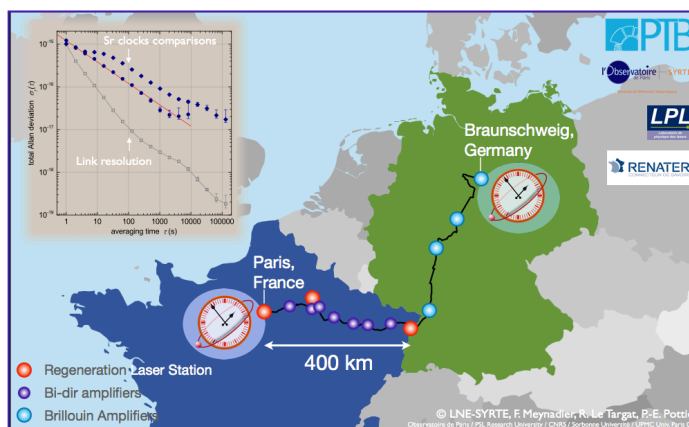


En partenariat avec :



Liens optiques fibrés : une nouvelle ère de la métrologie temps-fréquence s'ouvre

Des physiciens français du Systèmes de référence temps-espace (CNRS/Observatoire de Paris/UPMC, associée au LNE) et du Laboratoire de physique des lasers (CNRS/Université Paris 13) et allemands du Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) ont établi une liaison optique entre la France et l'Allemagne avec le soutien crucial de RENATER: les fréquences optiques peuvent maintenant être comparées par un lien de 1400 km avec une résolution record reliant les deux instituts de métrologie LNE-SYRTE et PTB, où les horloges Sr à réseau optique les plus performantes d'Europe sont opérées. Le nouveau lien est utilisé pour comparer ces deux horloges distantes géographiquement de 700 km avec une incertitude fractionnaire de 5×10^{-17} , un record sur cette distance. Les fréquences absolues des deux horloges sont en accord aux incertitudes de mesure près. Cette comparaison est 20 fois plus précise que ce qui est atteint par GPS, et la mesure est 10 000 fois plus rapide pour la même résolution. C'est une étape majeure vers de futures applications en physique fondamentale, astrophysique et géoscience.



Durant ces dernières années, des progrès spectaculaires ont été accomplis pour les horloges atomiques optiques, où un laser est utilisé pour sonder la transition de référence entre deux niveaux quantiques d'un atome. Ces horloges optiques sont maintenant 100 fois plus précises que les horloges micro-ondes utilisées pour définir la seconde du Système International d'unités. Si ces horloges peuvent être comparées localement avec une grande précision, les comparer entre elles sans dégradation quand elles sont éloignées reste un défi, les méthodes conventionnelles par satellite manquant grandement de précision.

Pour relever ce défi, l'idée des chercheurs est simple : la fréquence du laser d'horloge peut être comparée localement à la fréquence d'un laser émettant à une longueur d'onde des télécommunication vers 1.5 micromètre, ce dernier laser pouvant être injecté dans une fibre optique reliant les deux horloges optiques. Le lien est établi grâce au partenariat crucial avec le réseau pour l'Éducation et la Recherche RENATER, où le signal métrologique est propagé de Paris jusqu'à Strasbourg en parallèle du trafic internet, puis interconnecté à la partie allemande du lien. Le lien de Strasbourg à Braunschweig utilise pour sa part une fibre dédiée louée auprès d'un opérateur privé et des installations fournies par le réseau pour l'Éducation et la Recherche allemand DFN. Ensemble, les chercheurs ont construit un lien optique de 1400 km.

Les défis techniques reviennent alors à compenser l'atténuation et les bruits dû à la propagation dans la fibre. Pour ce faire, les chercheurs du PTB, LNE-SYRTE et du LPL ont conçus et installés des amplificateurs spéciaux et des stations de re-génération optique, et fait en sorte que ces fluctuations deviennent négligeables. Ils ont montré que cette méthode optique atteint une résolution de 10^{-19} , c-à-d. 10 000 fois mieux que le GPS, ce qui est largement assez pour comparer les horloges quantiques du SYRTE et du PTB. Ce niveau de résolution atteint par cette collaboration internationale est tout simplement hors de portée à ce jour des méthodes satellitaires, et permet, et ce n'est pas le moindre, des mesures beaucoup plus rapides.

Le lien est utilisé pour comparer deux horloges optiques, sondant des atomes froids de Strontium. Il s'agit de la première comparaison internationale entre deux horloges optiques : complètement indépendantes, les deux horloges s'accordent avec une incertitude fractionnaire record à cette distance de 5×10^{-17} , ce qui démontre la bonne maîtrise des effets affectant l'exactitude de la fréquence d'horloge. Comparer des horloges à très haut niveau de résolution ouvre la voie à de nombreuses expériences ultra-sensible de physique. Dans le futur, le niveau de précision des horloges optiques devraient dépasser 10^{-18} , c-à-d. 1 milliardième de milliardième. A ce niveau de précision, les comparaisons d'horloges seront extrêmement sensible à leur élévation, au niveau du centimètre, ce qui pourrait dépasser la précision des meilleurs méthodes de géodésie actuelles, et ouvre le champ de la géodésie chronométrique. Ainsi ces horloges quantiques en réseau vont devenir des capteurs ultra-sensible du champ gravitationnel.

L'impact scientifique de cette capacité à transmettre sans dégradation des fréquences optiques sera très importantes pour de nombreuses autres applications, comme par exemple des tests de relativité générale utilisant des horloges sur Terre et dans l'Espace à bord de la station internationale ISS (cf. Mission spatiale ACES), pour des tests fondamentaux de physique à la recherche de la matière noire ou de la constance des constantes fondamentales, pour la synchronisation d'expériences sur de grandes longueurs de base, et pour des mesures de spectroscopie ultra-précise. Le projet REFIMEVE+ est à l'oeuvre en France pour disséminer une référence de fréquence optique à une vingtaine de laboratoire répartis sur le territoire national, à travers 4000 km de fibre du réseau RENATER. Des versions industrielles des équipements scientifiques utilisés sur le lien Paris-Strasbourg sont développés à cette fin par un consortium de trois PME française, MuQuans (coordinateur), Syrlinks and Keopsys. Au niveau européen cette collaboration réussie est un premier pas vers la construction d'un réseau métrologique européen d'horloges quantiques, où l'U.E. pourrait jouer un rôle déterminant dans la future re-définition de l'unité de temps, la seconde.

Les partenaires suivants sont impliqués dans ce travail hautement collaboratif: Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Laboratoire de Physique des Lasers (Université Paris 13/Sorbonne Paris Cité/CNRS), LNE-SYRTE (Observatoire de Paris/PSL Research University/CNRS/Sorbonne Université/UPMC Univ. Paris 06/Laboratoire National de Métrologie et d'Essais), RENATER, Laboratoire de Photonique Numérique et Nanosciences (Institut d'Optique Graduate School, CNRS, Université de Bordeaux), and GIP RENATER ([CNRS/CPU/CEA/INRIA/CNES/INRA/INSERM/ONERA/CIRAD/IRSTEA/IRD/BRGM/MESR](#)).

Nous remercions le soutien financier de: Agence Nationale de la Recherche ANR (ANR Blanc, PIA REFIMEVE+ and FIRST TF), Laboratoire National de Métrologie et d'Essais (LNE), Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), Conseil Régional Île-de-France (Nano-K), CNRS avec l'Action Spécifique Gravitation, Références, Astronomie, Métrologie (GRAM), ; le German Research Foundation DFG avec le RTG 1729 et le CRC 1128 geo-Q. La recherche du PTB a été soutenue par le Centre of Quantum Engineering and Space-Time Research (QUEST). De plus, les équipes de recherches ont bénéficié du soutien du European Metrology Research Programme (EMRP) (Project SIB-02 NEAT-FT).

Scientific publication:

C. Lisdat et al.: A clock network for geodesy and fundamental science. Nature Comms. 7:12443 (2016)

Contacts for the strontium clock:

Dr. Jérôme Lodewyck, LNE-SYRTE, CNRS
Phone: +33 (0) 1 4051 2224,
e-mail: jerome.lodewyck@obspm.fr

Dr. Christian Lisdat, PTB
Phone: +49 (0)531 592 4320,
e-mail: christian.lisdat@ptb.de

Contacts for the fiber link:

Dr. Paul-Eric Pottie, LNE-SYRTE, CNRS
Phone: + 33 (0) 1 4051 2222,
e-mail: paul-eric.pottie@obspm.fr

Dr. Gesine Grosche, PTB
phone: +49 (0)531 592 4318,
e-mail: gesine.grosche@ptb.de

Contact for the Network access :

Emilie Camisard, RENATER
Phone: + 33 (0) 1 5394 2040,
e-mail: emilie.camisard@renater.fr

REFIMEVE+

Christian Chardonnet, LPL
Phone : + 33 (0) 1 4940 3379
E-mail: christian.chardonnet@univ-paris13.fr

