

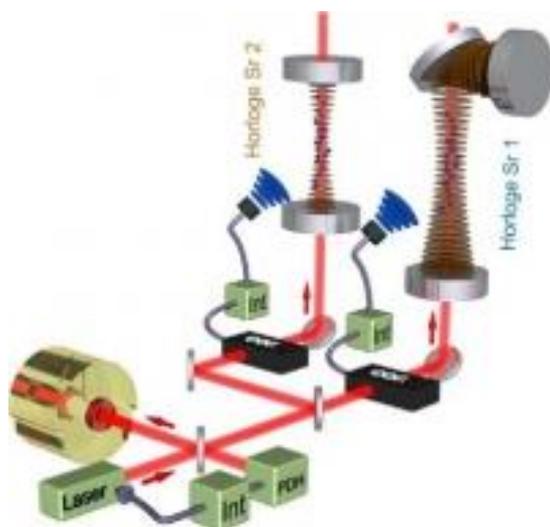
Horloges à réseau optiques : vers une redéfinition de la seconde ?

Mercredi, 10 juillet 2013

La définition de l'unité fondamentale de temps, la seconde, basée depuis 1967 sur la période d'oscillation de l'atome de césium, pourrait bientôt évoluer : des chercheurs de l'équipe « Fréquences Optiques » du laboratoire Systèmes de référence temps-espace (SYRTE, CNRS/LNE/UPMC/Observatoire de Paris) ont démontré que leurs deux horloges optiques à atomes neutres sont en accord à un niveau surpassant la précision de la définition actuelle de la seconde. Ces travaux font l'objet d'une publication dans la revue *Nature Communications*.

Les unités de mesure fondamentales, telles que le mètre, l'ampère ou la seconde, permettent de mesurer toute quantité physique. La précision avec laquelle elles sont définies est l'enjeu de nombreux travaux scientifiques, et a mené à d'importantes innovations technologiques. Les horloges embarquées dans les satellites des systèmes de positionnement, comme GPS ou Galileo, permettent ainsi de trouver la localisation d'un point sur Terre avec une précision centimétrique.

Depuis 1967, la seconde est définie à partir de la fréquence de résonance d'une transition énergétique micro-onde très stable de l'atome de césium (9,2 GHz). Un nouveau champ de recherche, qui s'est développé depuis 10 ans, consiste à confiner des atomes dans un piège de lumière, dit « réseau optique », et à étudier leur transition à des fréquences beaucoup plus élevées, dans le domaine optique (10¹⁵ Hz).



Comparaison directe des deux horloges optiques au strontium du laboratoire SYRTE : un laser très étroit spectralement sonde les atomes des deux horloges pour confirmer qu'elles sont en accord. © LNE-SYRTE

L'équipe de Jérôme Lodewyck et Rodolphe Le Targat, du laboratoire Systèmes de référence temps-espace (SYRTE, CNRS/LNE /UPMC/Observatoire de Paris), a construit deux horloges à réseau optiques fonctionnant avec des atomes de strontium. Ils ont démontré d'une part que ces horloges avaient une connexion très stable avec les trois étalons primaires au césium de l'Observatoire, et d'autre part que ces deux dispositifs étaient en accord au niveau de 16 chiffres significatifs, soit un niveau surpassant la définition actuelle de la seconde.

Cette première mondiale est une étape très importante en direction d'une possible redéfinition de la seconde. Ces recherches s'inscrivent dans un contexte international très compétitif, dans lequel plusieurs horloges optiques, à atomes neutres ou à ions uniques, ont progressé de façon spectaculaire et apparaissent ainsi comme des candidats très sérieux. La précision sans cesse accrue de ces dispositifs ouvrent des perspectives extraordinaires, notamment en physique fondamentale (tests de relativité

générale) et en sciences de la Terre (géodésie relativiste). Les horloges à réseau optiques du SYRTE vont bientôt être comparées à celles d'autres laboratoires européens par le biais d'un réseau de fibres optiques. Elles seront également au coeur des comparaisons avec l'horloge de la mission spatiale PHARAO-ACES supervisée par le CNES et l'ESA, qui sera placée dans la station spatiale internationale début 2016, et dont les retombées seront importantes tant sur le plan des résultats qu'en termes de promotion des sciences auprès des différents publics.

<http://www.metrologie-francaise.fr/fr/publications/fiches-projets/SIB-TF-04.pdf>

Les horloges atomiques optiques les plus avancées ont maintenant atteint des niveaux de stabilité et d'exactitude qui surpassent les performances des meilleurs étalons primaires actuels, les fontaines à césium. L'horloge optique Al⁺ au NIST a une incertitude relative estimée inférieure à 10⁻¹⁷, et plusieurs autres horloges optiques ont également atteint des incertitudes sous les 10⁻¹⁶. Par conséquent, une redéfinition de la seconde SI est activement étudiée par la communauté internationale de métrologie. Ce projet aborde les étapes essentielles qui doivent être effectuées avant qu'une telle redéfinition puisse avoir lieu, et permettra ainsi aux NMI européen de jouer un rôle influent dans les débats internationaux sur cette question.

La condition sine qua non pour une redéfinition de la seconde du SI est l'intégration des horloges optiques à atomes dans les échelles de temps internationales TAI (Temps Atomique International) et UTC (temps universel coordonné). Cela nécessite un programme coordonné de comparaisons de fréquence d'horloge à effectuer pour valider les budgets d'incertitudes des horloges optiques, et pour ancrer leurs fréquences sur la définition actuelle de la seconde avec l'incertitude la plus faible possible. Un tel programme de comparaison aidera aussi à établir quelles sont les transitions atomiques pouvant prétendre à la nouvelle définition ou sa mise en pratique. Très peu de données de comparaisons sont disponibles à ce jour : presque toutes les informations sur la reproductibilité des horloges optiques proviennent de mesures indépendantes de fréquence absolue effectuées dans différents laboratoires, et donc limitées par l'incertitude des fontaines à atomes de césium, étalons primaires de la seconde.