

Peignes de fréquences à semi-conducteurs pour la métrologie des fréquences

La thèse se déroulera au sein du groupe Métrologie, Molécules et Tests Fondamentaux (MMTF) du Laboratoire de Physique des Lasers (UMR 7538). Le projet *Peigne de fréquences compact* est consacré à l'étude de peignes de fréquences à semi-conducteurs à 1,55 μm pour la réalisation de dispositifs métrologiques compacts transportables et auto-référencés. Les applications sont nombreuses et concernent la métrologie et les liens optiques cohérents, la spectroscopie à très haute résolution, la manipulation optique des atomes et des molécules pour les technologies quantiques, l'imagerie à haute résolution, les réseaux de télécommunications optiques de très grande capacité, la génération de fréquences THz, etc...

Nos peignes de fréquences à semi-conducteurs sont des lasers InGaAs/InP Fabry-Perot à structure bâtonnets quantiques émettant à 1,55 μm sur une dizaine de nanomètres. Avec des niveaux de bruit de phase intrinsèquement bas et une forte non-linéarité, ils présentent une relation de phase stable entre les modes optiques ce qui conduit à un régime de verrouillage passif des modes sans contrôle externe. Des taux de répétition de 10 à 100 GHz ont été démontrés avec ces structures.

Nous avons développé une instrumentation dédiée à la stabilisation de ces composants et à leur caractérisation [1,2]. Le transfert de stabilité depuis une référence métrologique (par exemple celle fournie par l'Equipex Refimeve+) vers le peigne de fréquences est réalisé grâce à une injection optique stable et contrôlée à très faible puissance dans un des mode du peigne [3]. Nous avons montré que dans ces conditions, le bruit des modes optiques pouvait être fortement réduit sur l'ensemble du peigne [4,5]. Dans le but de réaliser un système autonome transportable, nous avons développé une référence de fréquence entièrement fibrée à 1,55 μm fondée sur une transition de l'acétylène détectée en cellule par spectroscopie de saturation dont la stabilité est dans la gamme des 10^{-13} de 0,1 s à 40000 s [6]. Pour le transfert vers le peigne, nous avons également développé une cavité de transfert entièrement fibrée dont les performances actuelles sont dans les 10^{-14} de 0,1 s à 1000 s. Enfin pour notre application, nous avons développé avec III-V Lab et Innoptics, un packaging dédié à la stabilisation thermique des peignes [7].

Le travail de thèse sera consacré à l'étude de l'injection optique du peigne et son effet sur sa stabilité en fréquence. L'instrumentation développée et les niveaux de stabilité atteints nous permettent dorénavant d'étudier précisément le transfert de stabilité dans le peigne de fréquence et de fixer les limites ultimes de notre approche. La stabilisation complète du peigne de fréquence nécessite le contrôle simultané de sa fréquence de répétition f_{rep} et de sa fréquence de décalage f_{ceo} . A cette fin, diverses configurations combinant injection optique et électrique seront testées et analysées. Nous estimons qu'une stabilité en fréquence de l'ensemble des modes du peigne à long terme dans la gamme des 10^{-13} est réalisable.

[1] A. Chaouche-Ramdane *et al.*, Applied Optics 56 (1), 8-14, (2017)

[2] P. Grüning *et al.*, Applied Optics 58(6) 1502-1507 (2019)

[3] A. Chaouche-Ramdane *et al.*, "Frequency Stability Transfer in Passive Quantum-dash Mode-Locked Laser Diode using Optical Injection Locking," to be submitted to JOSA B

[4] A. Chaouche-Ramdane *et al.*, CLEO Europe 2017, Munich, Allemagne (25-29 juin 2017)

[5] Amine Chaouche-Ramdane, Thèse de Doctorat de l'Université Paris 13, (2018)

[6] K. Manamanni *et al.*, CLEO Europe 2017, Munich, Allemagne (24-28 juin 2019)

[7] Projet MODIQ financé par le Labex First-TF (2018-2019)

Mots clés : injection optique, peigne de fréquences, lasers à semi-conducteurs, métrologie des fréquences optiques, fibres optiques

Contact : Vincent Roncin, +33 1 49 40 32 46, vincent.roncin@univ-paris13.fr