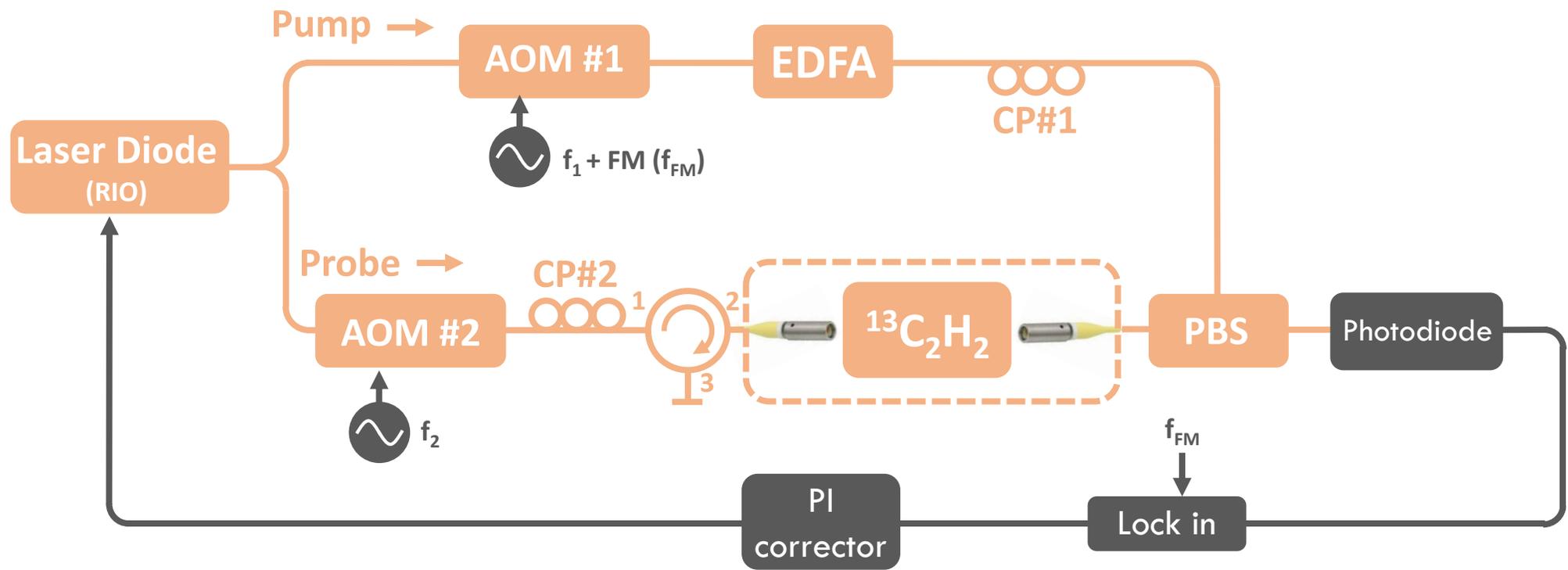
Pression : 2,5 Pa



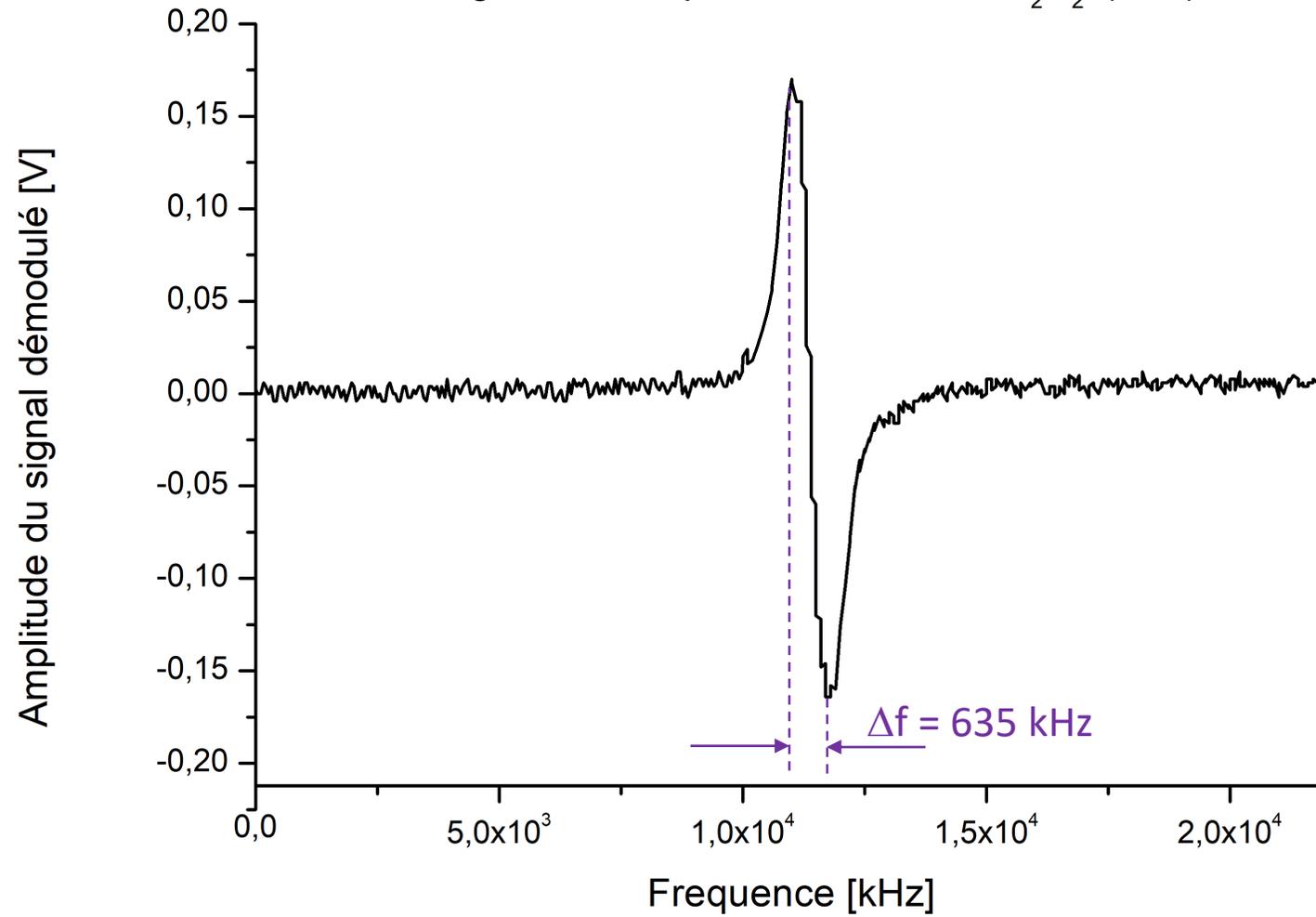
Les interférences n'existent qu'en présence du faisceau sonde !

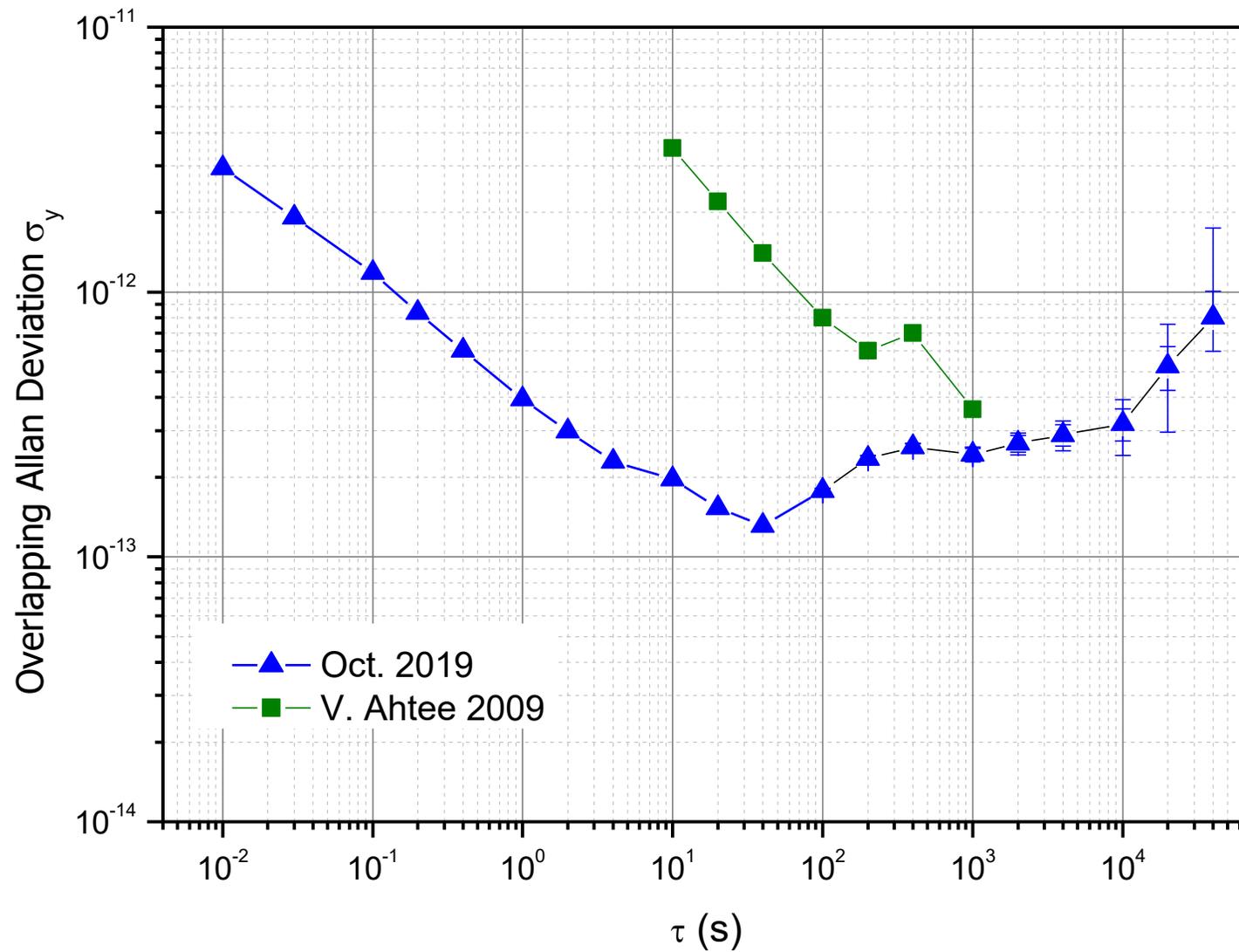






Signal d'absorption saturée de $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ (P16)





Limite de stabilité à 10^{-13} \Rightarrow Interférences résiduelles : réflexions du faisceau saturant

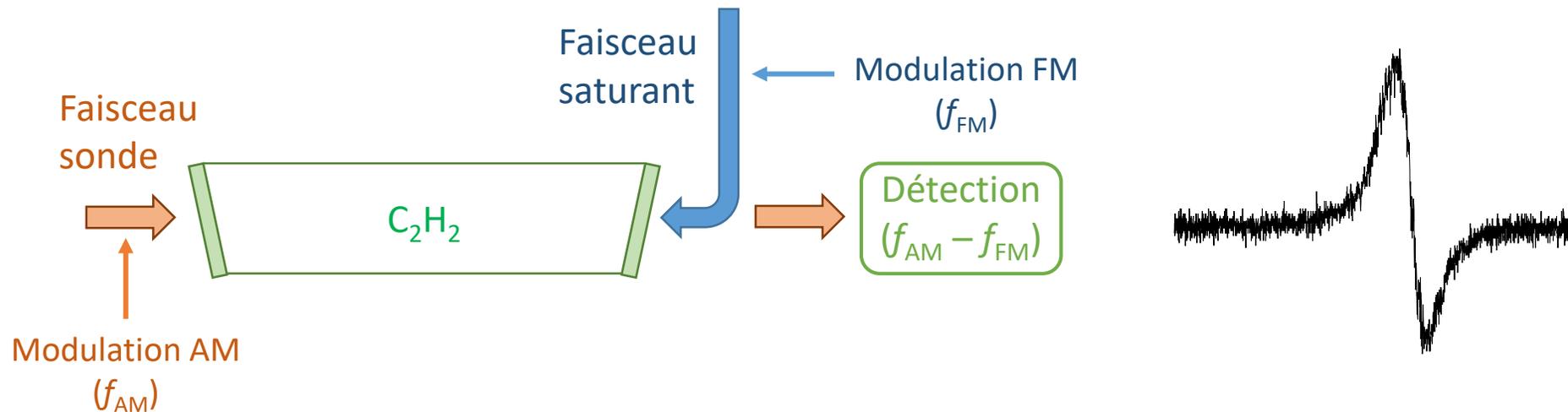
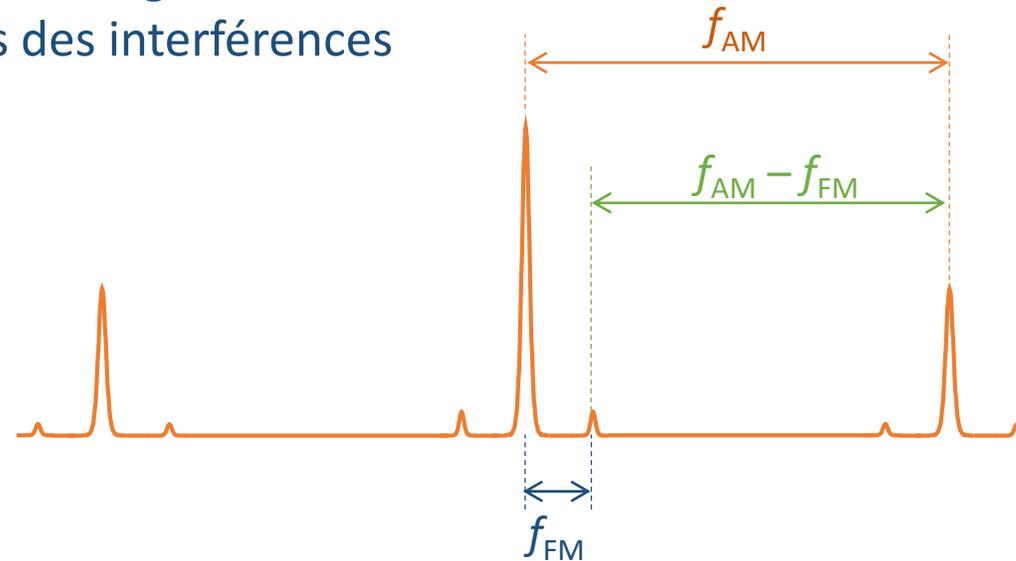
Détection « synchrone hétérodyne » : on détecte le signal à une fréquence différente de la fréquence de modulation \Rightarrow Détection du signal

\Rightarrow Mais pas des interférences

Limite de stabilité à 10^{-13} \Rightarrow Interférences résiduelles : réflexions du faisceau saturant

Détection « synchrone hétérodyne » : on détecte le signal à une fréquence différente de la fréquence de modulation \Rightarrow Détection du signal

\Rightarrow Mais pas des interférences



Référence de fréquence **compacte** à 1,5 μm

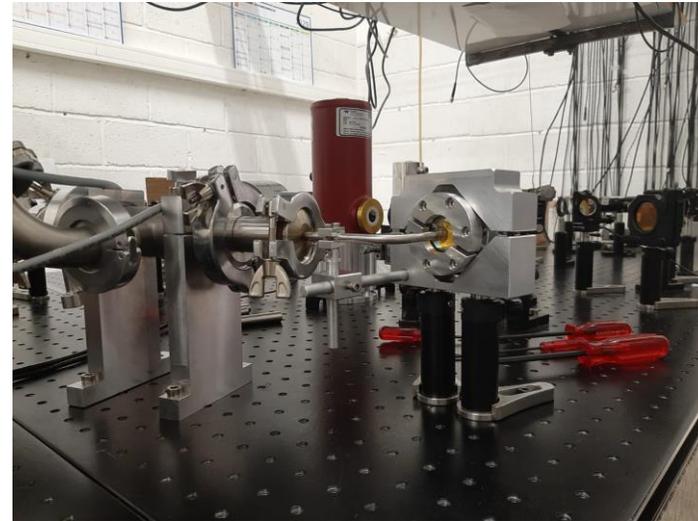
○ Cellules minces

- ❑ Cellules d'épaisseur microscopique remplies d'acétylène
- ❑ Confinement \Rightarrow Signaux dépourvus d'effet Doppler (effet Dicke)
- ❑ Résolution sub-Doppler en spectroscopie linéaire
- ❑ Equipe *Spectroscopie Atomique aux Interfaces* (SAI) du LPL
- ❑ Post Doc de Joao Carlos Aquino de Carvalho (labex FIRST-TF)



○ Fibres creuses

- ❑ Montage entièrement fibré
- ❑ Grande longueur d'interaction





FIRST
TF

Merci de votre attention