

## MiaM : Microcellules Cs pour Horloges Atomiques Miniatures à Haute Température

### MiaM: Cs micro-cells for miniature atomic clocks at high temperature

**Porteur(s) :** R. Boudot (FEMTO-ST)

**Partenaire(s) :** Y. Richard (SYRLINKS)

#### Résumé du projet en Français :

La technique du piégeage cohérent de population (CPT) permet aujourd'hui la réalisation d'horloges atomiques miniatures de très faible consommation (100-150 mW), de faible volume (15 cm<sup>3</sup>) et une stabilité de fréquence au niveau de 10<sup>-11</sup> sur la journée, correspondant à une erreur en temps de 1 µs par jour. Ces performances en stabilité dépassent de un à deux ordres de grandeur les oscillateurs à quartz traditionnellement utilisés, faisant de ces horloges atomiques de poche une rupture technologique intéressant potentiellement de nombreux domaines d'applications : synchronisation des réseaux télécoms, défense, navigation par satellites, avionique, ...

Le cœur des micro-horloges développées à Femto-ST est une microcellule contenant une vapeur de césium en présence de gaz tampon. La dépendance en température du déplacement collisionnel induit par le gaz tampon peut être annulée au premier ordre à une température de l'ordre de 79°C (dans le cas du néon). Pour certaines applications, il est requis d'opérer à des températures plus élevées.

L'objectif de ce projet est donc d'explorer différentes pistes (autres gaz tampon, mélanges) permettant d'obtenir la température d'inversion au-dessus de 100°C tout en restant compatibles avec les procédés de fabrication des microcellules développées et validées à Femto-ST.

#### Abstract in English:

CPT physics, combined with MEMS techniques and low power VCSELs, allows the development of miniature atomic vapour cell clocks combining a low volume, power consumption and fractional frequency stability at the level of 10<sup>-11</sup> at 1 day integration time. These performances are 2 orders of magnitude better in terms of stability compared to massively-used quartz crystal oscillators.

The heart of miniature atomic clocks (MACs) developed in FEMTO-ST is a Cs vapour microfabricated cell filled with a pressure of buffer gas (Neon). In this configuration, the temperature dependence of the Cs clock frequency can be cancelled at the first order at about 79°C. For some applications, it is required to operate at higher temperatures.

The goal of this project is to explore several buffer gas solution options allowing to obtain higher inversion temperatures while preserving a good compatibility with the cell fabrication process developed in FEMTO-ST.

#### Résultats marquants :

Première démonstration de l'annulation de la dépendance en température de la fréquence d'horloge césium dans des microcellules avec mélange de gaz tampon He-Ne, pour des températures d'opération supérieures à 80°C. La température d'inversion peut être ajustée en jouant sur les concentrations respectives des deux gaz. Ce mélange de gaz est d'intérêt pour le développement de micro-horloges atomiques dédiées à opérer à haute température.

#### Highlights:

First demonstration of the cancellation of the temperature-dependence of the Cs clock frequency in microcells with He-Ne buffer gas mixture for temperatures higher than 80°C. The inversion temperature can be adjusted by tuning partial pressures of He and Ne. This buffer gas mixture could be potentially used for the development of miniature atomic clocks dedicated to operate in severe temperature conditions.

## Publications and communications linked with the funded project:

### Peer-reviewed articles:

E. Kroemer, M. Abdel Hafiz, V. Maurice, B. Fouilland, C. Gorecki and R. Boudot Cs vapor microcells with Ne-He buffer gas mixture for high operation-temperature miniature atomic clocks, *Optics Express* 23, n°14, 18373 – 18380 (2015).

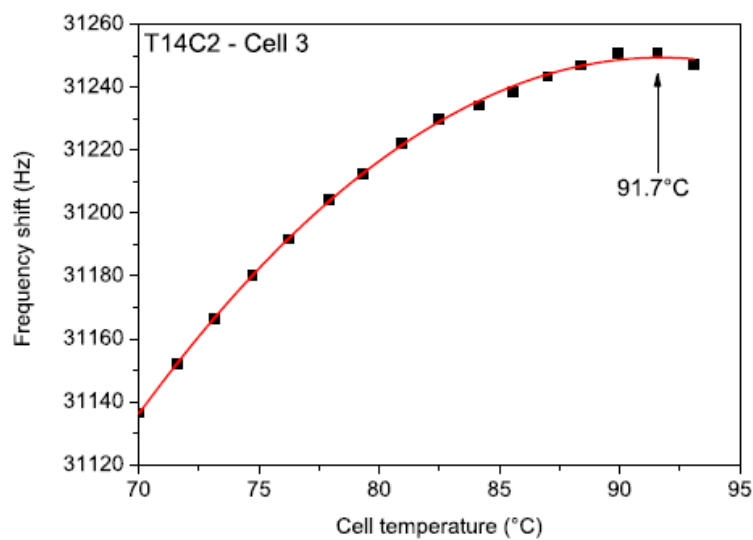
### Patents and licenses:

R. Boudot, V. Maurice, E. Kroemer, C. Gorecki, B. Fouilland Caesium atomic micro-clock microcell buffer gas mixture., United States Patent Application US 2016/0109859 A1, 2016.

### Oral communications:

E. Kroemer and R. Boudot, Measurements of buffer gas collisional clock frequency shifts in Cs vapor cells in presence of Xe and He, Proceedings of the European Frequency Time Forum International Frequency Control Symposium, 12-17 April 2015, Denver, Colorado

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



Cs clock frequency versus the temperature in a Cs-He microcell. An inversion temperature is obtained in this case at 91.7°C.