

Laser stabilisé en fréquence sur une cavité Fabry-Perot cryogénique en silicium

Frequency stabilized laser on a silicon-made cryogenic Fabry-Perot cavity

Porteur(s) : Y. Kersalé (FEMTO-ST)

Partenaire(s) : Y. Le Coq (SYRTE)

Résumé du projet en Français :

Ce projet concerne le développement de lasers stabilisés à 1,5 μm sur des cavités Fabry-Perot à température cryogénique à partir de cryogénérateurs commerciaux. Deux systèmes seront réalisés dans le but d'atteindre une instabilité relative de fréquences meilleures que 1.10^{-16} sur des temps courts pour répondre aux besoins des horloges optiques à atomes neutres.

Le premier système repose sur une cavité Fabry-Perot en silicium de 15 cm de longueur refroidie à 17 K par un cryogénérateur à faibles vibrations. Le plancher thermique de cette cavité a été calculé à 3.10^{-17} .

Le deuxième système sera un laser stabilisé sur une cavité Fabry-Perot refroidie par un cryogénérateur à dilution à une température de 100 mK. La réduction de la température entraîne directement une réduction du bruit thermique de la cavité et ainsi un gain d'un facteur 10 est attendu sur le bruit thermique de ce résonateur. De plus, à cette température, les propriétés mécaniques et thermiques des matériaux s'améliorent considérablement.

Un banc de mesure par intercorrélation, incluant le laser stabilisé, 2 lasers femtosecondes et 2 oscillateurs saphir cryogénique sera mis en place, dans le cadre de ce projet, afin de mesurer le bruit propre du laser stabilisé.

A moyen terme, ce laser continu sera testé au LNE-SYRTE d'une part comme oscillateur local d'une des horloges à atomes neutres et d'autre part permettra de caractériser le système de transfert de pureté spectrale par peigne de fréquence optique fibré. Enfin, à terme, ce laser sera asservi sur le signal provenant de REFIMEVE+ et constituera alors la référence de fréquence du département Temps-Fréquence de FEMTO-ST.

Abstract in English:

This project is dedicated to the realization of ultra-stable lasers at 1.5 μm stabilized onto cryogenic Fabry-Perot cavities. Our goal is to reach relative frequency instabilities lower than 1.10^{-16} at short term which is a necessary milestone for optical clocks at the quantum projection noise limit.

Two different systems will be investigated in this project. The first one is based on a cryogenic silicon Fabry-Perot cavity cooled down to 17 K by an ultra-low vibrations cryocooler. The noise floor (thermal noise) of this cavity is calculated to be at 3.10^{-17} .

The second one concerns the realization of an optical resonator cooled down to 100 mK. At this temperature the cavity thermal noise will be reduced by a factor of ten and the material properties, in terms of mechanical losses and thermal expansion coefficient, are considerably improved.

In order to characterize the noise of this laser a cross spectrum readout system, including the stabilized laser, 2 optical frequency combs and two cryogenic sapphire oscillators, will be developed during this step of the all project.

At medium term this continuous laser will be tested at LNE-SYRTE, on one hand as a local oscillator of one of the neutral atomic clocks and in the other hand to characterize the spectral purity transfer system coming from REFIMEVE+: it will be the frequency reference of the FEMTO-ST Time&Frequency department.

Résultats marquants :

La cavité est à température cryogénique depuis plus d'un an. La finesse mesurée à Température ambiante est de l'ordre de 73 000. Nous avons mis en place un thermostat performant qui permet d'atteindre des stabilités de températures de l'ordre de 100 μK de une à dix milles secondes de temps d'intégration. La température d'inversion de la cavité a été mesurée à 17,2 K. La stabilisation du laser sur la cavité se fait via un asservissement de Pound-Drever-Hall numérique. Dans ce montage préliminaire l'instabilité relative de fréquence mesurée est de quelques 10^{-15} à 1s.

Highlights:

The silicon Fabry-Pérot cavity is cooled down at cryogenic temperature since one year. At room temperature the cavity finesse was measured at around 73 000. The cavity is temperature controlled with residual fluctuations of about 100 μK from 1s to 10 000 s integration times. The laser is stabilized to the cavity with a numerical Pound-Drever-Hall scheme. In this configuration first measurement leads to a relative frequency instability in the 10^{-15} level.

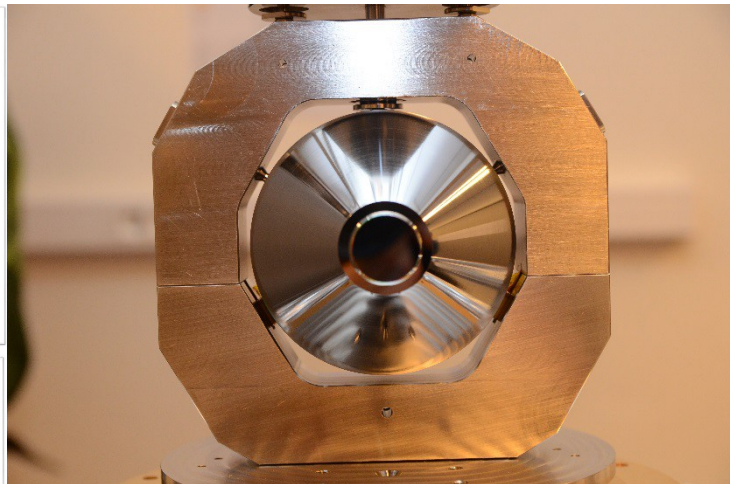
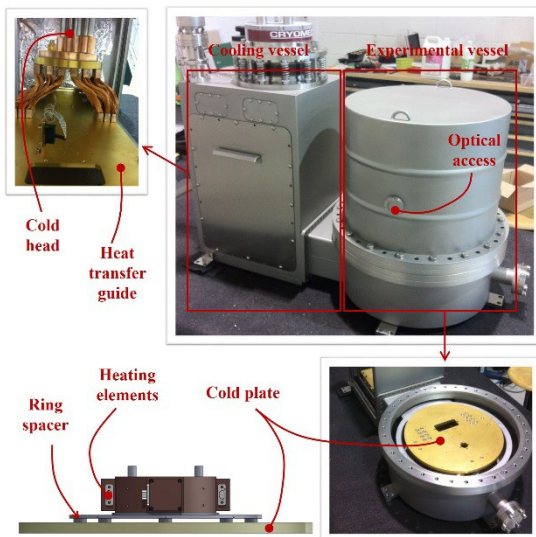
Publications and communications linked with the funded project:

Proceedings:

“Cryogenic single crystal silicon cavity” J. Millo, C. Lacroûte, A. Didier, J. Paris, V. Giordano, E. Rubiola and Y. Kersalé. *Proceedings of the European Frequency and Time Forum (EFTF)*, June 2014, Neuchâtel, Switzerland, pp. 531-534.

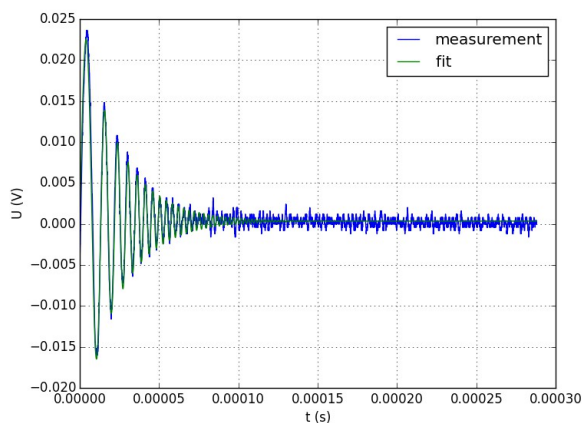
“Towards an ultra-stable laser based on Cryogenic silicon cavity” B. Maréchal, J. Millo, A. Didier, P-Y. Bourgeois, G. Goavec-Mérou, C. Lacroûte, E. Rubiola and Y. Kersalé. *Proceedings of the EFTF-IFCS joint meeting (EFTF)*, Juillet 2017, Besançon, France, pp. 773-774.

Pictures with captions (curve, photo, scheme ...):

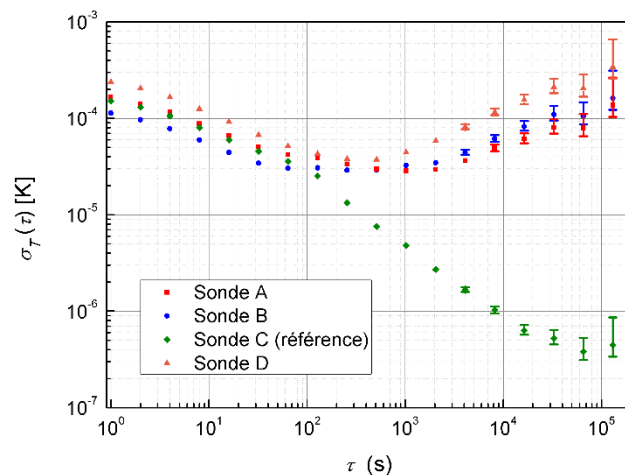


Low vibrations cryocooler : displacement less than 40 nm

Silicon single crystal cavity



Finesse = 73 000 at 300 K



Temperature stability measurement at 17 K