

## Offre d'emploi Ingénieur de Recherche

### **FEMTO-ST (CNRS)**

Département Temps-Fréquence  
26 rue de l'épithape 25030 Besançon, France

#### **Subject: Protocoles d'interrogation composites pour horloges atomiques miniatures**

**Durée: 12 mois**

Au cours des 15 dernières années, la combinaison d'un phénomène physique nommé piégeage cohérent de population, des progrès des techniques de micro-fabrication (MEMS) et des diodes laser à semi-conducteurs, a permis le développement d'horloges atomiques miniatures [1-4]. Ces horloges, désormais disponibles commercialement [5], sont des candidates attractives pour de nombreuses applications industrielles et stratégiques puisqu'elles combinent un total volume de 15 cm<sup>3</sup>, une puissance de consommation de 150 mW pour une stabilité relative de fréquence de l'ordre de 10<sup>-10</sup> à 1 s et proches de 10<sup>-11</sup> à 1 journée d'intégration.

Une horloge atomique miniature à césium associe en son coeur un module physique pleinement miniaturisé intégrant une diode laser VCSEL modulé à 4.6 GHz par un oscillateur local, quelques composants optiques, une microcellule à vapeur de césium diluée par une pression de gaz tampon et une photodiode détectant la puissance lumineuse transmise à travers la cellule.

Malgré des performances déjà remarquables, la stabilité de fréquence des horloges atomiques miniatures peut être limitée pour des temps d'intégration supérieurs à 100-1000 s par des effets de déplacement lumineux. Les déplacements lumineux traduisent la sensibilité de la fréquence d'horloge aux variations de puissance laser, de fréquence laser ou de l'asymétrie d'amplitude entre les deux bandes latérales optiques créant l'effet CPT.

Une approche possible pour réduire les déplacements lumineux dans les horloges atomiques consiste à utiliser une méthode d'interrogation pulsée de type Ramsey [6]. Dans une horloge CPT à cellule, cette méthode consiste à faire interagir les atomes avec une séquence d'impulsions lumineuses CPT, où chaque impulsion est utilisée pour le pompage des atomes dans l'état CPT et la détection du signal d'horloge, séparées par un temps d'évolution libre dans le « noir ». Cependant, la spectroscopie Ramsey présente une sensibilité résiduelle non négligeable aux déplacements de fréquence induits par le champ d'interrogation pendant l'interaction avec les impulsions.

Au cours de la dernière décennie, d'impressionnants efforts théoriques ont conduit à la démonstration de protocoles d'interrogation robustes et sophistiqués [6] visant à l'élimination des effets de déplacement lumineux. Parmi ces protocoles, la spectroscopie Auto-Balanced Ramsey (ABR), proposée initialement par la PTB [7] et généralisée dans [8], a généré des résultats excitants et une stimulation significative dans la communauté temps-fréquence mondiale.

A FEMTO-ST, nous avons récemment démontré l'implémentation de la méthode Auto-Balanced Ramsey (ABR) dans une horloge à cellule CPT de haute-performance (pas une micro-horloge) [9,10], conduisant à une réduction drastique de la sensibilité de la fréquence d'horloge aux variations de puissance laser (80 fois inférieure au régime Ramsey classique, 800 fois inférieure au régime continu). Plus récemment, des variantes originales de la méthode ABR ont été proposées, rendant possible

une simplification de leur implémentation expérimentale [11-12]. Peut-être même encore plus intéressant pour des horloges atomiques miniatures qui nécessitent de conserver une architecture simple et une faible puissance de consommation, des méthodes originales ont été récemment proposées pour supprimer les effets de déplacement lumineux dans des horloges atomiques fonctionnant en régime continu [13-14].

Dans le cadre du projet PULSACION financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) (<https://anr.fr/fileadmin/aap/2019/selection/aap-astrid-2019-selection.pdf>), combinant l'expertise de FEMTO-ST et d'un partenaire industriel, le (la) candidat(e) travaillera sur l'implémentation de protocoles d'interrogation composites avancés, en régime pulsé ou continu, au sein d'une horloge atomique CPT à microcellule. Le (la) candidat(e) aura l'opportunité de travailler sur ce champ de recherche à l'aide d'un prototype d'horloge à microcellule déjà disponible au laboratoire. Le (la) candidat(e) contribuera à évaluer les performances de l'horloge à microcellule avec différentes méthodes, en portant une attention particulière sur la sensibilité de la fréquence d'horloge aux déplacements lumineux et la stabilité relative de fréquence d'horloge résultante.

Le (la) candidat(e) intégrera le groupe OHMS (<http://teams.femto-st.fr/equipe-ohms/>), au sein du département Temps-Fréquence de FEMTO-ST ([www.femto-st.fr](http://www.femto-st.fr)). Ce groupe, travaillant en étroite collaboration avec le groupe MOEMS (<https://projects.femto-st.fr/MOEMS-Group/en>), a acquis à ce jour plus de 10 ans d'expérience sur le développement d'horloges atomiques CPT et constitue un groupe reconnu internationalement dans ce domaine.

Le (la) candidat(e) devrait disposer d'une expérience forte en thèse de doctorat dans les domaines de la physique appliquée et/ou de physique atomique. Une expérience préalable dans les domaines de la métrologie temps-fréquence et des horloges atomiques est un point fort évident. Le (la) candidat(e) doit avoir de fortes compétences en instrumentation avec le codage et le pilotage d'expériences de physique atomique (langage Python fortement souhaité) et en électronique analogique-numérique. La première mission du/de la candidat(e) sera de coder, programmer et implémenter les séquences avancées pour le fonctionnement du prototype d'horloge atomique. Une fois fixés, le (la) candidat(e) mènera une caractérisation métrologique rigoureuse de la stabilité de fréquence d'horloge avec différentes méthodes d'interrogation. Le (la) candidat(e) devrait aussi bien connaître l'implémentation d'expériences en optique et spectroscopie laser.

Le (la) candidat(e) évoluera dans un groupe de recherche de près de 25 personnes, composée de chercheurs scientifiques, techniciens, post-doctorants et doctorants. Le (la) candidat(e) bénéficiera des services électronique, informatique et mécanique de FEMTO-ST et d'une plateforme de mesure de haut-niveau dédiée à la mesure de la stabilité de fréquence court terme et bruit de phase de sources (<http://oscillator-imp.com/dokuwiki/doku.php>). Le (la) candidat(e) visera à présenter ses travaux dans des revues scientifiques à fort facteur d'impact et dans des conférences internationales.

#### **Application à l'offre:**

**Requis :** Thèse de doctorat en physique/physique appliquée/sciences pour l'ingénieur

**Début:** au plus tôt le 01 mars 2020

**Salaire:** environ 2252 €/mois (net)

**Procédure:** Envoyer un CV, lettre de motivation à Rodolphe Boudot à l'adresse email ci-dessous.

#### **Contact:**

**Dr. Rodolphe Boudot**

FEMTO-ST

Département Temps-Fréquence / Site ENSMM

26, rue de l'épithaphe 25030 Besançon, France.

**Email:** [rodolphe.boudot@femto-st.fr](mailto:rodolphe.boudot@femto-st.fr)

**Tel :** +33 (0)3 81 40 28 56

**Bibliography:**

- [1] S. Knappe et al., A microfabricated atomic clock, Appl. Phys. Lett. , 85, 9, 1460 (2004).
- [2] R. Lutwak et al., The chip-scale atomic clock – Prototype evaluation, 39th Precise Time and Time Interval (PTTI) Meeting, 269-290 (2007).
- [3] J. Kitching, Chip-scale atomic devices, Appl. Phys. Rev. 5, 031302 (2018).
- [4] R. Vicarini et al., IEEE Trans. Ultrason. Ferroelec. Freq. Contr. 66, 12, 1962-1967 (2019).
- [5] <https://www.microsemi.com/product-directory/cesium-frequency-references/4115-5071a-cesium-primary-frequency-standard>
- [6] T. Zanon-Willette et al., Report on Progress on Physics 81, 094401 (2018).
- [7] C. Sanner et al., Phys. Rev. Lett. 120, 053602 (2018).
- [8] V. I. Yudin et al., Phys. Rev. Applied 9, 054034 (2018).
- [9] M. Abdel Hafiz et al., Phys. Rev. Applied 9, 064002 (2018).
- [10] M. Abdel Hafiz et al., Appl. Phys. Lett. 112, 244102 (2018).
- [11] M. Shuker et al., Phys. Rev. Lett. 122, 113601 (2019).
- [12] M. Shuker et al., ArXiv 1903:00566 (2019).
- [13] M. Gozzelino et al., Proceedings EFTF 2018 (<https://ieeexplore.ieee.org/document/8409002>).
- [14] V. Yudin et al., Arxiv 1911 :02935 (2019).