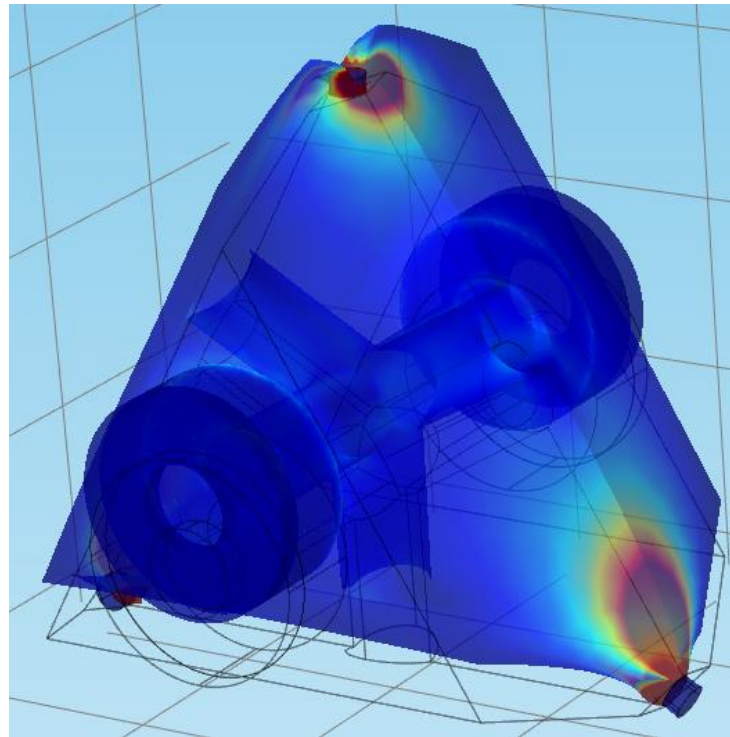


Ultra Compact and Cryogenic Ultra-stable Fabry-Perot Cavities

A. DIDIER, J. MILLO, C. LACROÛTE, M. OUISSE, J. DELPORTE, V. GIORDANO, E. RUBIOLA, Y. KERSALÉ



Thèse démarrée en Décembre 2012

16/03/2015

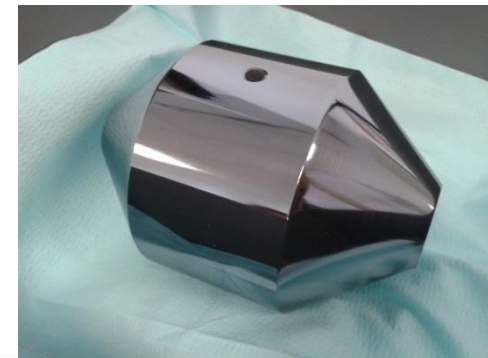
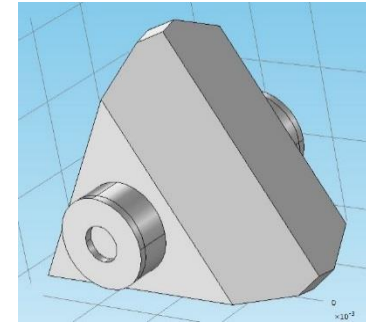
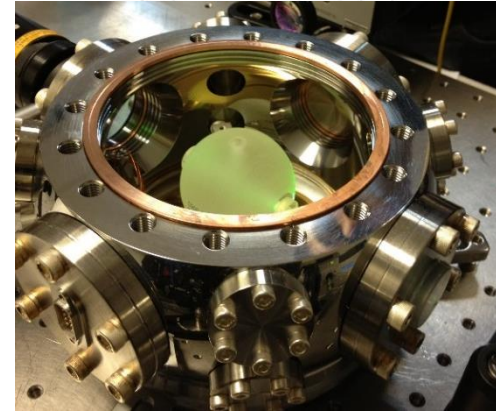
Plan



- Objectifs de la thèse
- Cavité compacte
- Cavité Silicium cryogénique
- Résultats expérimentaux
- Conclusions et perspectives

Objectifs de la thèse

- Laser stabilisé sur cavité commerciale (50 mm)
- Stabilité visée : 8×10^{-16}
- Première référence optique
- Laser stabilisé compact (qq m³ → 40 l)
- Cavité compacte (25 mm)
- Stabilité visée : 1×10^{-15}
- Laser stabilisé sur cavité Silicium cryogénique (140 mm)
- Stabilité visée : 4×10^{-17}
- Métrologie et horloges optiques

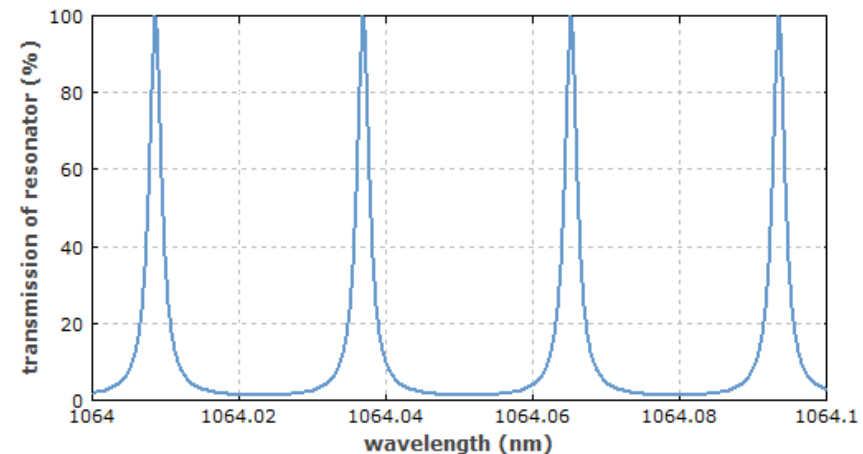
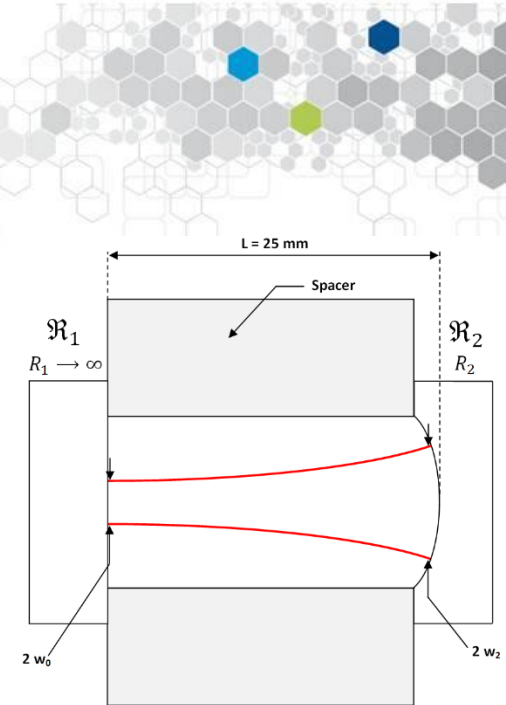
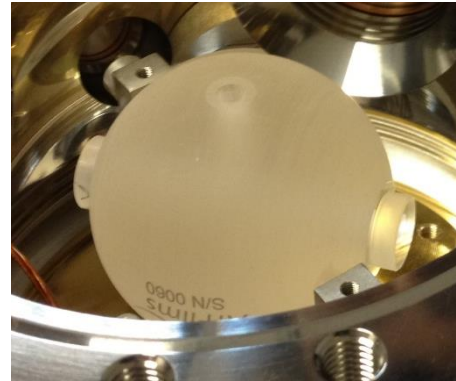


Limitations des cavités ultra-stables

$$\frac{\delta L}{L} = \frac{\delta v_l}{v_l}$$

- Sensibilité aux vibrations
 - Conception du spacer
- Fluctuations de température
 - Verre ULE : $\alpha(T_{inv}) \approx 0$; T ambiante)
 - Silicium : $\alpha(T_{inv}) \approx 0$; T cryogénique)
- Bruit thermique

$$S_L(f) \propto \frac{4k_B T}{2\pi f} \frac{F(\dots)}{Q}$$

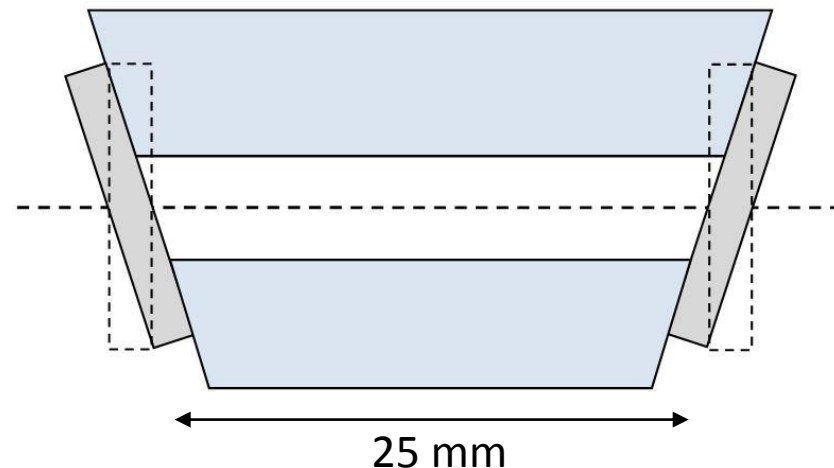


Cavité compacte

- Cavité compacte à $\sigma_y(\tau) = 10^{-15}$ (0,1 s à 10 s) :
 - $S_y^a(f) = \sum_i k_i^2 S_{a_i}(f)$
 - Salle « calme » ($S_a = -100$ dB (m/s²)²/Hz) : $k_i \leq 10^{-10}$ /(m/s²)
 - Salle « bruyante » ($S_a = -60$ dB (m/s²)²/Hz) : $k_i \leq 10^{-12}$ /(m/s²)
ou une table d'isolation active/passive

- Conception mécanique : Forme du spacer

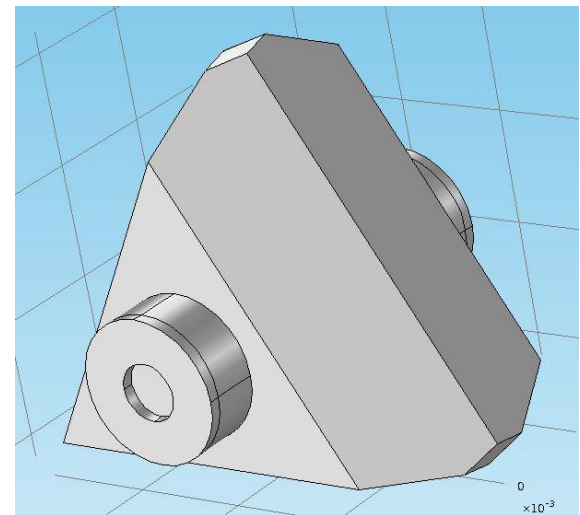
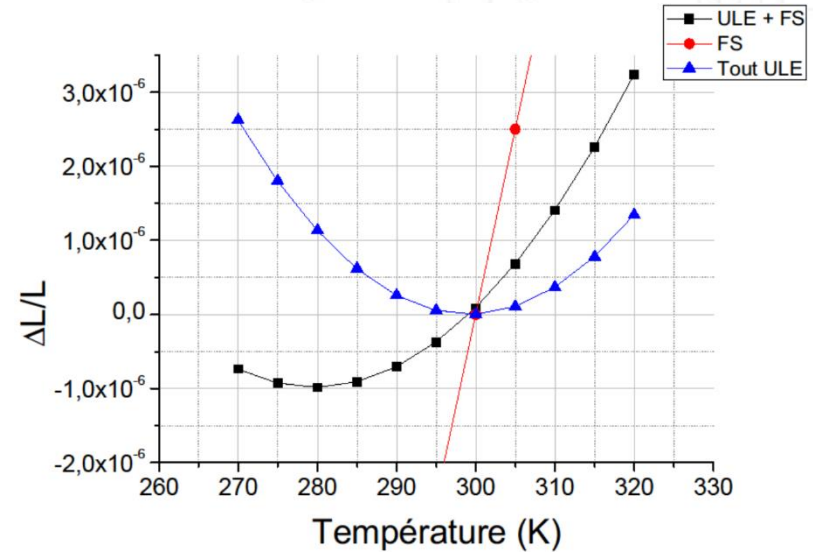
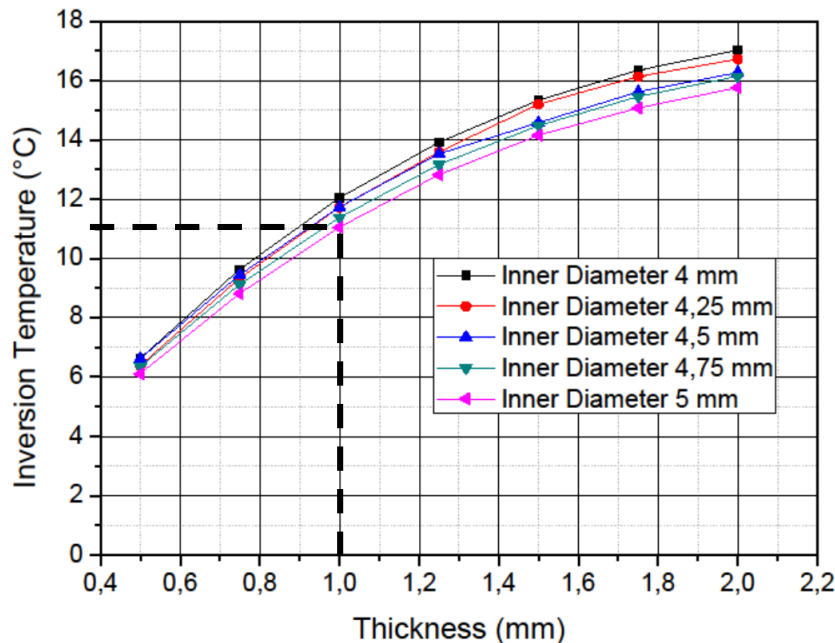
- Simulation des efforts sous 1 m/s² (COMSOL)
- Différentes géométries de spacer
- Optimisation : réduire la sensibilité accélérométrique



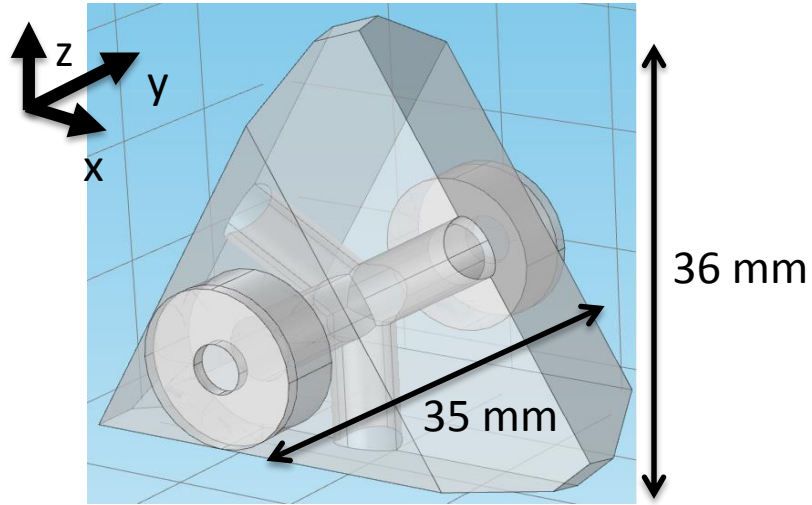
Conception thermique



- Spacer ULE + Miroirs FS
 - Décalage de $T_{\text{inversion}}$
 - Correction : Anneau ULE¹



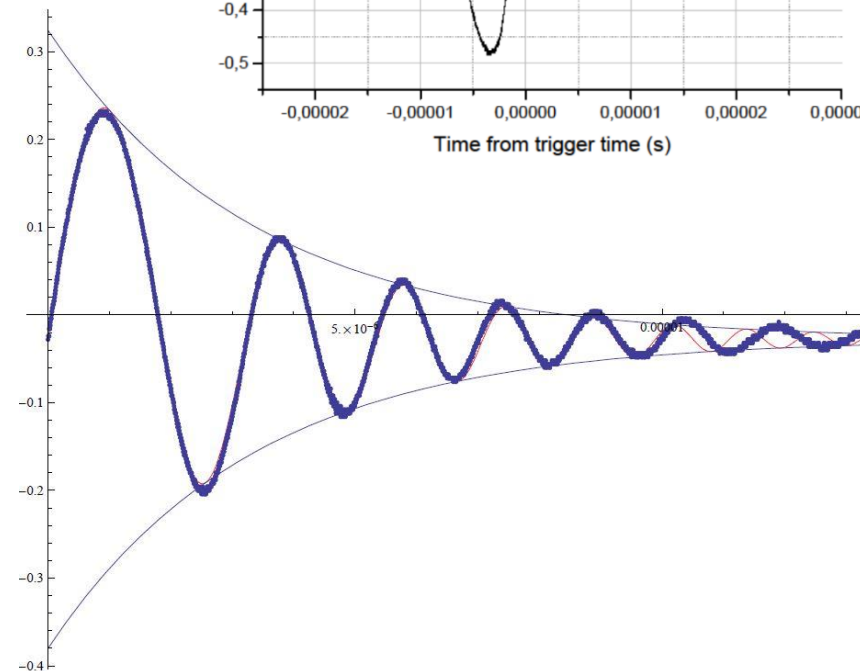
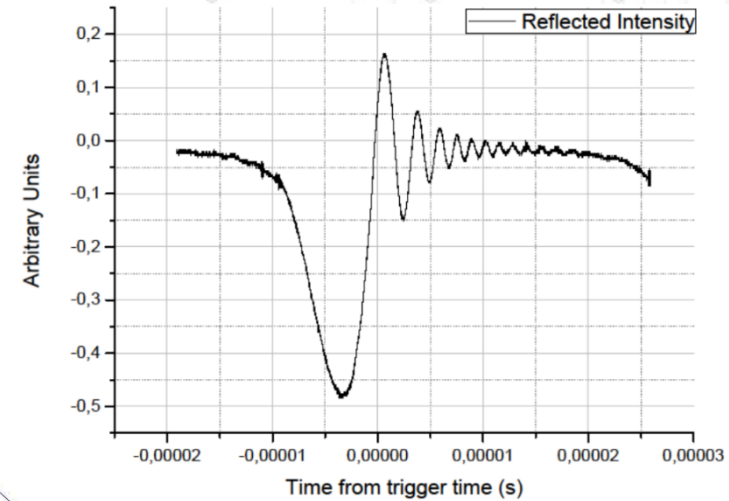
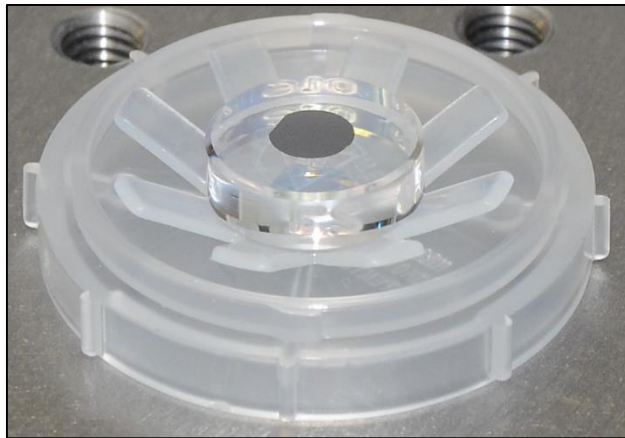
Design final



Géométrie	k_x (par m/s^2)	k_y (par m/s^2)	k_z (par m/s^2)
Tétraèdre (simulation)	$\leq 3 \cdot 10^{-13}$	$\leq 6,5 \cdot 10^{-13}$	$\leq 5 \cdot 10^{-13}$
Cube (NPL)	$\leq 2,1 \cdot 10^{-13}$	$\leq 2,45 \cdot 10^{-12}$	$\leq 1 \cdot 10^{-14}$
Sphère (NIST)	$\leq 1,6 \cdot 10^{-11}$	$\leq 3,1 \cdot 10^{-11}$	$\leq 4 \cdot 10^{-12}$

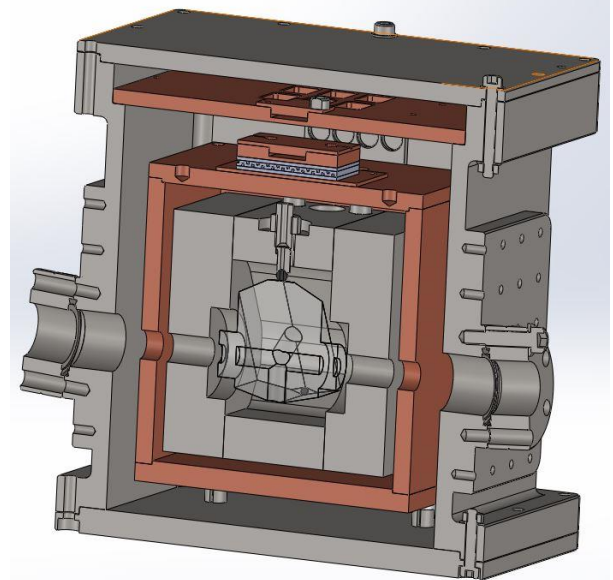
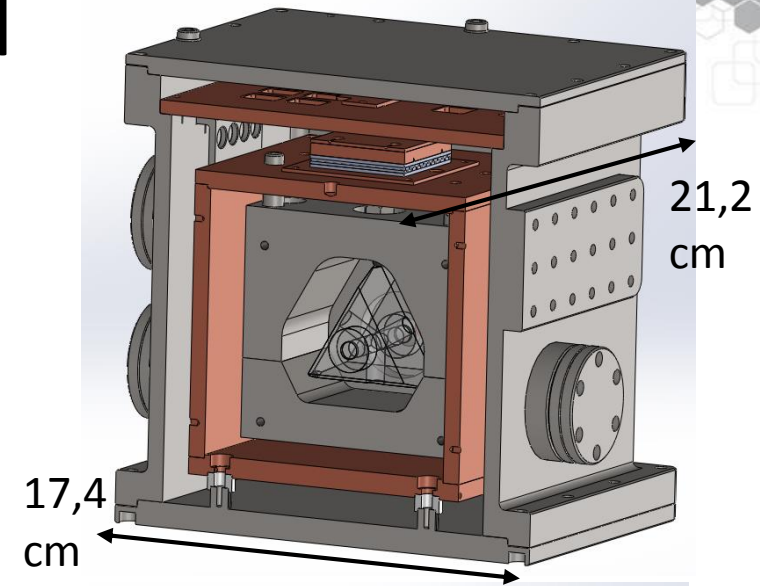
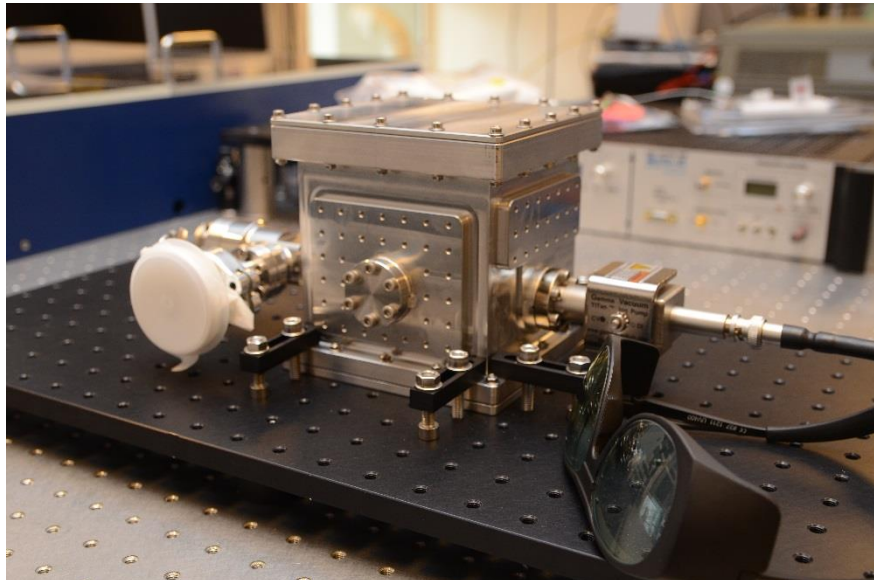
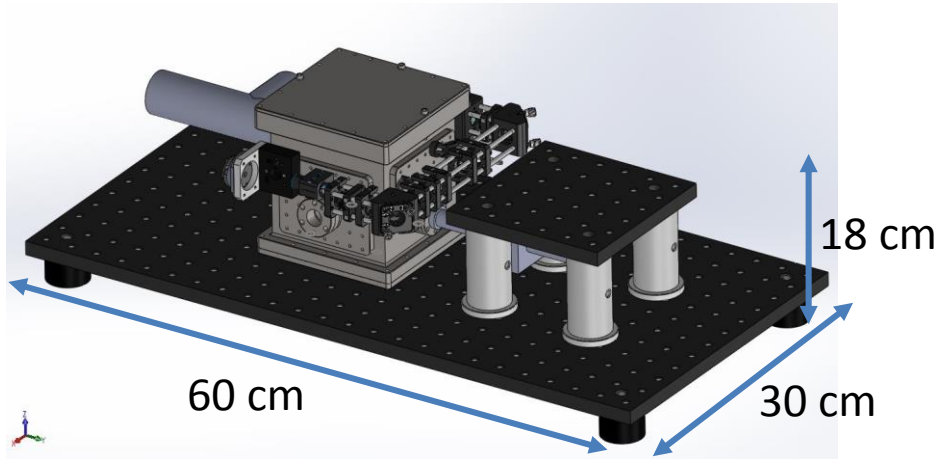
Miroirs cristallins

- Bruit thermique plus faible¹
- Test : Sweepled Ring-down
- Finesse autour de 70000

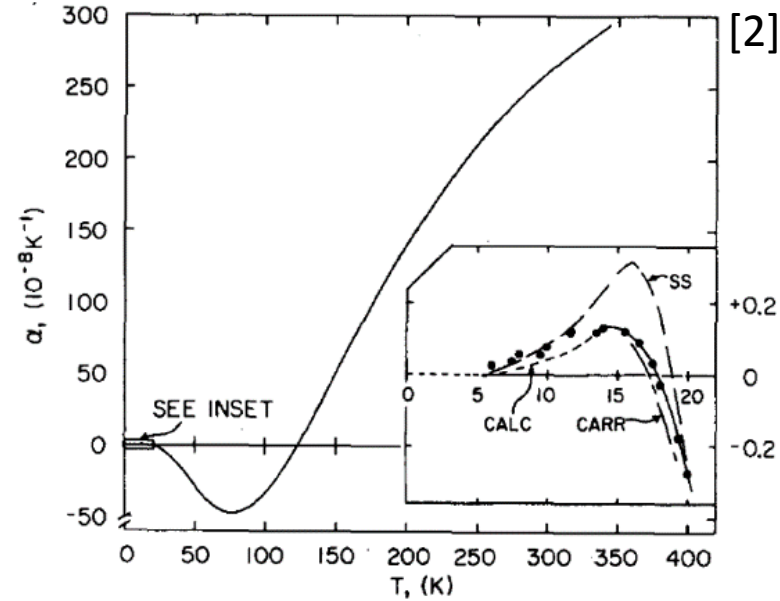
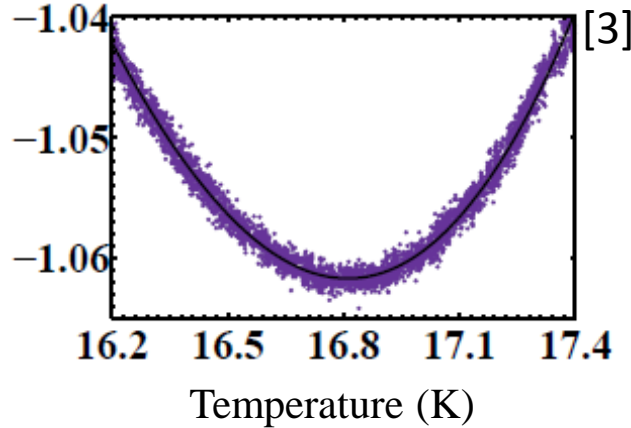
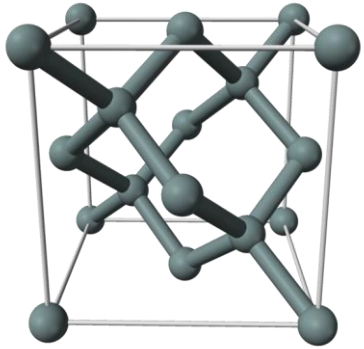


[1] Tenfold reduction of Brownian noise in high-reflectivity optical coatings, Garrett D. Cole et al., Nature Photonics

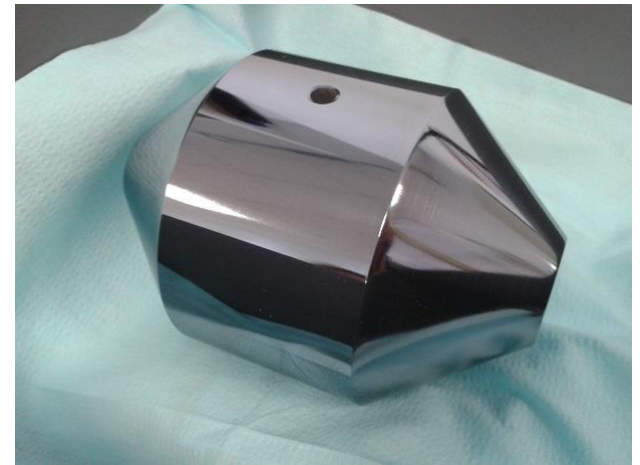
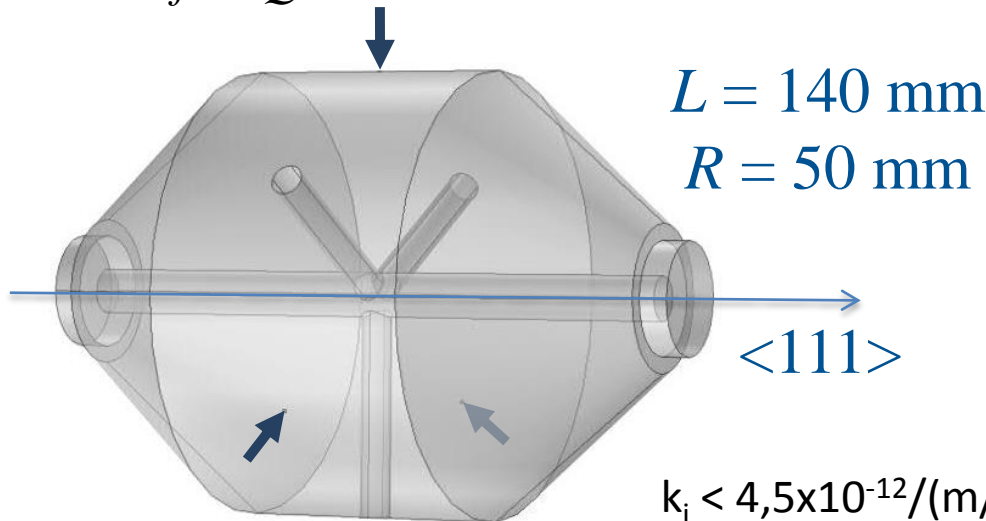
Montage expérimental



Cavité Silicium

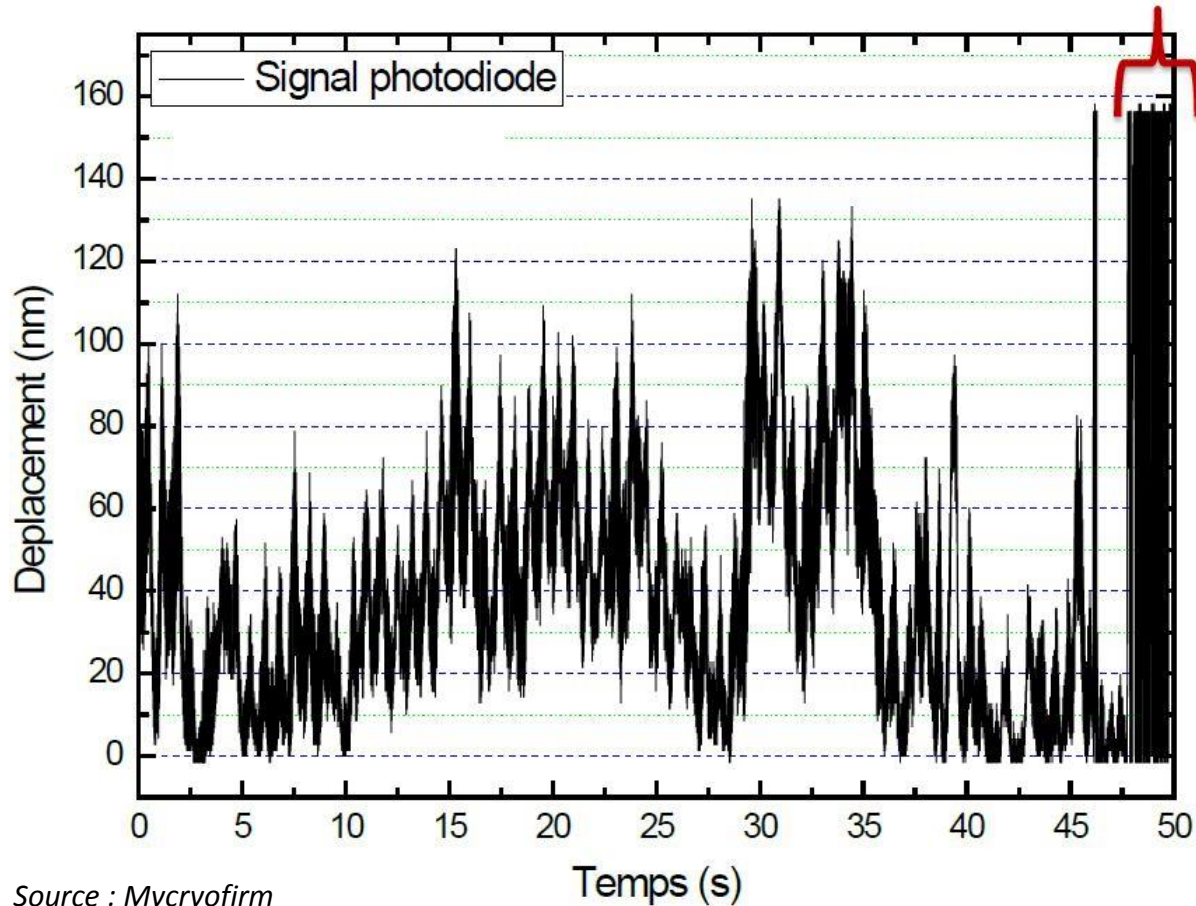


$$S_L(f) \propto \frac{4k_B T}{2\pi f} \frac{F(\dots)}{Q}$$

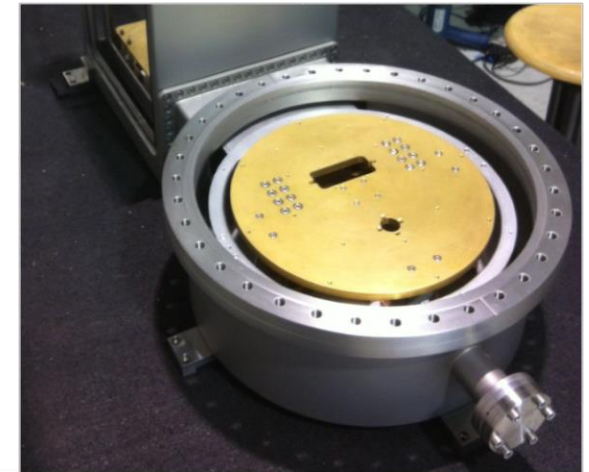


Montage expérimental

- Cryogénérateur faibles vibrations

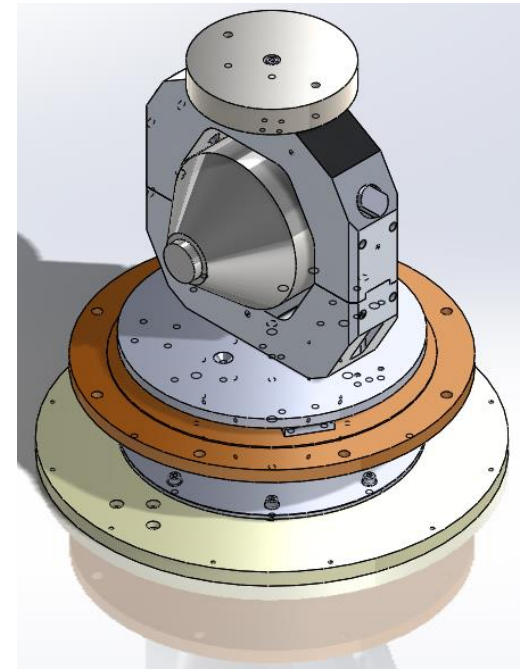
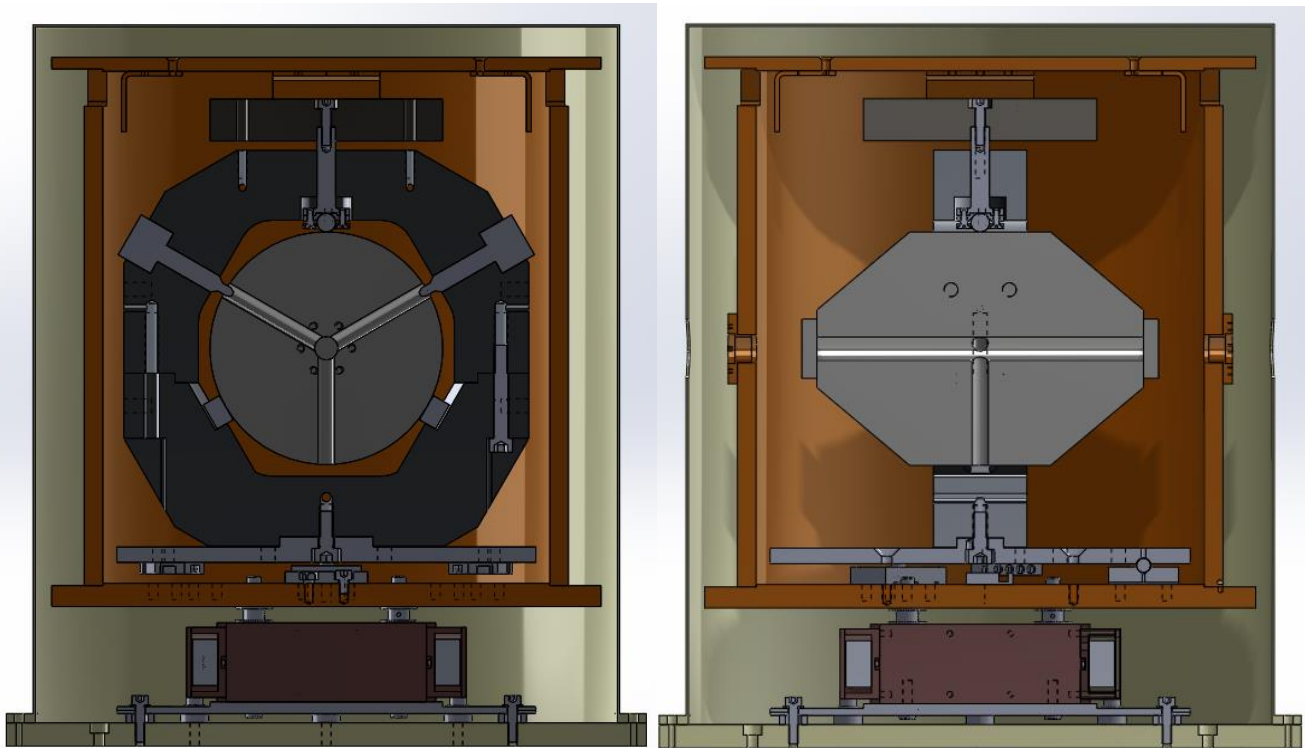


Source : Mycryofirm



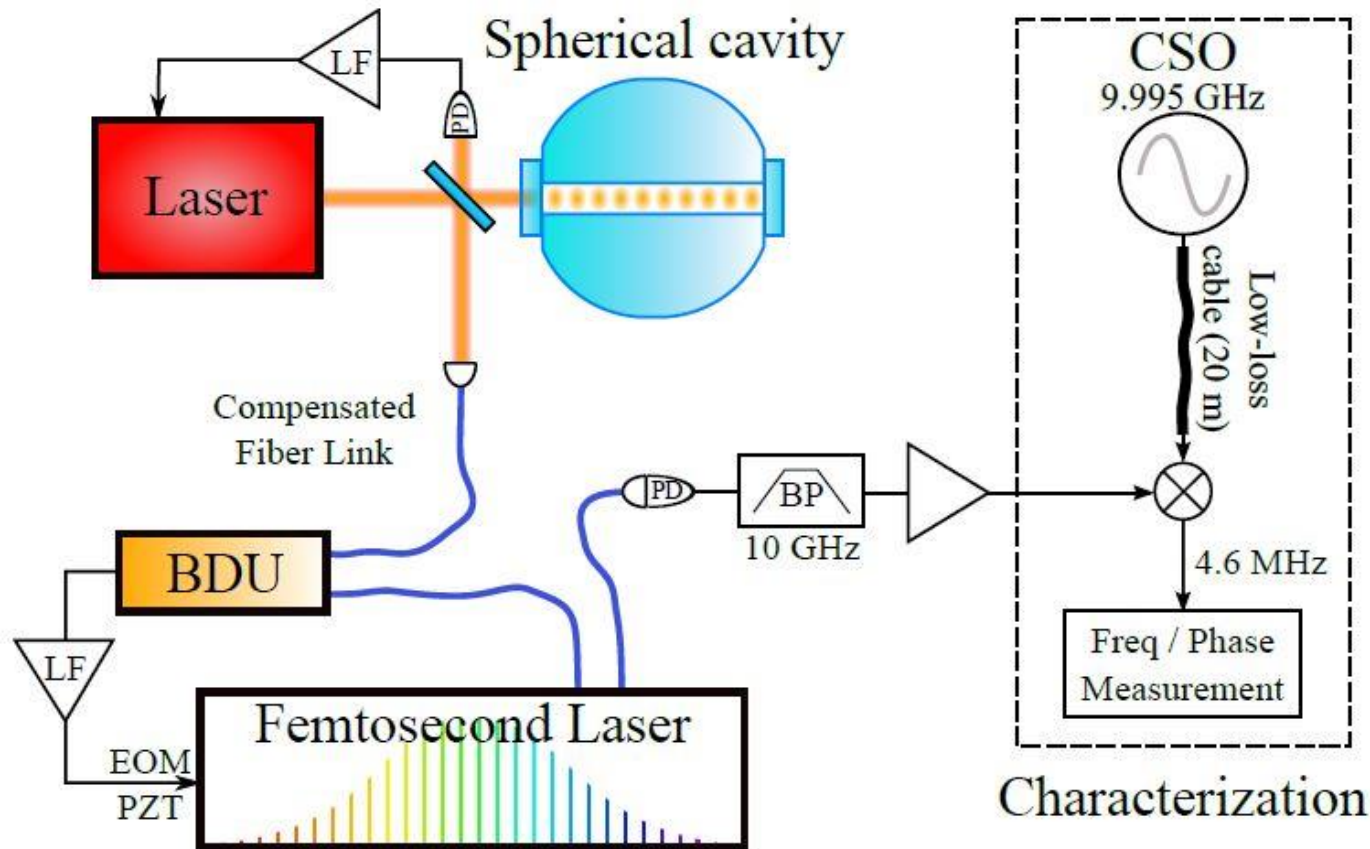
Montage expérimental

- Maintien de la cavité en 3 points

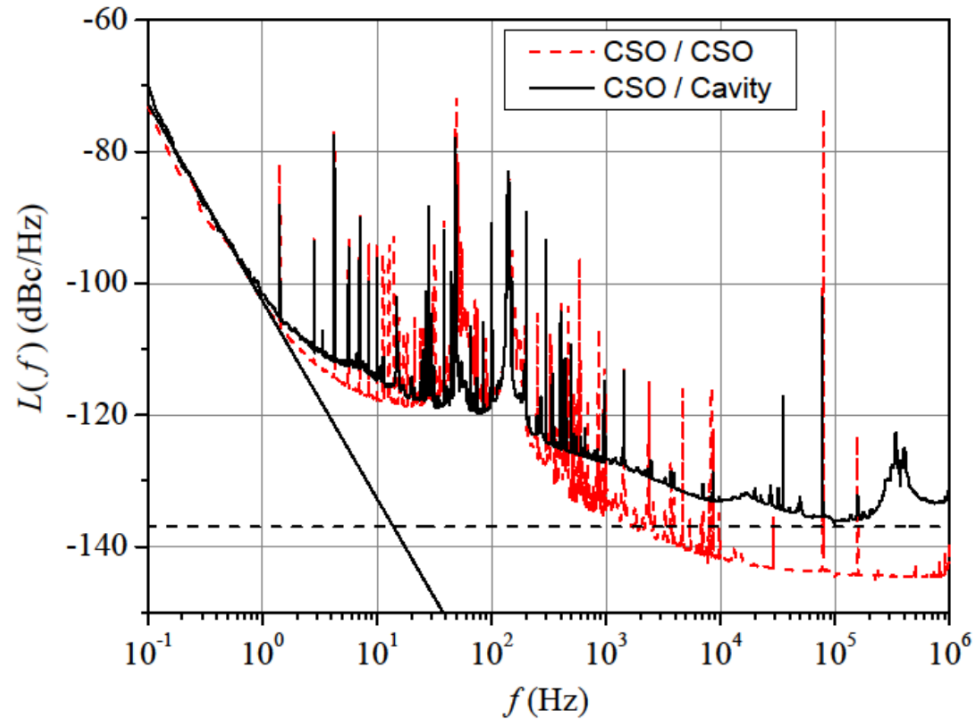


Laser stabilisé sur cavité commerciale

- Comparaison Laser ultra-stable et CSO



Laser stabilisé sur cavité commerciale

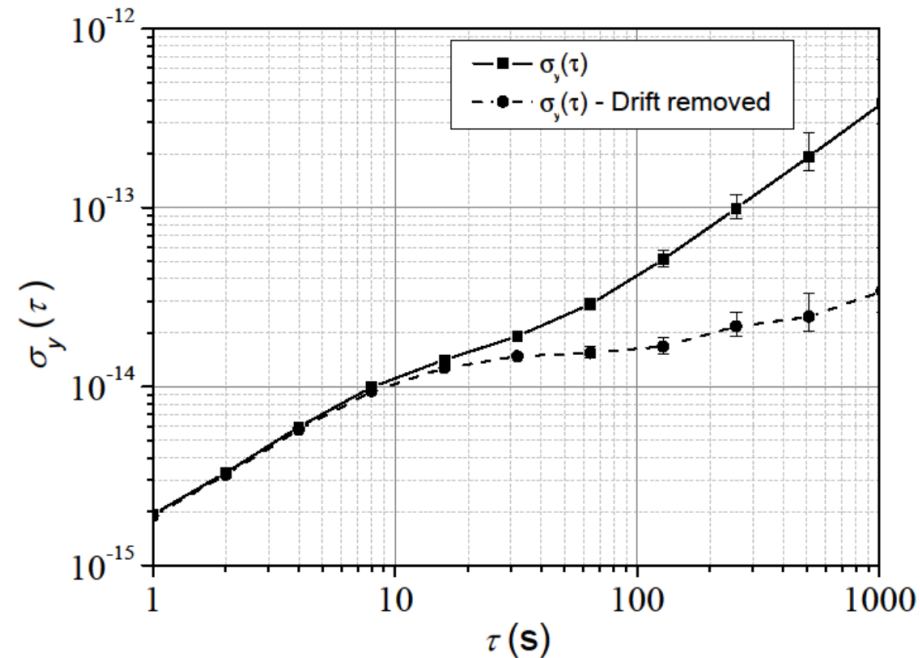


$$\mathcal{L}(1 \text{ Hz}) = -103 \text{ dBc/Hz}$$

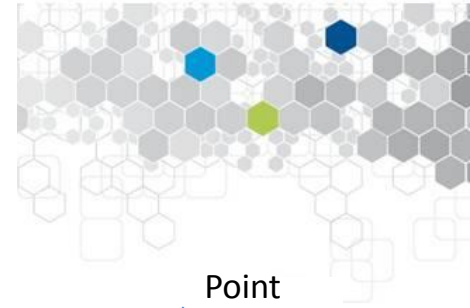
$$\text{Bruit en } f^3 \Rightarrow \sigma_y \approx 1.2 \cdot 10^{-15}$$

$$\sigma_y (1\text{s}) \approx 1.9 \cdot 10^{-15}$$

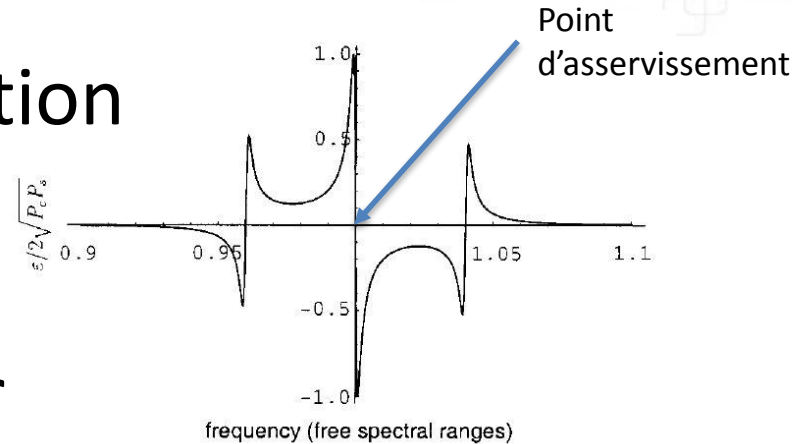
$$\text{Dérive de } 3.8 \cdot 10^{-16} \tau$$



Modulation d'amplitude résiduelle (RAM)

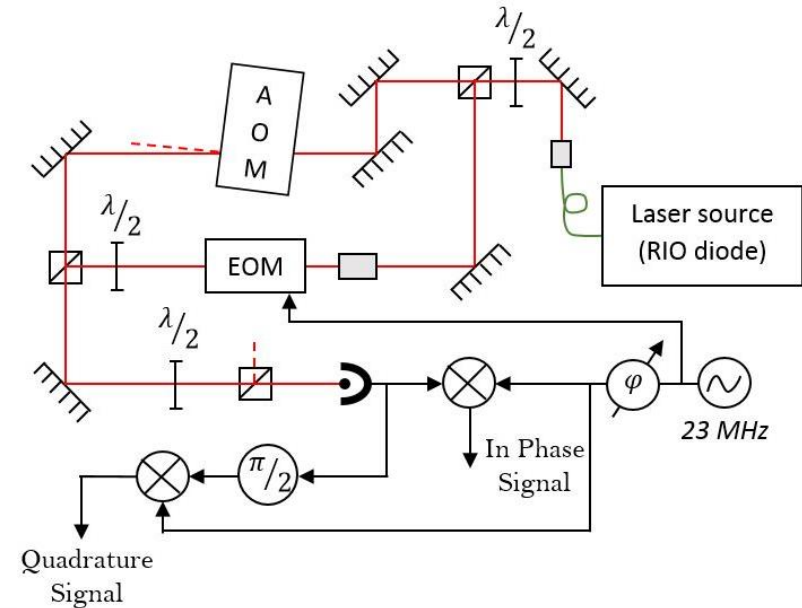


- Désalignement de Polarisation
- Modulation d'amplitude
- Offset sur le signal d'erreur

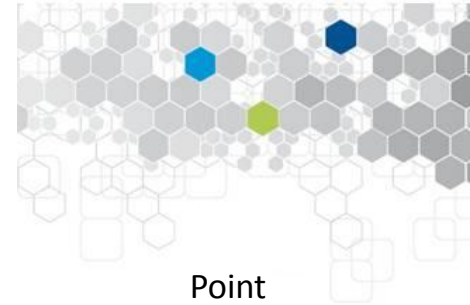


$$\varepsilon_{DC} \approx A_0 \left(-\frac{2}{\pi} \sqrt{P_c P_s} \frac{\partial \Omega}{\partial \nu} + 2m P_s \cos(\varphi) \right)$$

- Dépendance avec :
 - Puissance optique
 - Puissance RF
 - Température



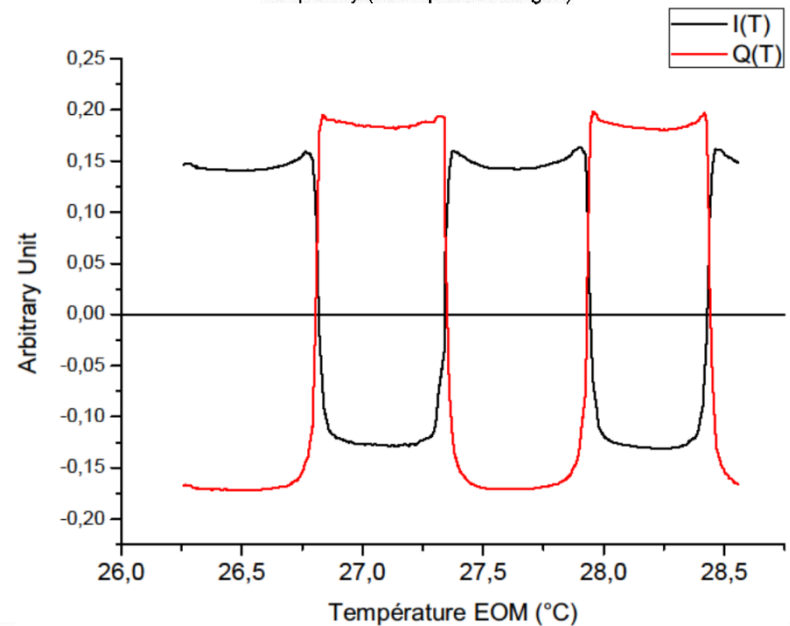
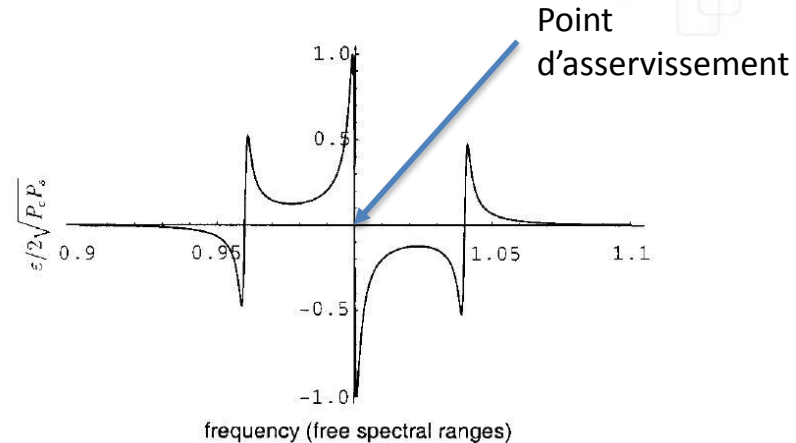
Modulation d'amplitude résiduelle (RAM)



- Désalignement de polarisation
- Modulation d'amplitude
- Offset sur le signal d'erreur

$$\varepsilon_{DC} \approx A_0 \left(-\frac{2}{\pi} \sqrt{P_c P_s} \frac{\partial \Omega}{\partial \nu} + 2mP_s \cos(\varphi) \right)$$

- Dépendance avec :
 - Puissance optique
 - Puissance RF
 - Température



Conclusions et perspectives



- Développement de trois lasers stabilisés
 - Commercial
 - Compacte
 - Silicium cryogénique
- Montage des lasers
- Test des sensibilités accélérométriques
- Caractérisation des cavités



Mesure de la stabilité de la cavité en Silicium

