

Titre de la thèse : Développement d'un laser stabilisé sur une cavité Fabry-Perot cryogénique pour la métrologie et la physique fondamentale

Laboratoire d'accueil : FEMTO-ST

Spécialité du doctorat préparé : Optique et photonique

Mots-clefs / Keywords : Métrologie temps-fréquence ; physique des lasers ; optique ; électronique ; cavité Fabry-Perot ; matière noire ; instrumentation

Descriptif détaillé de la thèse

Les lasers ultra-stables sont au cœur de nombreux instruments scientifiques pour les mesures de précision, la spectroscopie atomique, la diffusion des références de temps et de fréquences par fibre optique, la détection d'ondes gravitationnelles et la recherche de matière noire. Actuellement, les performances atteignent des stabilités relatives de fréquence de l'ordre de 10^{-16} à 1 seconde d'intégration, cependant elles restent insuffisantes pour bon nombre d'applications. Pour dépasser les limites actuelles, la thèse proposée consiste à réaliser un laser qui sera stabilisé sur une cavité Fabry-Perot cryogénique.

Une cavité Fabry-Perot est constituée de deux miroirs alignés avec précision en regard l'un de l'autre. Si l'on parvient à limiter les fluctuations de longueur de la cavité, elle devient un étalon de longueur, et donc une référence de fréquence. Cette stabilité de longueur est ensuite transférée à un laser asservi sur une fréquence de résonance de la cavité. Toute la difficulté de la conception d'une cavité ultra-stable réside donc dans la stabilisation de la longueur de la cavité. Afin de limiter ce bruit de longueur, les miroirs de la cavité sont collés à une cale d'espacement ultra-rigide. La contribution du bruit thermique au bruit de longueur est également minimisée en refroidissant la cavité à des températures cryogéniques.

Durant cette thèse, le cœur du dispositif sera une cavité Fabry-Perot en silicium mono-cristallin, déjà réalisée et disponible. La cavité est refroidie à 17 K afin de rendre l'expansion thermique de la cale d'espacement négligeable. Le cryostat, l'enceinte à vide et les boucliers thermiques permettant de bloquer le rayonnement provenant de l'extérieur sont déjà fabriqués et opérationnels [1]. Toutefois, il existe des effets qui viennent dégrader la stabilité en fréquence du laser, comme les vibrations qui devront rester inférieures à $-110 \text{ dB}(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}$ à 1 Hz, les fluctuations de puissance laser qui seront contrôlées à mieux que $\approx 100 \text{ pW}$ [2] ou encore la modulation d'amplitude résiduelle qui dégrade la qualité de l'asservissement du laser sur la cavité [3]. Le premier objectif de cette thèse sera de les minimiser afin d'atteindre la stabilité en fréquence relative de 3×10^{-17} .

En parallèle, l'un des objectifs de cette thèse sera de mettre en place l'instrumentation pour un test de détection de matière noire avec cette cavité en silicium. Certains modèles de matière noire prédisent que ces particules possèdent une énergie inférieure à $1 \text{ eV} \cdot \text{c}^{-2}$ et entrent dans le domaine des « champs scalaires ultra-légers ». Dans ce domaine, on peut traiter la matière noire sous la forme d'un champ classique, qui provoque des variations de la fréquence des horloges en raison de l'oscillation des constantes fondamentales de la physique. De la même manière, avec un laser asservi sur une cavité optique, on pourra détecter la présence de matière noire avec la variation de la fréquence du laser, à cause d'un changement de longueur de la cavité due à l'oscillation de certaines constantes (masse de l'électron, constante de structure fine) et donc du rayon de Bohr [4].

En résumé, au cours de cette thèse, le ou la candidat-e aura l'occasion de :

- développer une référence de fréquence ultra-stable locale, en réduisant les effets parasites (vibrations, modulation d'amplitude résiduelle, fluctuations de puissance laser).
- effectuer des comparaisons de fréquence avec d'autres références de fréquence en Europe, en réalisant des battements de fréquence, via le réseau Réseau Fibré Métrologique à Vocation Européenne ([REFIMEVE](#)).
- participer au développement d'une seconde cavité cryogénique refroidie à quelques centaines de millikelvins, afin d'améliorer d'environ un ordre de grandeur la stabilité en fréquence dans le futur.
- mettre en place une expérience de détection de matière noire avec une cavité en silicium, afin de poser de nouvelles contraintes sur les modèles de matière noire dans le domaine de 10^{-9} eV.c⁻²

Références bibliographiques

- [1] A. Didier, [Développement de cavités Fabry-Perot ultra-stables pour références de fréquence optique de nouvelle génération](#), thèse, 2016
- [2] D. Świerad *et al.*, [Sci Rep](#) **6**, 33973, 2016
- [3] J. Gillot *et al.*, Optics Express, [Opt. Express](#) **30**, 20, 2022
- [4] E. Savalle *et al.*, Phys. Rev. Lett. **126**, 051301, 2021, [arxiv:2006.07055](#)

Profil demandé

Le ou la candidat-e intégrera l'équipe [OHMS](#) du département Temps-Fréquence de [FEMTO-ST](#). Le ou la candidat-e doit porter un intérêt majeur pour les mesures de haute-précision, présenter du savoir-faire en optique, électronique et instrumentation. Des connaissances en conception mécanique et en physique fondamentale sont un véritable atout. Le ou la candidat-e évoluera au sein d'une équipe composée de chercheurs, ingénieurs et techniciens, et disposera du soutien des services électronique, mécanique et informatique de l'Institut FEMTO-ST et de l'infrastructure d'excellence [OSCILLATOR-IMP](#) dédiée à la métrologie temps-fréquence. Le ou la candidat-e présentera ses travaux dans des conférences internationales et visera à la publication de ses travaux dans des revues internationales.

Critères de sélection :

- Compétences en optique, électronique et instrumentation
- Parcours professionnel et académique

Personnalité :

- Autonomie
- Aime échanger avec une équipe et présenter son travail

Financement : ANR

Dossier à envoyer le plus tôt possible
 Début du contrat : 1^{er} décembre 2022, au plus tôt
 Salaire mensuel brut : 1975 €

Direction de la thèse :

Pr. Yann KERSALÉ – yann.kersale@femto-st.fr

Encadrement de la thèse : co-directeur(s) et co-encadrant(s)

Co-encadrants : Jonathan GILLOT – jonathan.gillot@femto-st.fr
 Jacques MILLO – jacques.millo@femto-st.fr

Les candidats sont invités à soumettre leur candidature aux superviseurs dont les courriels sont donnés ci-dessus.

La candidature doit contenir les éléments suivants :

- CV accompagné d'une lettre de motivation
- Relevé de notes de master
- Au moins une lettre de recommandation

