

Horloge compacte à atomes froids RubiClock

Compact cold atom clock RubiClock

Porteur(s) : D. Holleville (SYRTE)

Partenaire(s) : B. Pelle et B. Desruelle (MUQUANS)

Résumé du projet en Français :

Le projet RubiClock concerne le développement d'un démonstrateur d'horloge compacte à atomes froids de rubidium. Cette horloge, à vocation industrielle, exprime le meilleur compromis performances / robustesse / compacité. Basée sur le concept HORACE (horloge à refroidissement en lumière isotrope), l'horloge RubiClock voit ses performances métrologiques encore améliorées lorsqu'elle fonctionne en microgravité, la rendant particulièrement bien adaptée pour des applications spatiales telles que Galileo.

L'étude s'est donc déroulée en 3 étapes :

- Développement du démonstrateur et validation de son fonctionnement et des technologies mises en œuvre au cours de 2 campagnes de vols Og. Cette phase a permis de démontrer à la fois la capacité de l'horloge à fonctionner dans un environnement bruyant tel qu'un avion en vol, et l'accès à des durées d'interrogation de Ramsey de plusieurs centaines de ms en microgravité, alors qu'elles sont limitées par le temps de chute des atomes à 50 ms au sol.
- Caractérisation métrologique du démonstrateur, et optimisation de sa stabilité coût et long terme. La plupart des effets ont été investigués (effet Dick, champ magnétique, cavity pulling, gradients de phase, etc.), et la stabilité a ainsi pu être améliorée à $3.10^{-13} \tau^{-1/2}$, s'améliorant encore jusqu'à 3.10^{-15} .
- Transfert industriel de cette horloge vers la société Muquans. Ce transfert a été initié dès le début du projet et grâce au soutien de l'industriel, nous a permis de développer le démonstrateur Og en un temps record. Riche de cette expérience et des résultats obtenus sur ce démonstrateur, Muquans a ainsi pu démarrer le développement de son premier prototype d'horloge qui est actuellement en cours d'évaluation métrologique au SYRTE.

Abstract in English:

The RubiClock project concerns the development of a compact clock using cold rubidium atoms. This clock expresses the best compromise between performance / robustness / compactness and is dedicated to industrial developments. Based on the HORACE concept (isotropic light cooling), RubiClock sees its metrological performances further improved when it operates in microgravity, making it particularly well suited for space applications such as Galileo.

The study was conducted in 3 steps:

- Development of the demonstrator and validation of its operation and technologies implemented during 2 Og flight campaigns. This phase demonstrated both the ability of the clock to operate in a noisy environment such as a plane in flight, and capability to reach Ramsey interrogation times of several hundred ms in microgravity, instead it is limited by the fall time of atoms at 50 ms on the ground.
- Metrological characterization of the demonstrator, and optimization of its short-term and long-term stability. Most of the effects have been investigated (Dick effect, magnetic field, cavity pulling, phase gradients, etc.), and the stability has been improved at $3.10^{-13} \tau^{-1/2}$, improving with time up to 3.10^{-15} .
- Industrial transfer of this clock to the Muquans society. This transfer was initiated from the beginning of the project and thanks to the support of Muquans, allowed us to develop the Og demonstrator in very short time. Thanks to this experience and the results obtained on this demonstrator, Muquans was able to start the development of its first clock prototype which is currently being evaluated by SYRTE.

Résultats marquants :

- Fonctionnement du démonstrateur RubiClock lors de 5 vols 0g.
- Mise en évidence de temps de Ramsey allant jusqu'à 500 ms en microgravité.
- Asservissement de l'oscillateur local sur la transition d'horloge durant un vol complet (10.000 secondes, 31 phases 0g, 62 phases 2g).
- Optimisation de la stabilité court terme jusqu'à $3.10^{-13} \tau^{-1/2}$ avec un oscillateur local commercial.
- Caractérisation de la stabilité long terme jusqu'à 3.10^{-15} en 3.10^4 secondes.
- Transfert industriel réalisé et premier prototype industriel finalisé.

Highlights:

- Operation of the RubiClock demonstrator during 5 0g flights.
- Demonstration of Ramsey times of up to 500 ms in microgravity.
- Locking the local oscillator on the clock transition during a complete flight (10,000 seconds, 31 phases 0g, 62 phases 2g).
- Optimization of short-term stability up to $3.10^{-13} \tau^{-1/2}$ with a commercial local oscillator.
- Characterization of long-term stability up to 3.10^{-15} in 3.10^4 seconds.
- Industrial transfer made and first industrial prototype finalized.

Publications and communications linked with the funded project:

Proceedings:

S. Micalizio et al, "Compact Clock for Industrial Applications: the EMRP Project IND 55 MClock", IFCS-EFTF 2015, Besançon, France

B. Pelle, B. Desruelle, R. Szmuk, D. Holleville, "Cold-atom-based commercial microwave clock at the 10E-15 level", proceeding EFTF 2017, Besançon, France

Oral communications:

L. De Sarlo, S. Bernon, B. Battelier, N. Castagna, M. Lours, D. Holleville, B. Desruelle, and N. Dimarcq, "Rubiclock: a cold -atom based compact clock short term stability and long term perspectives", EFTF 2013, Prague, Czech Republic

L. De Sarlo, M. Langlois, D. Holleville, M. Lours, N. Dimarcq, J.-F. Schaff, S. Bernon, B. Desruelle, "Preliminary test of a cold-atom based clock prototype on a microgravity platform: Rubiclock on the A-300 0g", EFTF 2014, Neuchâtel, Switzerland

M. Langlois, J.F. Schaff, L. De Sarlo, S. Bernon, D. Holleville, N. Dimarcq, "Compact cold atom-based clock for on board timebases : test in microgravity", IFCS-EFTF 2015, Besançon, France

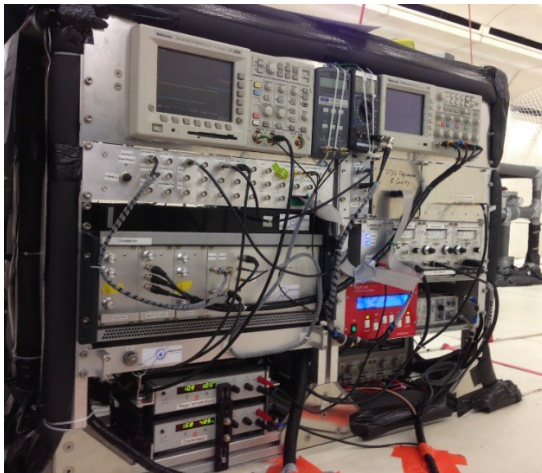
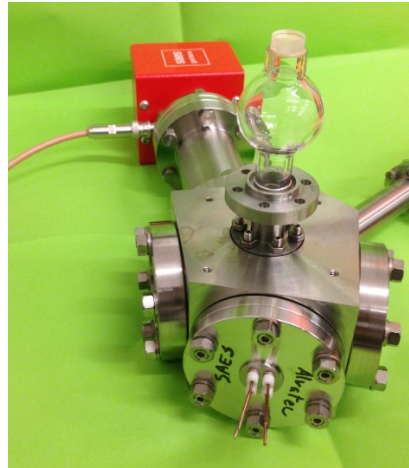
S. Micalizio et al, "Compact Clock for Industrial Applications: the EMRP Project IND 55 MClock", IFCS-EFTF 2015, Besançon, France

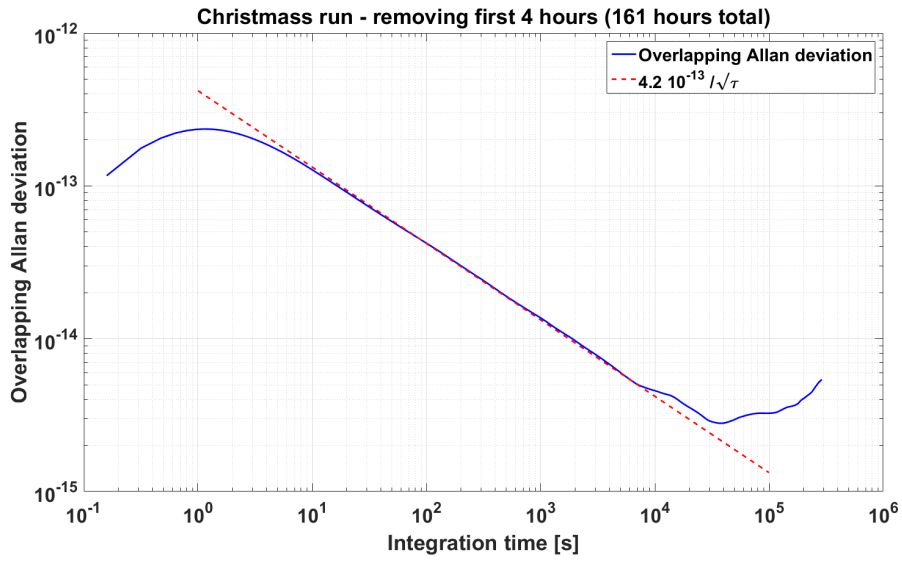
B. Pelle, B. Desruelle, R. Szmuk, D. Holleville, "Cold-atom-based commercial microwave clock at the 10E-15 level", EFTF 2017, Besançon, France

Invited talks:

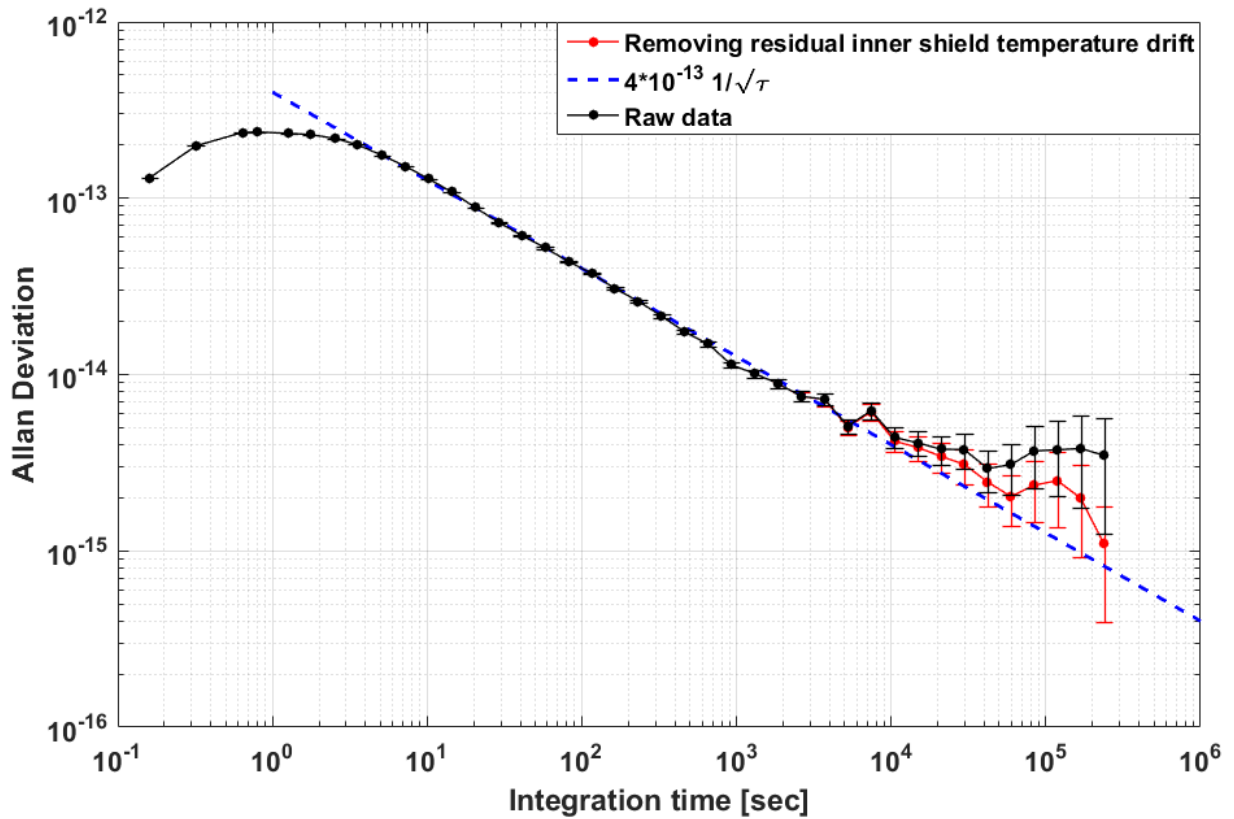
R. Szmuk *et al*, title to be defined, EFTF 2018, Torino, Italy

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





Incertitude de fréquence du démonstrateur RubiClock



Incertitude de fréquence actuelle du prototype industriel MuClock 00