

Sujet de thèse :

Liens optiques fibrés pour les comparaisons internationales d'horloges optiques et micro-onde

Contexte : La mesure du temps est basée aujourd'hui sur les fontaines atomiques, qui mettent en œuvre la définition de l'unité de temps, la seconde, basée sur une transition de l'atome de césium dans la gamme micro-onde de fréquence. Une nouvelle génération d'horloges atomiques, dites « optiques » car basées sur des transitions dans la gamme optique, dépasse les performances des horloges micro-ondes par jusqu'à deux ordres de grandeur et les supplantera certainement à l'avenir. Pour pouvoir exploiter ces horloges optiques il est essentiel de pouvoir les comparer entre eux et de diffuser les échelles de temps et les références de fréquence qu'ils génèrent à leurs utilisateurs. Or les méthodes de comparaison d'horloges qui sont dominantes aujourd'hui, utilisant des signaux satellitaires, sont loin de fournir les performances nécessaires. La distribution et la comparaison d'étalons de fréquence optique ultra-stables et d'échelles de temps ont été grandement améliorées depuis dix ans par l'emploi de fibres optiques. En effet, la stabilité de fréquence et l'exactitude des liens optiques fibrés surpassent de plusieurs ordres de grandeur les méthodes satellitaires.

Les recherches conduites conjointement au LNE-SYRTE (Systèmes de Référence Temps-Espace, Observatoire de Paris, Paris) et au Laboratoire de Physique des Lasers (Université Paris 13, Villetaneuse) ont pour objectif de mettre au point un ensemble de liaisons optiques pour transférer une référence de fréquence optique par les fibres optiques du réseau Internet, sans dégradation significative de ses performances métrologiques. Aujourd'hui deux liaisons avec les instituts de métrologie allemand et anglais sont établies, combinant des chaînes d'amplificateurs optiques et des stations lasers de régénération opérées à distance. Le réseau continue à se développer, notamment dans le cadre du projet REFIMEVE+, un équipement d'excellence du programme des Investissements d'Avenir, qui vise à délivrer une référence de fréquence optique à une vingtaine de laboratoires répartis sur tout le territoire métropolitain, via le réseau Internet de RENATER. Dans ce contexte, le projet de recherche européen OFTEN programme sur 3 ans la comparaison régulière des horloges optiques et micro-ondes entre le LNE-SYRTE et les instituts de métrologie anglais et allemand par liens optiques fibrés. Ce travail vise à établir pour la première fois un ensemble de comparaisons des horloges optiques développées en Europe avec une résolution de comparaison inférieure à 10^{-18} , à oeuvrer vers une redéfinition de la seconde du Système International d'unités, à étudier les effets relativistes affectant la fréquence des horloges et à rechercher d'éventuelles variations temporelles des constantes fondamentales. Dans la même période, la mission spatiale ACES implémentera un nouveau lien de comparaison d'horloges par satellites, dont il sera important de comparer les performances avec celles les liens optiques fibrés.

Dans le cadre de OFTEN nous proposons un sujet de thèse qui permettra de contribuer à ces travaux qui sont à la pointe des progrès au niveau international.

Contenu de la thèse :

Travail expérimental : La réalisation des campagnes de comparaisons demande l'implémentation d'un système opto-électronique complexe, abouti et fiable, opérationnel à la demande pour des

campagnes de mesures de près d'un mois, impliquant des lasers ultra-stables, plusieurs boucles à verrouillage de phase et le contrôle des synthèses de fréquence, ainsi que des systèmes interférométriques de détection. Le ou la doctorant(e) aura à charge de concevoir et tester de nouveaux systèmes interférométriques pour les besoins de l'expérience.

Modélisation : Un travail important est à accomplir pour augmenter la robustesse des liens optiques. Le ou la doctorant(e) réalisera une analyse fine du modèle de propagation et de la compensation des bruits, afin de mettre en place des outils de diagnostic astucieux et une procédure d'optimisation du lien optique, en maintenant le point de fonctionnement optimal.

Traitement de données : Le ou la doctorant(e) contribuera à la mise en place d'un traitement automatisé des données, rendu nécessaire par la multiplication des liens, y compris pour le diagnostic des défauts et des pannes, avec la création d'une base de données.

Exploitation des données : Le ou la doctorant(e) contribuera à l'exploitation scientifique des données des liens fibrés pour les campagnes de comparaison d'horloges, pour les tests des effets relativistes et pour la comparaison avec la mission ACES.

Communication scientifique : Rédaction d'articles dans des revues à comité de lecture et présentation des résultats à des conférences internationales.

Profil/compétences recherchées :

- Optique, optique guidée
- Traitement du signal, traitement de données, modélisation, simulation numérique
- Fort goût pour l'instrumentation et la technique
- Cursus général en physique fondamentale
- Techniques de contrôle distant
- Anglais fluide

Environnement :

Au sein du groupe Fréquences Optiques du LNE-SYRTE, l'équipe de recherche sur les liens fibrés est constituée d'un ingénieur de recherche senior, d'un astronome, d'un ingénieur de recherche confirmé, d'un post-doc, d'une doctorante. L'équipe travaille en étroite collaboration avec celles en charge des horloges micro-ondes et optiques, des comparaisons d'horloges par satellites, le groupe de théorie en métrologie, les services d'électronique et d'informatique. Elle travaille également en étroite collaboration avec l'équipe du Laboratoire de Physique des Lasers constituée d'une professeur, d'un ingénieur de recherche sénior, d'une post-doctorante.

Situé à l'Observatoire de Paris, le SYRTE - Systèmes de Référence Temps-Espace - est une unité mixte de recherche (UMR 8630) du CNRS, de l'Observatoire de Paris - PSL Research University et de l'Université Pierre & Marie Curie (Paris 6) - Sorbonne Universités. Le SYRTE est un laboratoire pluridisciplinaire alliant plusieurs compétences transverses - théorie, instrumentation, traitement et analyse de données, au service de ses objectifs qui vont de la physique fondamentale jusqu'au transfert industriel.

Le LNE-SYRTE, un des 3 pôles du SYRTE, est chargé par le Laboratoire National de Métrologie et d'Essais (LNE) de la responsabilité des références nationales françaises de temps et de fréquence. Avec des travaux de recherche de haut niveau dans la plupart des thématiques majeurs du domaine, il fait partie des quelques laboratoires leaders au niveau mondial.

La thèse est financée à 100 % sur contrat de recherche.

Pour en savoir plus :

Site web du SYRTE : <https://syрте.obsрm.fr>

Site web de l'équipe : <https://syрте.obsрm.fr/spip/science/fop/experiences/article/liens-optiques-ultra-stables>

Article paru dans Reflets de la Physique : <http://dx.doi.org/10.1051/refdp/20164748091>