

HOMIES : Horloge Optique Miniature à Ions piégés

MITICC: Miniature Trapped Ion Clock on a Chip

Porteur(s) : C. Lacroûte (FEMTO-ST)

Partenaire(s) : M. Knoop (PIIM)

Résumé du projet en Français :

Le projet HOMIES a pour ambition d'amorcer le passage aux fréquences optiques pour les horloges atomiques compactes. Basé sur l'utilisation d'un piège à ions, le dispositif permettra de réaliser une horloge atomique d'un volume d'une centaine de litres, et de stabilité relative de fréquence de 10^{-14} à une seconde, soit dix fois meilleure que les meilleures horloges compactes actuelles. Ces performances seront garanties par l'utilisation d'ions Yb^+ ultra-froids et d'une fréquence d'horloge optique. Le piège à ion sera micro-fabriquée en s'appuyant sur les technologies MEMS ; des électrodes lithographiées à la surface d'une « puce » généreront les champs électriques de piégeage. Le banc optique permettant la manipulation des ions (refroidissement, spectroscopie, détection) sera basé autant que possible sur des composants fibrés ou en guides d'onde, permettant de réduire considérablement le volume total. Enfin, une enceinte à vide s'appuyant sur les progrès récents des dispositifs de type « puces à atomes » permettra d'isoler l'ion de l'environnement extérieur.

Abstract in English:

The MITICC project aims at building a compact optical clock. The setup will be based on an ion trap, and should reach a total volume of about a hundred liters. The relative frequency stability should be better than 10^{-14} at one second, about ten times better than today's best compact atomic clocks. This will be made possible by the use of laser-cooled, trapped Yb^+ ions, and an optical transition at 435 nm. The ion trap will be fabricated using MEMS technologies; surface electrodes will generate the RF trapping fields. The optical setup allowing the ion manipulation (cooling, spectroscopy, detection) will use fibered or guided components whenever possible, so as to reduce the total volume. Finally, a vacuum chamber based on recent progresses of "atom chip" setups will shield the ion from the outside.

Résultats marquants :

Le banc laser est désormais opérationnel, et les lasers peuvent être asservis en fréquence au lambda-mètre optique du dispositif. Un prototype de piège a été développé et installé dans son enceinte à vide. Cette enceinte octogonale, en titane, comprend quatre hublots CF40 pour la préparation, le refroidissement et la spectroscopie des ions, et un hublot CF100 permettant la détection par fluorescence. Un *dispenser* commercial émet un jet d'atomes Yb neutres, qui seront photo-ionisés, piégés et refroidis par laser. Les quatre faisceaux nécessaires sont acheminés à l'aide d'une unique fibre optique à cœur creux, très large bande (370 nm → 935 nm), montée directement sur l'enceinte pour le couplage aux ions. Enfin, le système de détection, basé sur une optique de grande ouverture, un tube photomultiplicateur et une caméra CCD bas bruit, est opérationnel.

Après une étude poussée de la stabilité du lambda-mètre utilisé pour asservir la fréquence des lasers et du bruit de phase généré par un module de doublage de fréquence optique, la phase de test du piégeage d'ion a démarré.

Highlights:

The optical setup is now running, with the laser frequencies locked or monitored using an optical wavemeter. A prototype trap has been installed inside the vacuum chamber. This octagonal titanium chamber includes four CF40 windows for ion preparation, cooling and spectroscopy, while a CF100 window is dedicated to the fluorescence signal collection. A commercial dispenser generates a neutral Yb atoms flux, which will be photo-ionized, trapped and laser-cooled. The four necessary laser beams are conveyed using a single broadband hollow-core optical fiber that is directly attached to the chamber for compactness. The fluorescence detection setup is operational; it is based on a high numerical aperture optics, and includes both a photomultiplier tube and a low-noise CCD camera. After a detailed characterization of the wavemeter and a study of the phase noise generated by optical second-harmonic generation, we are currently testing the ion trap.

Publications and communications linked with the funded project:

Peer-reviewed articles:

“Residual Phase Noise Measurement of Optical Second Harmonic Generation in PPLN Waveguides”, M. Delehaye, J. Millo, P.-Y. Bourgeois, L. Groult, R. Boudot, E. Rubiola, E. Bigler, Y. Kersalé, C. Lacroûte, *IEEE Photonics Technology Letters* **29**(19), p. 1639-1642, 2017. DOI: 10.1109/LPT.2017.2741667

“Compact Yb+ optical atomic clock project: design principle and current status”, C. Lacroûte, M. Souidi, P.Y. Bourgeois, J. Millo, E. Bigler, R. Boudot, V. Giordano, Y. Kersalé, *J. Phys.: Conf. Ser.* **723**(1), 012025, 2016. DOI: 10.1088/1742-6596/723/1/012025

“Frequency stability of a wavelength meter and applications to laser frequency stabilization”, K. Saleh, J. Millo, A. Didier, Y. Kersalé, C. Lacroûte, *Applied Optics* **54** (32), p. 9446-9449, 2015. DOI: 10.1364/AO.54.009446

Proceedings:

“Characterization of the phase-noise induced by an optical frequency doubler”, Marion Delehaye, Jacques Millo, Pierre-Yves Bourgeois, Lucas Groult, Ahmed Bakir, Rodolphe Boudot, Enrico Rubiola, Vincent Giordano, Emmanuel Bigler, Yann Kersalé and Clément Lacroûte, proceedings of the 2017 Joint Conference of the European Frequency and Time Forum and IEEE International Frequency Control Symposium.

Invited talks:

“Towards a compact Yb+ ion optical clock”, C. Lacroûte, M. Souidi, M. Delehaye, P.Y. Bourgeois, J. Millo, K. Saleh, E. Bigler, Y. Kersalé, FIRST-TF/CNES Workshop on Compact & Miniature Atomic Clocks – October 10 2016, Paris, France.

Posters presented at international conferences:

“A compact optical clock based on trapped Yb+”, C. Lacroûte, M. Souidi, P.Y. Bourgeois, J. Millo, K. Saleh, E. Bigler, R. Boudot, V. Giordano, Y. Kersalé, 8th Symposium on Frequency Standards and Metrology, Potsdam, Germany, Octobre 2015.

“Compact Yb+ optical atomic clock project: design principle and current status”, C. Lacroûte, M. Souidi, P.Y. Bourgeois, J. Millo, K. Saleh, E. Bigler, R. Boudot, V. Giordano, Y. Kersalé, ECTI 2016, European Conference on Trapped Ions, August 29 - September 2, 2016, Arosa, Switzerland.

“Characterization of the Phase-Noise induced by an Optical Frequency Doubler”, M. Delehaye, P.-Y. Bourgeois, J. Millo, L. Groult, A. Bakir, R. Boudot, E. Rubiola, E. Bigler, V. Giordano, Y. Kersalé and C. Lacroûte, FRISNO 14, French-Israel Symposium on Non-linear & quantum Optics, 5 March - 10 March 2017, Ein Gedi, Israel.

“Characterization of the Phase-Noise induced by an Optical Frequency Doubler”, M. Delehaye, P.-Y. Bourgeois, J. Millo, L. Groult, A. Bakir, R. Boudot, E. Rubiola, E. Bigler, V. Giordano, Y. Kersalé and C. Lacroûte, CLEO®/Europe-EQEC 2017, Conference on lasers and electro-optics/European quantum electronics conference, 25-29 June 2017, Munich, Germany.

“Current status of the compact Yb+ optical clock project at FEMTO-ST”, Lucas Groult, Maël Souidi, Marion Delehaye, Emmanuel Bigler, Yann Kersalé, and Clément Lacroûte, YAO 2017, 23rd Young Atom Opticians conference, 16-21 July 2017, Paris, France.

“Characterization of the Phase-Noise induced by an Optical Frequency Doubler”, M. Delehaye, J. Millo, P.-Y. Bourgeois, L. Groult, A. Bakir, R. Boudot, E. Rubiola, E. Bigler, V. Giordano, Y. Kersalé and C. Lacroûte, NACTI 2017, 1st North American Conference on Trapped Ions, August 14 - 18 2017, Boulder, USA.

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

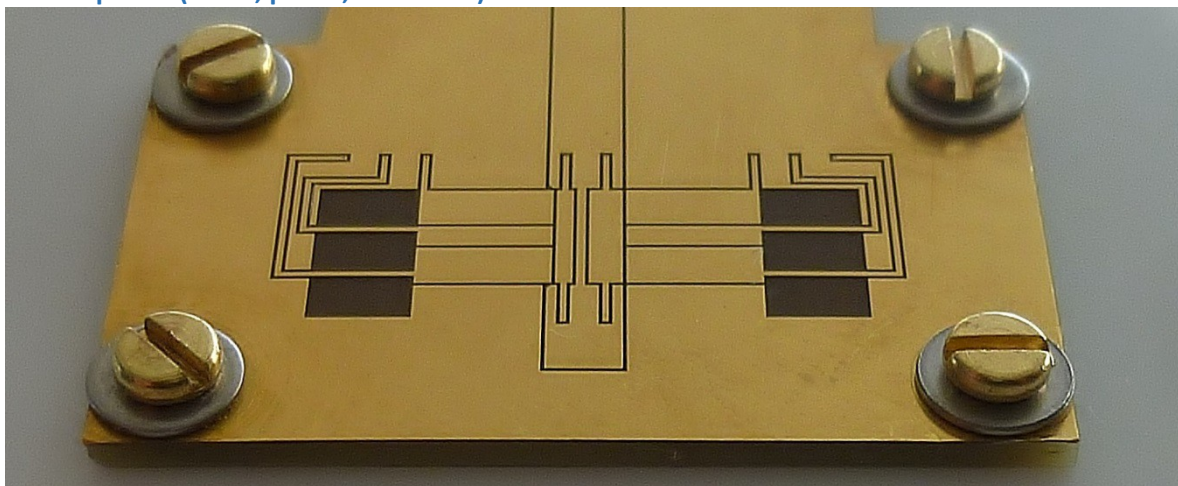
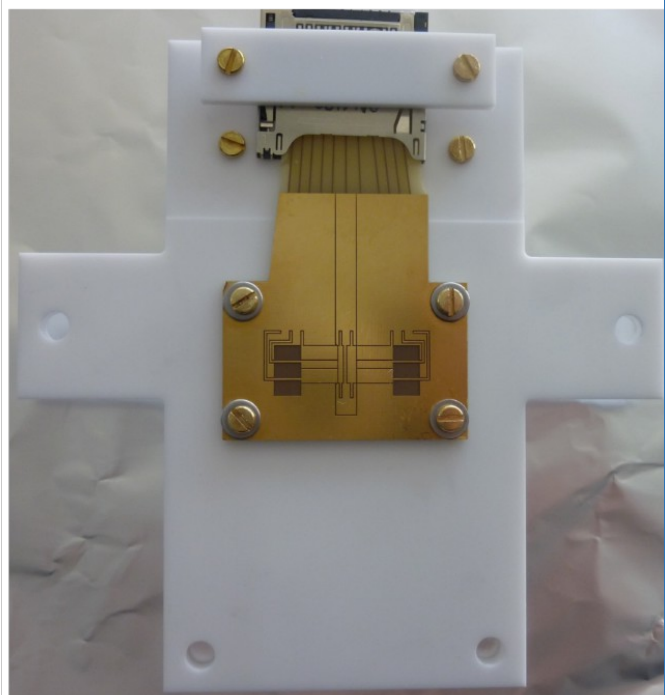
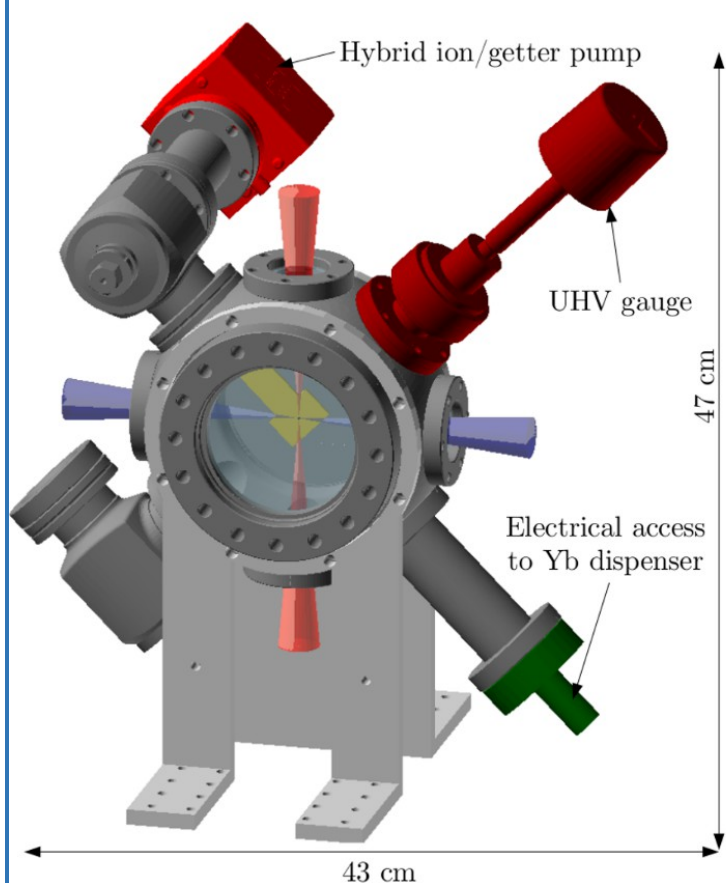


Photo de la puce de piégeage. Au centre, les électrodes rectangulaires généreront le champ RF de piégeage.



A gauche, schéma de l'enceinte à vide, présentant la pompe à vide, la jauge, la source d'Ytterbium (*dispenser*) et les faisceaux laser. A droite, photographie de la puce sur son support.