



**HAL**  
open science

## Applications des mini-résonateurs fibrés aux OEOs, aux lasers stabilisés et aux peignes de fréquences optiques

Arnaud Fernandez, Safia Mohand Ousaid, Germain Bourcier, Olivier Llopis, Julien Lumeau, Antonin Moreau, Vincent Crozatier, Stéphane Balac

### ► To cite this version:

Arnaud Fernandez, Safia Mohand Ousaid, Germain Bourcier, Olivier Llopis, Julien Lumeau, et al.. Applications des mini-résonateurs fibrés aux OEOs, aux lasers stabilisés et aux peignes de fréquences optiques. Journée du Club Optique Micro-onde - JCOM 2023, Jun 2023, Rennes, France. hal-04193346

**HAL Id: hal-04193346**

**<https://laas.hal.science/hal-04193346>**

Submitted on 1 Sep 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



JCOM 2023  
19 juin 2023  
Online



## Applications des mini-résonateurs fibrés aux OEOs, aux lasers stabilisés et aux peignes de fréquences optiques

Arnaud FERNANDEZ<sup>1</sup>, Safia MOHAND OUSAID<sup>1</sup>, Germain BOURCIER<sup>1\*</sup>, Olivier LLOPIS<sup>1</sup>  
Julien LUMEAU<sup>2</sup>, Antonin MOREAU<sup>2</sup>, Vincent CROZATIER<sup>3</sup>, Stéphane BALAC<sup>4</sup>

<sup>1</sup>LAAS CNRS, Université de Toulouse, CNRS, UPS, Toulouse

<sup>2</sup>Aix Marseille Université, CNRS, Centrale Marseille, Institut Fresnel, Marseille

<sup>3</sup>Thales Research and Technology, Palaiseau

<sup>4</sup>IRMAR, Université de Rennes 1, CNRS, Campus de Beaulieu, Rennes, France

<sup>1\*</sup>LAAS CNRS et CNES, Toulouse

Lors des JCOM 2022, une nouvelle technologie de mini-résonateurs optiques fibrés à très fort coefficient de qualité (Q) a été présentée [1], ainsi qu'une première application de ces résonateurs à la stabilisation de lasers. Nous détaillons ici les progrès obtenus dans l'année avec cette technologie. Ces progrès sont substantiels, aussi bien sur les performances des résonateurs que sur celles des applications concernées : oscillateurs optoélectroniques (OEO), lasers stabilisés à faible bruit de phase et peignes de fréquences optiques.

Les mini-résonateurs sont constitués d'un tronçon de fibre optique délimité par deux miroirs diélectriques couches minces à haute réflectivité. Le coefficient Q des mini-résonateurs est le paramètre essentiel devant être maximisé pour les trois types d'applications visées. Ceci est particulièrement vrai pour le cas de l'OEO où un Q largement supérieur à  $10^8$  (et si possible de l'ordre de  $10^9$ ) est nécessaire pour que le système puisse surpasser les approches micro-ondes classiques. Dans le cas de la stabilisation laser toutefois et dans le cas plus particulier encore du verrouillage par retro-injection optique, le choix d'un petit résonateur, donc avec un grand intervalle spectral libre (ISL) permet d'éviter les problèmes de saut de mode, voire de fonctionnement multimode. Enfin, pour les peignes de fréquences optiques, un déclenchement du peigne à des puissances de pompe raisonnables dépend non seulement du facteur Q mais aussi de l'aire effective du mode optique et le choix d'une fibre non-linéaire peut être justifié, même si le Q associé est plus faible.

On distingue deux types de mini-résonateur : les mini-résonateurs « férule », constitués d'un tronçon de fibre de 1 cm (ou 2 cm) inséré dans une férule céramique rigide ; les mini-résonateurs « cordon », constitués d'un tronçon de fibre de ~ 7 cm. Dans le premier cas, les miroirs sont déposés par pulvérisation et l'ISL du mini-résonateur est de 10 GHz (ou 5 GHz). Un système mécanique permettant son couplage direct à deux fibres optiques a également été réalisé. Dans le second cas, les miroirs sont déposés par évaporation et le résonateur présente un ISL de l'ordre de 1.5 GHz. Il comprend deux connecteurs standard FC/PC et peut être couplé sans difficulté à un système fibré.

Les résonateurs, réalisés avec différents types de fibre optique, sont caractérisés par la technique de spectroscopie RF [2] qui consiste à verrouiller un laser à haute pureté spectrale sur un mode et à explorer les modes latéraux par battement avec le mode central à l'aide d'un modulateur rapide et d'un analyseur de réseaux vectoriel (VNA). Les meilleures performances en termes de finesse et facteur Q ont été obtenues avec un tronçon de fibre multimode ( $\varnothing$  cœur = 50  $\mu$ m). Un facteur Q de  $1.0 \cdot 10^9$  a été mesuré récemment sur un résonateur cordon de 7.5 cm de long et d'ISL 1.34 GHz, ce qui correspond à une finesse de 7000. La Figure 1 représente la fonction de transfert mesurée en module et phase d'un résonateur du même type avec des performances un peu moindres ( $Q = 4.4 \cdot 10^8$ ,  $F = 3200$ ,  $L = 4.5$  dB).

Le résonateur de la Figure 1 a été utilisé pour réaliser un OEO à 10 GHz, en remplaçant le VNA de la technique de caractérisation par une boucle amplificatrice incluant un résonateur diélectrique micro-onde pour sélectionner la fréquence d'oscillation. Le  $Q_{RF}$  à 10 GHz est fixé par le résonateur optique, celui du résonateur diélectrique étant 10 fois plus faible (2260 contre 22700). Le bruit de phase obtenu avec ce système (voir Figure 2) est modeste par rapport au Q élevé du système. Un travail reste à mener pour réduire le bruit amené par la boucle de stabilisation du laser sur le résonateur.

Le deuxième type de système étudié est un laser à semi-conducteur sans isolateur verrouillé sur un de ces résonateurs par un système de boucle de rétro-injection optique. Cette fois, nous avons privilégié des résonateurs férules d'ISL 10 GHz (Q légèrement inférieur à  $10^7$ ) pour éviter les sauts de mode.

L'amélioration du bruit de fréquence du laser verrouillé par rapport au laser libre reste néanmoins spectaculaire, en particulier loin de la porteuse (50 dB environ) comme le montre la Figure 3. Près de la porteuse, le bruit du laser est lié aux vibrations mécaniques de la boucle, que nous devrions pouvoir réduire avec un montage plus compact.

Enfin, un système expérimental a été assemblé pour tester la génération de peignes de fréquences optiques avec ces résonateurs. Un laser DFB est verrouillé grâce à une OPLL sur un laser à haute pureté spectrale, puis amplifié par un EDFA. Ce système permet d'obtenir à la fois une faible largeur de raie et l'accordabilité en fréquence nécessaire au déclenchement du peigne. Des peignes ont été obtenus par balayage en fréquence (Figure 4) sur des résonateurs mini-cordons, mais restent à stabiliser dans les conditions les plus intéressantes pour les applications (ex : soliton de cavité).

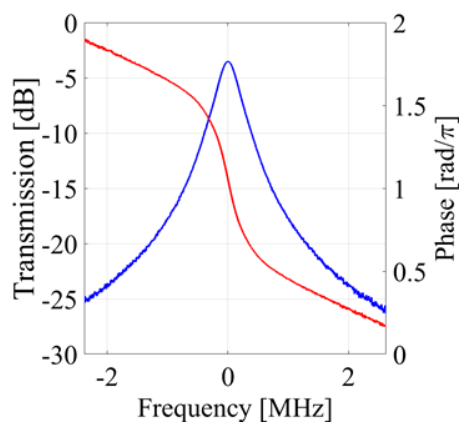


Figure 1. Mesures du résonateur par spectro-RF en transmission. Amplitude (en bleu, axe gauche) et phase (en rouge, axe droit).

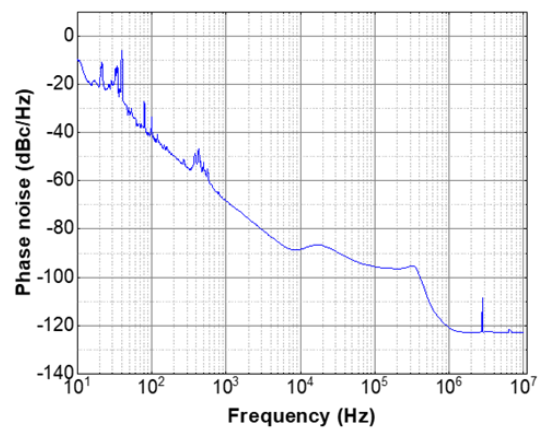


Figure 2. Bruit de phase de l'OEO 10 GHz verrouillé électriquement sur un résonateur multi-mode ( $Q_{\text{optique}} = 4.4 \cdot 10^8$  et  $Q_{\text{RF}10\text{GHz}} = 22700$ ).

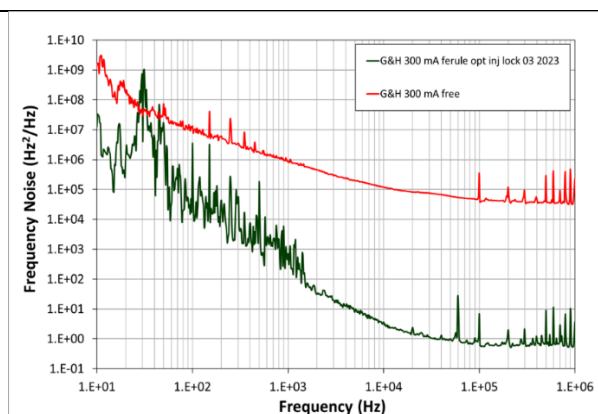


Figure 3. Bruit de fréquence du laser DFB stabilisé sur mini-résonateur (vert) comparé à son bruit en libre (rouge).

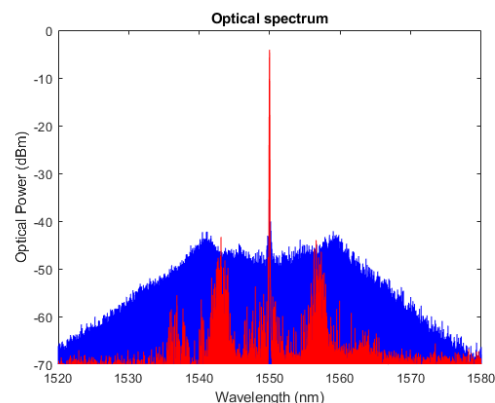


Figure 4. Peigne optique précurseur (rouge) obtenu par pompage d'un résonateur en fibre non-linéaire à 1 W et peigne large obtenu par balayage à même puissance.

**Remerciements :** ce travail a reçu le soutien de l'Agence Innovation Défense et du CNES

- [1] A. Fernandez et al., "Laser stabilisé sur un mini-résonateur fibré", JCOM 2022
- [2] Z. Abdallah, Y. G. Boucher, A. Fernandez, S. Balac, O. Llopis, "Radio frequency spectral characterization and model parameters extraction of high Q optical resonators", Sc. Reports (2016).