

Laser stabilisé sur un mini-résonateur fibré

Arnaud Fernandez¹, Gilles Bailly¹, Mokhtar Korti¹, Alexis Bougaud¹, Julien Roul¹, Olivier Llopis¹,
Julien Lumeau², Antonin Moreau²

¹LAAS-CNRS, Université de Toulouse, CNRS, UPS, 7 avenue du Colonel Roche, 31400 Toulouse

²Institut Fresnel, Faculté des Sciences St Jérôme, Avenue Escadrille Normandie-Niémen, 13013 Marseille

Le résonateur optique est un composant essentiel des applications optiques-hyperfréquences, du moins lorsqu'il présente un coefficient de qualité suffisant par rapport à ceux disponibles dans le domaine électronique. Il permet par exemple la stabilisation d'oscillateurs opto-électroniques ou le filtrage micro-onde sur porteuse optique. Lorsqu'il est de dimensions suffisamment faibles et présente un intervalle spectral libre (ISL) dans le domaine micro-onde, il peut également être utilisé comme un peigne de fréquence passif : en verrouillant deux lasers sur des résonances, on réalise une source accordable pour des applications de type spectroscopie millimétrique ou THz [1]. Enfin, dans le domaine optique cette fois, un laser compact à très faible bruit de fréquence (ou de phase) est un composant particulièrement recherché pour des applications de métrologie ou des lidars.

Suivant la technologie choisie, un compromis est nécessaire entre la performance du résonateur en termes de coefficient de qualité ou de finesse et sa facilité de couplage ou d'intégration dans un système. Les résonateurs à modes de galerie, par exemple, présentent des coefficients de qualité de l'ordre de 10^9 mais restent très difficiles à coupler à un guide optique. A l'inverse, les résonateurs 2D sont largement utilisés en optique intégrée mais sont limités en performances. Nous avons choisi pour ces travaux une technologie alternative qui permet un couplage naturel à la fibre tout en atteignant des coefficients de qualité Q de l'ordre de 10^7 à 10^8 et des finesesses F de l'ordre de 500 à 1000. Cette technologie a déjà été utilisée pour générer des peignes de fréquence par effet Kerr [2] et présente un fort potentiel aussi bien pour des applications où le résonateur fonctionne en mode linéaire que non-linéaire.

Ces résonateurs Fabry-Pérot fibrés sont constitués d'un tronçon de fibre optique délimité par deux miroirs à haute réflectivité. Les miroirs sont des miroirs diélectriques couches minces de haute qualité déposés par pulvérisation (mini-résonateurs férule) ou par évaporation (mini-résonateurs fibre). Le mini-résonateur férule est constitué d'un tronçon de fibre de 1 cm inséré dans une férule céramique (Fig 1.a). Il présente un ISL de 10 GHz et est parfaitement rigide (des résonateurs de 2 cm ont également été réalisés et sont en cours de test). Un système mécanique permettant son couplage direct à deux fibres optiques a été réalisé. Le mini-résonateur fibre est un tronçon de fibre de 7 cm environ, présentant un ISL de 1.5 GHz (Fig. 1.b). Il comprend deux connecteurs standard FC/PC et peut sans difficulté être couplé à un système fibré.

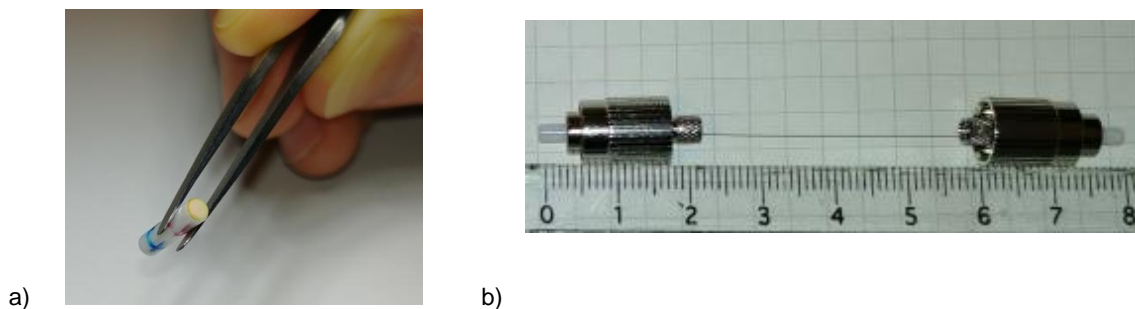


Figure 1 : Mini-résonateur férule à gauche (ISL 10 GHz)
et mini-résonateur fibre à droite (ISL 1.5 GHz)

La source optique stabilisée est réalisée avec une approche et un montage ayant conduit à un laser fibré à l'état de l'art en termes de bruit de fréquence près de la porteuse [3] avec un résonateur à plus fort facteur de qualité mais plus encombrant (boucle fibrée résonante de 100 m de fibre). Il est basé sur un laser compact à cavité externe (RIO™) et une boucle de verrouillage de Pound Drever Hall (pour les détails, voir la référence [3]). Le verrouillage PDH s'effectue en réflexion sur le mini-résonateur fibré et le signal est collecté en transmission sur le second port du résonateur et envoyé sur un banc de mesure de bruit de fréquence optique [4]. Le résultat de ces mesures est présenté en Figure 2. La courbe orange représente les performances en bruit de fréquence du laser RIO stabilisé sur un mini-résonateur fibré ayant les caractéristiques suivantes : ISL = 1.41 GHz, L = 7,35 cm, Q = $1.1 \cdot 10^8$, F = 800. La courbe violette représente la stabilisation de ce même laser sur un mini-résonateur férule caractérisé par : ISL = 10.29 GHz, L = 1 cm, Q = $7.8 \cdot 10^6$ et F = 415. La courbe verte est le bruit du laser RIO libre. Le laser stabilisé sur mini résonateur fibre s'est révélé très sensible aux vibrations (visibles sur ce spectre autour de 1 kHz). Beaucoup plus robuste de ce point de vue, le laser à mini-résonateur férule n'est affecté par les vibrations qu'à très basse fréquence ($f < 10$ Hz), ce qui était attendu de par ses caractéristiques mécaniques. Le mini-résonateur fibre pourra néanmoins être rigidifié à l'avenir pour ce type d'application. Des travaux sont envisagés également pour reproduire ces résultats avec comme source un laser DFB à la place du laser RIO.

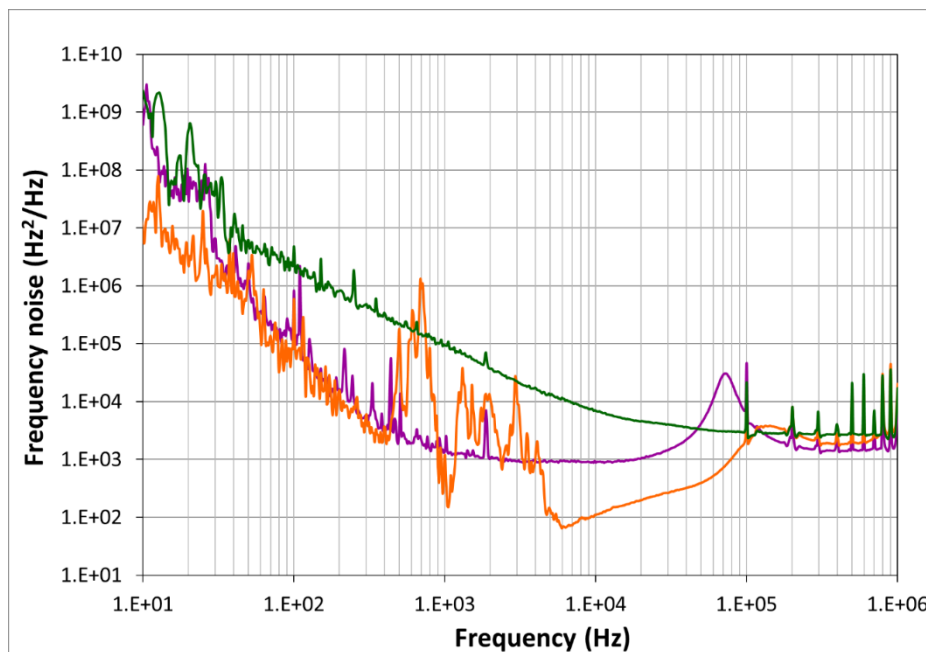


Figure 2 : Bruit de fréquence du laser RIO libre (courbe verte), du laser RIO stabilisé sur un mini-résonateur fibre (courbe orange) et sur un mini-résonateur férule (courbe violette)

Remerciements : ce travail a reçu le soutien de la DGA (ANR ASTRID ROLLMOPS)

Références :

- [1] A. Hallal, S. Bouhier, F. Bondu, "Frequency stabilization of a laser tunable over 1 THz in an all fibered system" IEEE Photonics Tech. Lett., June 2016, pp. 1249-1252.
- [2] E. Obrzud, S. Lecomte, T. Herr, "Temporal solitons in microresonators driven by optical pulses" Nature Photon 11, 600–607 (2017).
- [3] G. Bailly, O. Llopis, A. Fernandez, "High Spectral Purity Optical Source Stabilized on a Fiber Ring Resonator," IEEE Photonics Tech. Letters, vol. 32, no. 5, March 2020, pp. 255-258.
- [4] O. Llopis, Z. Abdallah, V. Auroux, A. Fernandez, "High spectral purity laser characterization with a self-heterodyne frequency discriminator", IEEE EFTF-IFCS, Denver (USA), April 2015, 4p.