

Sujet de Thèse au Laboratoire de Physique des Lasers (LPL - UMR 7538)

- Références optiques autonomes et transférables sur une large bande de fréquence -

Disciplines : Physique-Matériaux-Sciences de l'ingénieur et des procédés

Avec le développement des technologies quantiques, la demande en sources laser stables en fréquence sur des grandes plages de longueurs d'ondes est de plus en plus forte. Pour la recherche fondamentale, la demande se porte sur une stabilité en fréquence des lasers à un niveau métrologique (référence) et pour la recherche appliquée, sur l'aspect compact et embarquables du dispositif.

Au sein de l'axe **Molécules, Métrologie et Tests Fondamentaux (MMTF)** du **Laboratoire de Physique des Lasers (LPL)**, nous développons un dispositif compact permettant le transfert de la stabilité d'une référence de fréquence optique autonome vers des longueurs d'ondes d'intérêt répondant aux besoins émergents dans des domaines aussi variés que la métrologie, la spectroscopie, les lidars, les capteurs, les télécommunications et les technologies quantiques.

Le dispositif est constitué d'une référence à 1542 nm sur une transition de l'acétylène avec une stabilité à long terme de qq s 10^{-14} [1]. Le transfert de la stabilité en fréquence vers d'autres longueurs d'ondes s'effectue en deux étapes. On verrouille une cavité optique fibrée sur cette référence puis on verrouille la fréquence d'un autre laser (vers lequel on veut transférer la stabilité de la fréquence) sur une autre résonance de la cavité. Avec une cavité à fibre très compacte, nous garantissons un transfert de la stabilité de fréquence au niveau de 10^{-15} de 1,4 μm à 1,6 μm [2].

Dans notre groupe, ce dispositif de transfert de stabilité est destiné à stabiliser un peigne de fréquence lui aussi compact, basé sur une diode laser Fabry-Perot à semiconducteur InGaAs à bâtonnets quantiques générant un peigne centré sur 1550 nm de 125 dents espacées précisément de 10,01 GHz. Ce peigne de fréquences peut alors être stabilisé en fréquence par injection optique d'un laser verrouillé sur la cavité de transfert [3].

Les peignes à semiconducteurs ont de nombreuses des applications, notamment dans les domaines des télécommunications optiques (synchronisation des réseaux), de la défense (génération de porteuse RF sur fibre pour les radars), de la métrologie (peigne transportable) ou des technologies quantiques.

La thèse proposée présente deux volets dont les volumes pourront varier selon le profil et l'intérêt du candidat :

1. Le premier volet concerne l'étude détaillée et systématique des bruits dans les peignes à semiconducteurs pour en comprendre les mécanismes physiques et réaliser leur correction pour une stabilisation efficace du peigne (on utilisera l'injection optique d'un laser monofréquence stabilisé).
2. Le second volet consiste à améliorer les performances en stabilité du laser d'injection, en améliorant la référence (laser verrouillé en fréquence sur une transition de l'acétylène détectée en absorption saturée) et le transfert de stabilité vers le peigne de fréquences.

Méthodologie

Pour atteindre les performances ultimes en termes de stabilité de la référence de fréquence optique, nous développerons des techniques de correction et de détection du signal moléculaire pour l'amélioration du rapport signal à bruit des signaux détectés. Nous analyserons également l'origine des instabilités du dispositif de transfert de stabilité constitué d'une cavité à fibre optique de grande finesse, thermalisée, afin de garantir le niveau de stabilité relative de $5 \cdot 10^{-15}$ sur plusieurs dizaines de nm et sur des temps de plusieurs dizaines d'heures. La stabilisation du peigne de fréquence pourra être également améliorée en combinant injection optique avec injection électrique à la fréquence de répétition du peigne (PLL optoélectronique).

Cette thèse (la quatrième sur cette activité) bénéficie d'un contrat doctoral garanti. Elle s'inscrit dans le cadre de plusieurs projets avec des partenaires industriels et académiques (CNRS, Institut FOTON, Thales Research & Technology, EXAIL). Ces projets ont pour objet de réaliser des briques technologiques compactes et performantes pour de nombreuses applications à 1550 nm (capteurs, métrologie, instrumentation). En étendant le transfert de la stabilité de la référence à d'autres longueurs d'ondes, de tels dispositifs permettront de répondre aux besoins d'une grande variété d'applications :

- Vers le visible avec la préparation et l'interrogation de systèmes atomiques et moléculaires tels que horloges, capteurs inertiels, sources de photons uniques, technologies quantiques,
- Vers le moyen infrarouge avec la spectroscopie de haute résolution.

Compétences attendues

- Goût pour l'expérimentation et le travail en équipe, ponctualité, disponibilité, motivation.
- Connaissances en dispositifs fibrés et en instrumentation laser, ainsi que des notions en électronique analogique et traitement du signal.

Références

[1] K. Manamanni et al., Limitations due to residual interferences in fiber-based optical frequency reference at 1.55 μm , JOSA B 39(2) 438-443, 2022 - doi.org/10.1364/JOSAB.442302

[2] T. Steshchenko et al., Limitations of the frequency stability transfer in the near infrared using a fiber-based ring cavity, OL 47, 5465-5468, 2022 - [doi:10.1364/OL.472887](https://doi.org/10.1364/OL.472887)

[2] K. Manamanni et al, Frequency Stability Transfer in Passive Mode-Locked Quantum-dash Laser Diode using Optical Injection Locking, JQE, vol. 58, no. 4, pp. 1-9, Aug. 2022, Art no. 1300409, 2022 - [doi: 10.1109/JQE.2022.3145867](https://doi.org/10.1109/JQE.2022.3145867)

Contact

Vincent RONCIN (MCF Habilité à diriger des Recherches) et Frédéric Du-Burck (Professeur), vincent.roncin@univ-paris13.fr, +33 149 403 382

Dates :

Durée financement : 36 mois

Début : septembre 2023

Lieu de la thèse :

Laboratoire de Physique des Lasers – 99 avenue JB Clément – 93430 VILLETANEUSE
Campus de l'Université Sorbonne Paris Nord, site de VILLETANEUSE, Accès Campus par Tram T8 et T11 (depuis M13, RER B, RER C et ligne H).

<http://www-lpl.univ-paris13.fr/FR/>