



**HAL**  
open science

## Réduction de la largeur de raie laser au moyen d'une boucle optoélectronique assistée par effet Brillouin

Gwennaël Danion, Marc Vallet, Ludovic Frein, Pascal Szniftgiser, Mehdi  
Alouini

► **To cite this version:**

Gwennaël Danion, Marc Vallet, Ludovic Frein, Pascal Szniftgiser, Mehdi Alouini. Réduction de la largeur de raie laser au moyen d'une boucle optoélectronique assistée par effet Brillouin. Journée du Club Optique et Micro-ondes (JCOM 2019), Jun 2019, Brest, France. hal-02475408

**HAL Id: hal-02475408**

**<https://hal.science/hal-02475408v1>**

Submitted on 27 Feb 2020

**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 2019  
ENIB & Lab-STICC  
Brest  
7 juin 2019



## Réduction de la largeur de raie laser au moyen d'une boucle optoélectronique assistée par effet Brillouin

G. Danion<sup>1</sup>, M. Vallet<sup>1</sup>, L. Frein<sup>1</sup>, P. Sznitgiser<sup>2</sup>, and M. Alouini<sup>1</sup>

*1- Univ. Rennes, CNRS, Institut FOTON - UMR 6082, F-35000 Rennes, France.*

*2- PHLAM, UMR 8523 Université de Lille - CNRS, 59655 Villeneuve d'Ascq, France.*

Nous présentons un module de réduction de largeur de raie laser basé sur une boucle à verrouillage de phase optique (OPLL) combinée à un oscillateur Brillouin. Une partie du faisceau laser est amplifiée pour pomper un résonateur Brillouin fibré non résonant. L'OPLL verrouille alors le désaccord pompe-Stokes sur un oscillateur hyperfréquence. Ceci permet de supprimer les sauts de modes de l'oscillateur Brillouin tout en réduisant le bruit de fréquence de la raie laser. Dans le cas d'un laser solide Erbium, une réduction de la largeur de raie optique de 10 kHz à 2 Hz est observée.

## Réduction de la largeur de raie laser au moyen d'une boucle optoélectronique assistée par effet Brillouin

G. Danion<sup>1</sup>, M. Vallet<sup>1</sup>, L. Frein<sup>1</sup>, P. Szriftgiser<sup>2</sup>, and M. Alouini<sup>1</sup>

1- Univ. Rennes, CNRS, Institut FOTON - UMR 6082, F-35000 Rennes, France.

2- PHLAM, UMR 8523 Université de Lille - CNRS, 59655 Villeneuve d'Ascq, France.

Les largeurs de raie laser se situent généralement dans la gamme des 10 kHz pour les lasers solides jusqu'à plusieurs MHz pour les lasers semi-conducteurs. De nombreuses techniques ont été développées afin d'obtenir des largeurs de raie sub-kHz. Par exemple, asservir la fréquence moyenne du laser sur une fréquence de référence fournie par une raie d'absorption atomique ou moléculaire conduit à une excellente stabilisation de la fréquence à long terme. Cependant, cette méthode n'offre généralement pas de réduction significative du bruit sur la phase optique à court terme. D'autres méthodes consistent à bénéficier des grands facteurs de qualité des résonances de cavités ultra-stables ou d'interféromètres kilométriques déséquilibrés [1]. Elles permettent d'obtenir de faibles largeurs de raies, mais restent très sensibles au bruit environnemental et imposent des conditions d'utilisations contraignantes. Les méthodes de verrouillage par injection optique offre une solution alternative intéressante pour réduire la largeur de raie ; cependant, le problème est simplement déplacé car elles nécessitent l'utilisation d'injecteurs optiques de grande pureté spectrale.

Les lasers fibrés Brillouin (BFL) sont connus pour présenter des largeurs de raie intrinsèques sub-kHz [2]. Nous présentons ici une nouvelle méthode permettant de tirer profit à la fois de cette propriété et de celle offertes par les boucles à verrouillage de phase hyperfréquences (PLL) pour reporter du domaine hyperfréquence au domaine optique la qualité de pureté spectrale. Ainsi, une réduction extrêmement importante de la raie laser est obtenue . .

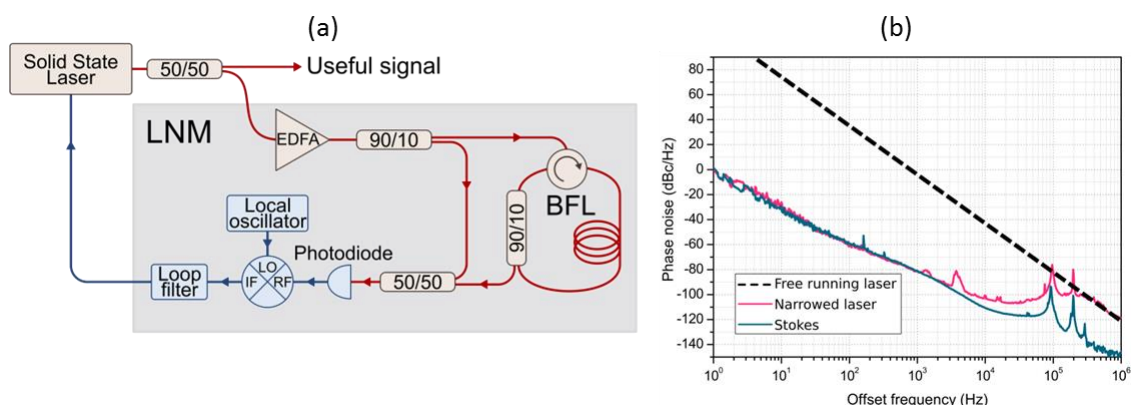


Figure 1. (a) Schéma du module de réduction de largeur de raie (LNM). OL : oscillateur local, RF : signal de battement, IF : fréquence intermédiaire. (b) Bruit de phase du battement entre deux lasers Er:Yb:verre stabilisés (courbe rose) et entre les ondes Stokes associées (courbe bleue). Ligne pointillée : bruit de phase optique typique de nos lasers Er:Yb : verre en régime non asservi.

Le montage est schématisé sur la figure1(a). Le laser à état solide utilisé émet à 1536 nm. Il est constitué d'un milieu actif en verre dopé Er et codopé Yb, pompé par une diode laser à 980 nm, et placé dans une cavité optique plan-concave. Un étalon intracavité permet d'obtenir une oscillation monomode. Un cristal électro-optique de PMN-PT permet de contrôler la fréquence du laser. La



JCOM 2019  
ENIB & Lab-STICC  
Brest  
7 juin 2019



puissance de sortie collectée dans une fibre monomode est typiquement de 6 mW pour une puissance de pompe de 400mW.

Une partie de la puissance de sortie du laser est amplifiée pour pomper un BFL de 100 m (voir Fig.1(a)). La cavité du BFL est non résonante pour la pompe, ce qui évite d'asservir la fréquence de la pompe sur une résonance de la cavité Brillouin. L'onde Stokes contre-propagative générée est ensuite combinée à l'onde de pompe, puis détectée par une photodiode qui permet de générer un signal électrique à la fréquence de battement Stokes-pompe. Ce dernier est mélangé au signal hyperfréquence délivré par un synthétiseur dont la fréquence correspond exactement à celle des phonons acoustiques, ici 10,998 GHz. Le signal d'erreur obtenu est finalement filtré et appliqué au cristal électro-optique intracavité, jouant ainsi le rôle de signal de correction sur la fréquence du laser.

Le schéma général peut donc être vu comme une boucle à verrouillage de phase opto-électronique assistée par effet Brillouin (BOPLL). Cette boucle agit directement sur les propriétés spectrales du laser dans le domaine optique. Notons que cette boucle permet, en outre, de supprimer les potentiels sauts de mode du résonateur Brillouin [3]. Comme indiqué sur la figure 1(b), une forte réduction du bruit de phase optique du laser est allant de 60dB à 90 dB est obtenue sur pratiquement toute la bande passante de la boucle optoélectronique, ici 100 kHz. Le bruit de phase du laser de pompe est alors égal au bruit de phase de l'onde Stokes [4]. Enfin, à partir du niveau de bruit de phase, la largeur de raie du laser est estimée à 2 Hz [5].

La méthode de réduction de la largeur de raie présentée est applicable à tout type de lasers, à condition que sa fréquence puisse être accordée électriquement et que la bande passante de la boucle de rétroaction soit supérieure à la largeur de raie initiale du laser. En termes de compacité, le montage pourrait tirer profit de l'utilisation de fibres microstructurées pour le résonateur Brillouin, voire de circuits intégrés photoniques ou de micro-résonateurs Brillouin.

#### Références :

- [1] F. Kéfélian, H. Jiang, P. Lemonde, and G. Santarelli, "Ultralowfrequency-noise stabilization of a laser by locking to an optical fiberdelay line," *Opt. Lett.*, vol 34, pp. 914-916, 2009.
- [2] J. Geng, S. Staines, Z. Wang, J. Zong, M. Blake, S. Jiang, "Highly stable low-noise Brillouin fiber laser with ultranarrow spectral linewidth," *IEEE Photon. Technol. Lett.* 18, 1813 (2006).
- [3] G. Danion, L. Frein, D. Bacquet, G. Pillet, S. Molin, L. Morvan, G. Ducourneau, M. Vallet, P. Szriftgiser, and M. Alouini, "Mode-hopping suppression in long Brillouin fiber laser with non-resonant pumping", *Opt. Lett.* 41, 2362 (2016).
- [4] G. Danion, M. Vallet, L. Frein, P. Szriftgiser, and M. Alouini, "Optoelectronic self-narrowing of laser linewidth using a Brillouin-assisted optical phase-locked loop", *IEEE Photon. Technol. Lett.* (2019)
- [5] D. B. Sullivan, D. W. Allan, D. A. Howe, and F. L. Walls, NIST Technical Note 1337 , National Institute of Standard Technology, 1990.