

Titre de la thèse : Oscillateur local pour une horloge optique à ion Yb⁺

Laboratoire d'accueil : FEMTO-ST, dpt Temps-Fréquence

Spécialité du doctorat préparé : Optique et photonique

Mots-clefs : horloge atomique ; métrologie temps-fréquence ; refroidissement d'atomes par laser ; ion piégé.

Descriptif détaillé de la thèse :

Introduction / contexte :

Ce sujet de thèse, qui se déroulera au sein du département Temps-Fréquence (DTF) de FEMTO-ST, s'inscrit dans le projet de réalisation d'une horloge optique compacte et transportable basée sur le piégeage électrique et le refroidissement laser d'un ion Yb⁺.

Les recherches menées au DTF appartiennent au domaine de la métrologie des fréquences, et visent plus particulièrement au développement et à la caractérisation d'oscillateurs ultra-stables, de capteurs et d'horloges atomiques. Le/la doctorant.e intégrera l'équipe OHMS (Ondes, Horloges, Métrologies et Systèmes), acteur majeur du domaine temps-fréquence, et reconnue internationalement.

La seconde est aujourd'hui l'unité du système international que l'on peut réaliser avec la meilleure exactitude. Les dispositifs permettant cette prouesse, les horloges atomiques, connaissent un progrès expérimental constant depuis une cinquantaine d'années. Les horloges les plus performantes sont aujourd'hui basées sur l'utilisation de lasers stabilisés en fréquence et asservis à une transition entre deux niveaux d'énergie d'atomes piégés et ultra-froids. Ces dispositifs ont bénéficié à la fois des avancées technologiques liées au développement des lasers, et des avancées en physique atomique et ingénierie quantique permettant un contrôle toujours plus poussé des états d'énergie des atomes. Les méthodes de type « quantum logic », « composite pulses », « quantum non-demolition » et « squeezing » utilisent les propriétés quantiques pour améliorer encore les performances.

Le département Temps-Fréquence de l'institut FEMTO-ST, pionnier des oscillateurs ultra-stable à quartz et saphirs, développe depuis Septembre 2012 des lasers stabilisés en fréquence. Le laboratoire a également porté, avec succès, le projet de micro-horloge atomique européenne. C'est dans la continuité de ces projets qu'a démarré la réalisation d'une horloge optique compacte basée sur des ions Ytterbium (Yb⁺) piégés.

L'objectif de ce projet est de développer une horloge atomique de volume réduit (une centaine de litres, à comparer aux dizaines de mètres cubes occupés aujourd'hui par les expériences de laboratoires) et de performances dix fois meilleures que les horloges atomiques compactes actuelles. Ce projet ambitieux implique la réalisation d'un piège de Paul surfacique, permettant de piéger un ion unique à une distance 500 μm des électrodes micro-fabriquées portant des tensions radio-fréquence (RF) de 250 V environ. Ce piège est inséré dans une enceinte ultra-vide maintenue sous vide poussé (<10⁻⁹ mbars) qui contient également la source d'atomes (Ytterbium), et permet l'accès optique pour le refroidissement, la spectroscopie et la détection par fluorescence.

Une puce prototype a permis la démonstration du piégeage et du refroidissement laser en Juin 2018, une première à Besançon. Une puce plus performante a été réalisée en 2019 à la plateforme MIMENTO, par DRIE sur un wafer SOI, et sera intégrée prochainement à l'enceinte à vide.

Travaux envisagés :

La thèse portera sur le développement de l'oscillateur local de l'horloge optique et la mise en place des séquences de spectroscopie et d'asservissement du laser sur l'ion piégé.

Un banc laser de pré-stabilisation de fréquence sera développé en s'appuyant sur les équipements et méthodologies de la plateforme OSCILLATOR-IMP (cavités ultra-stables, lasers femto-secondes). La transition quadrupolaire à 435,5 nm est atteinte par génération de second harmonique dans un cristal non-linéaire, à partir d'un faisceau infra-rouge (IR) à 871 nm généré par une diode laser en cavité étendue. Ce laser IR sera pré-stabilisé sur un peigne de fréquence optique, permettant de lui transférer la stabilité relative de fréquence d'un laser ultra-stable à 1542 nm asservi sur une cavité Fabry-Perot. Un banc optique de caractérisation de ce transfert de stabilité relative de fréquence doit être mis en place. L'utilisation d'un tel dispositif permettra, en changeant le laser de référence à 1542 nm, de tester l'influence de la stabilité de l'oscillateur local sur les performances de l'horloge. Ceci permettra notamment de déterminer si l'utilisation d'une solution commerciale compacte peut être envisagée, et avec quel niveau de performances, l'achat d'un tel laser ayant été prévu pour 2024.

Parallèlement à ce travail expérimental, un travail de simulation et de programmation sera mené pour mettre en place les séquences expérimentales de spectroscopie et d'asservissement du laser d'horloge. On utilisera pour cela l'environnement ARTIQ, déjà utilisé pour piloter l'expérience. Sur la base de simulations, les paramètres expérimentaux de séquences de type Rabi, Ramsey ou composites (hyper-Ramsey, generalized Ramsey ou auto-balanced) seront déterminés en vue d'être testés sur l'expérience.

Références bibliographiques :

"Heating rate measurement and characterization of a prototype surface-electrode trap for optical frequency metrology", T. Lauprêtre *et al.*, Applied Physics B 129:37. DOI : 10.1007/s00340-023-07982-4. 2023.

"Single-ion, transportable optical atomic clocks", Marion Delehaye and Clément Lacroûte, Journal of Modern Optics 65:5-6, pp. 622-639. DOI: 10.1080/09500340.2018.1441917. 2018.

Profil demandé :

Nous recherchons des candidat.e.s ayant une formation en physique atomique et/ou quantique, en optique ou en physique générale. Une formation expérimentale et/ou instrumentale serait un atout supplémentaire, ainsi que des connaissances en électronique analogique et/ou numérique. Nous attendons également du candidat qu'il.elle ait l'esprit d'équipe, qu'il.elle soit capable d'organiser son propre planning et son propre travail, et qu'il.elle soit ouvert à des discussions critiques sur le projet.

Financement : MESRI établissement

Dossier à envoyer pour le XXX

Début du contrat :

Direction / codirection de la thèse : Yann Kersalé / Clément Lacroûte

--

Logo labo

Logo établissement



école doctorale **sciences pour l'ingénieur et microtechniques**

PhD title :
Host laboratory :
Speciality of PhD:
Keywords :
Job description :
Bibliography :
Applicant profile:
Financing Institution: MESRI
Application deadline : Start of contract :
Thesis Supervisor(s) :

