

# Institut de physique

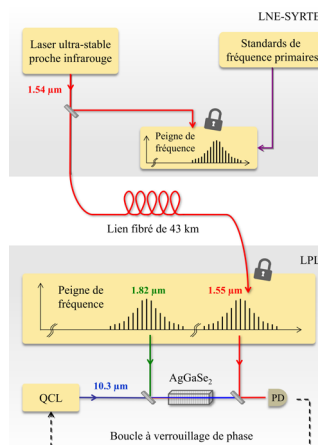
Actualités scientifiques

## Stabilisation en dessous du hertz de la fréquence d'un laser à cascade quantique

Décembre 2015

Des physiciens viennent de stabiliser en fréquence un laser à cascade quantique opérant dans l'infrarouge moyen et de réduire ainsi sa largeur de raie à moins d'un hertz. La stabilité et la précision obtenues, cent fois meilleures que l'état de l'art, permettent de réaliser des mesures spectroscopiques de très haute précision sur de nombreuses molécules.

Les lasers à cascade quantique émettent dans l'infrarouge lointain et moyen, un domaine de longueur d'onde où sont présentes de nombreuses signatures intenses de vibrations moléculaires particulièrement intéressantes. Ces lasers à semi-conducteur ont cependant une stabilité bien trop mauvaise pour être directement utilisables pour la spectroscopie de précision des molécules. En outre, dans ce domaine de fréquence, les références de fréquences potentiellement utilisables pour stabiliser ces lasers à cascade quantique sont rares et n'ont souvent pas les performances requises pour permettre une métrologie de haute précision. Des physiciens du Laboratoire national de métrologie et d'essais - Système de Références Temps-Espace - LNE-SYRTE (CNRS/Obs. de Paris/UPMC/LNE) et du Laboratoire de physique des lasers - LPL (CNRS/Univ. Paris 13) viennent de contourner cette difficulté et de stabiliser, à mieux que le hertz, un laser à cascade quantique émettant autour d'une fréquence de 30 térahertz. Ils ont pour cela utilisé comme référence la lumière provenant d'un laser ultrastable situé au LNE-SYRTE à Paris, transmise par fibre optique sur plusieurs dizaines de kilomètres jusqu'au LPL à Villefontaine. Ce résultat ouvre la voie à des mesures spectroscopiques de pointe sur des molécules à un niveau de précision jusque-là réservé aux mesures effectuées sur des atomes dans le visible ou le proche infrarouge.



Un laser proche infrarouge ultra-stable, référencé aux étalons de fréquence primaires du LNE-SYRTE, est transféré au LPL, où il est utilisé pour asservir un peigne de fréquences optique, lui-même utilisé pour stabiliser un laser à cascade (QCL) quantique émettant dans l'infrarouge moyen. Le faisceau du QCL est combiné avec une sortie à 1,82 μm d'un peigne de fréquence dans un cristal d'AgGaSe2 permettant de faire une somme de fréquence. Cette somme de fréquence est comparée à une sortie du peigne à 1,55 μm et le signal d'erreur est utilisé pour stabiliser le QCL. PD : photodétecteur.

Ce travail est publié dans la revue *Nature Photonics*.

Le laser de référence utilisé pour cette expérience est un laser ultrastable opérant dans l'infrarouge proche à une longueur d'onde de 1,55 μm. Ce laser de référence est localisé au LNE-SYRTE, à l'observatoire de Paris. Sa stabilité en fréquence à court terme est assurée par un asservissement sur un résonateur Fabry-Perot ultra-stable, tandis que son exactitude est maintenue en le comparant en permanence aux étalons primaires de fréquence à l'aide d'un peigne de fréquences optique. La lumière de ce laser, transmise du LNE-SYRTE à Paris au LPL à Villefontaine via 43 km de fibre optique permet, à son arrivée, de stabiliser un peigne de fréquence optique, c'est-à-dire une lumière composée de multiples fréquences régulièrement espacées. Parmi toutes ces fréquences, les chercheurs en sélectionnent deux, l'une centrée sur 1,55 μm, l'autre sur 1,82 μm, de sorte que la différence de fréquence entre ces deux sorties corresponde à la longueur d'onde du laser à cascade quantique, soit 10,3 μm. Pour mesurer les écarts de fréquence de leur laser, les physiciens combinent sa lumière avec celle du faisceau à 1,82 μm dans un cristal non linéaire, ce qui permet de réaliser une somme de fréquences. La lumière qui en résulte coïncide avec le peigne à 1,55 μm. Toute différence observée est alors due à des fluctuations de fréquence du laser à cascade quantique. Ces fluctuations peuvent être réduites à l'aide d'une boucle d'asservissement. Les stabilités et exactitudes relatives obtenues,  $2 \times 10^{-15}$  et  $10^{-14}$ , dépassent de près de deux ordres de grandeur celles démontrées auparavant avec des lasers à cascade quantique. Les chercheurs ont d'ores et déjà exploité ce dispositif pour des mesures de fréquences d'absorption moléculaire avec une incertitude à l'état de l'art, confirmant son potentiel pour la spectroscopie d'ultra-haute précision. Ils prévoient de l'utiliser dans le futur pour l'observation de la violation de la symétrie droite-gauche par spectroscopie de précision d'un jet de molécules chirales.

## En savoir plus

Quantum cascade laser frequency stabilization at the sub-Hz level, B. Argence<sup>1</sup>, B. Chanteau<sup>1</sup>, O. Lopez<sup>1</sup>, D. Nicolodi<sup>2</sup>, M. Abgrall<sup>2</sup>, C. Chardonnet<sup>1</sup>, C. Daussy<sup>1</sup>, B. Darquié<sup>1</sup>, Y. Le Coq<sup>2</sup> et A. Amy-Klein<sup>1</sup>, *Nature Photonics* (2015)

- Retrouvez l'article sur les bases archives ouvertes HAL et arXiv

## Contact chercheur

Benoît Darquié, chargé de recherche CNRS  
Anne Amy-Klein, professeure Université Paris 13  
Yann Le Coq, ingénieur de recherche CNRS

## Informations complémentaires

<sup>1</sup> Laboratoire de physique des lasers (LPL)

<sup>2</sup> LNE-SYRTE



www.cnrs.fr

Institut de Physique

CNRS - Campus Gérard Mégie  
3 rue Michel-Ange, 75794 Paris Cedex 16  
T 01 44 96 42 53  
inp.com@cnrs.fr  
www.cnrs.fr/inp