

## ***Soutenance de thèse de François-Xavier Esnault***

" Etudes des performances ultimes d'une horloge compacte à atomes froids - optimisation de la stabilité court terme".

### ***Résumé***

Les étalons atomiques de fréquences jouent aujourd'hui un rôle clé en physique fondamentale mais se retrouvent aussi dans des applications « grand public » telles que les satellites de positionnement. Les contraintes de compacité posées sur ces horloges embarquées sont évidemment très grandes mais les besoins actuels poussent vers des horloges toujours plus performantes.

Le projet HORACE (HORloge à Refroidissement d'Atomes en CEllule) permet, grâce à l'utilisation d'atomes refroidis par laser et à une géométrie originale où toutes les interactions ont lieu directement dans la cavité micro-onde, d'obtenir d'excellentes performances en fréquence tout en préservant la compacité et la simplicité globale du dispositif. Ce mémoire expose les concepts fondateurs du projet HORACE. Il décrit par la suite la réalisation expérimentale du premier prototype à vocation métrologique de l'horloge HORACE. Il présente l'évaluation expérimentale et l'optimisation de la stabilité court-terme de l'horloge réalisée au laboratoire. L'étude de la séquence de refroidissement d'atomes en lumière isotrope a montré qu'environ  $2 \cdot 10^8$  atomes à une température de 35  $\mu$ K pouvaient être obtenus. Par ailleurs, la très grande stabilité de cette technique permet d'observer que les fluctuations cycle à cycle du nombre d'atomes froids sont principalement limitées par le bruit de grenaille atomique, et ce jusqu'au niveau de  $2 \cdot 10^{-4}$ . Cette grande stabilité a conduit à une simplification notable de la séquence expérimentale (refroidissement et détection) tout en préservant un rapport signal à bruit proche de 1000 en fonctionnement.

L'horloge a montré une stabilité relative de fréquence de  $2,2 \cdot 10^{-13} t^{-1/2}$  s'intégrant comme du bruit blanc jusqu'à quelques milliers de secondes. C'est à ce jour une des meilleures stabilités obtenues sur une horloge compacte. Ce résultat a pu être obtenu grâce à un fonctionnement où une partie des atomes froids sont recapturés d'un cycle à l'autre. Ceci permettant de réduire la durée de la phase de refroidissement jusqu'à 40 ms et d'obtenir in fine un rapport cyclique proche de 50%. La possibilité de faire fonctionner l'horloge à un taux de répétition élevé (12 Hz) relâche aussi les contraintes sur les spécifications en bruit de fréquence de l'oscillateur à quartz utilisé à terme.

Enfin, les conclusions de cette étude sont extrapolées afin de prédire les performances attendues pour un fonctionnement en micro-gravité.

Mots-clefs

refroidissement laser, horloges atomiques, horloge embarquées, stabilité de fréquence