



**HAL**  
open science

## Laser Brillouin stimulé à polarisations croisées dans un résonateur Fabry-Pérot fibré de dispersion anormale

Germain Bourcier, Safia Mohand Ousaid, Stéphane Balac, Julien Lumeau, Antonin Moreau, Thomas Bunel, Matteo Conforti, Arnaud Mussot, Olivier Llopis, Arnaud Fernandez

► **To cite this version:**

Germain Bourcier, Safia Mohand Ousaid, Stéphane Balac, Julien Lumeau, Antonin Moreau, et al.. Laser Brillouin stimulé à polarisations croisées dans un résonateur Fabry-Pérot fibré de dispersion anormale. Optique Normandie 2024, Jul 2024, Rouen, France. hal-04687283

**HAL Id: hal-04687283**

**<https://laas.hal.science/hal-04687283v1>**

Submitted on 4 Sep 2024

**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.

# Laser Brillouin stimulé à polarisations croisées dans un résonateur Fabry-Pérot fibré de dispersion anormale

Germain BOURCIER<sup>1,2</sup>, Safia MOHAND OUSAID<sup>1</sup>, Stéphane BALAC<sup>3</sup>, Julien LUMEAU<sup>4</sup>,  
Antonin MOREAU<sup>4</sup>, Thomas BUNEL<sup>5</sup>, Matteo CONFORTI<sup>5</sup>, Arnaud MUSSOT<sup>5</sup>,  
Olivier LLOPIS<sup>1</sup>, Arnaud FERNANDEZ<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>CNES, 18 avenue Edouard Belin, F-31401 Toulouse, France

<sup>3</sup>IRMAR, Université de Rennes, CNRS, Campus de Beaulieu, 35042 Rennes, France

<sup>4</sup>Université Aix Marseille, CNRS, Centrale Med, Institut Fresnel, Marseille, France

<sup>5</sup>Université de Lille, CNRS, UMR-8523-PhLAM Physique des Lasers Atomes et Molécules, F-59000, Lille, France

[germain.bourcier@laas.fr](mailto:germain.bourcier@laas.fr)

## RESUME

Nous étudions le pompage continu d'une cavité Fabry-Pérot fibrée sous contrôle de biréfringence. Un laser Brillouin stimulé a pu être obtenu et des peignes de fréquences ont été générés en utilisant la diffusion Brillouin stimulée et le mélange à quatre-ondes.

**MOTS-CLEFS :** *Laser Brillouin stimulé ; peignes de fréquences optiques ; cavité Fabry-Pérot fibré ; optique non-linéaire ;*

## 1. RESONATEUR FABRY-PÉROT FIBRE ET CONTRÔLE DE BIREFRINGENCE

Des miroirs diélectriques multicouches avec une réflectivité de 99.84% sont déposés aux extrémités d'un cordon fibré de 20 centimètres de fibre hautement non-linéaire (HNL) à dispersion anormale pour obtenir un résonateur Fabry-Pérot (FP) fibré [1, 2]. Ce type de résonateur est relativement nouveau et présente des avantages significatifs tels que sa facilité de conception et de manipulation, son couplage durable et reproductible et avant tout son facteur Q d'environ  $10^8$ , dépassant les résonateurs intégrés en  $\text{Si}_3\text{N}_4$  et approchant les résonateurs cristallins à mode de galeries (WGM). Notre FP offre ainsi une alternative prometteuse aux résonateurs en anneau pour la génération de peignes de fréquences [2]. Pour cette application, une fibre HNL a été utilisée. Dans une telle fibre monomode, deux familles de modes de cavité avec des polarisations orthogonales (P1 et P2) coexistent du fait de la biréfringence du milieu. La biréfringence peut être induite par un stress lié à la présence de points de compression, de courbures ou de torsions. L'intervalle spectral libre (ISL) est différent selon la polarisation, le résonateur possède donc deux groupes de résonances distincts. L'écart de fréquence entre les groupes de résonances est finement contrôlé par l'application de courbures et torsions à l'image des contrôleurs de polarisations du commerce.

## 2. LASER BRILLOUIN STIMULÉ À POLARISATIONS CROISÉES

La diffusion Brillouin stimulée est le premier effet non-linéaire à avoir lieu dans la fibre lors d'un accroissement de puissance. Elle est plus importante encore dans le résonateur du fait des multiples allers-retours. La seule condition pour son déclenchement est d'obtenir le recouvrement d'une résonance de la cavité et de la courbe de gain Brillouin centrée à une fréquence  $\nu_B \approx 10$  GHz de la fréquence pompe. Ce phénomène peut avoir lieu en polarisations croisées [3]. Le pompage

continu est effectué sur P1 avec un laser NKT BASIK-E15 amplifié à 1 W autour de 1.55 $\mu$ m et le recouvrement du gain est obtenu sur P2. Un contrôle fin de la biréfringence permet d'adapter l'écart entre les résonances et d'obtenir ce recouvrement comme le montre la figure 1.

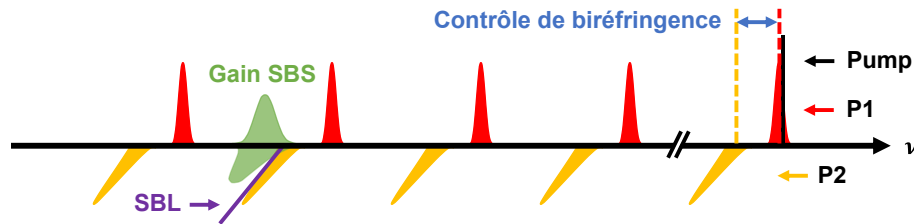


Figure 1 : Représentation schématique des résonances de la cavité FFP sur chacune des polarisations. La pompe est représentée sur P1. Le gain Brillouin (gain SBL) et le laser Brillouin stimulé (SBL) sont représentés sur P2.

Au cours du scan en fréquence d'une résonance sur P1, nous montrons l'apparition d'une raie Brillouin Stokes décalée vers les basses fréquences de 10 GHz (limitation par la précision de l'OSA) qui s'intensifie jusqu'à dépasser la puissance de pompe obtenant ainsi un laser Brillouin stimulé (SBL) (Figure 2).

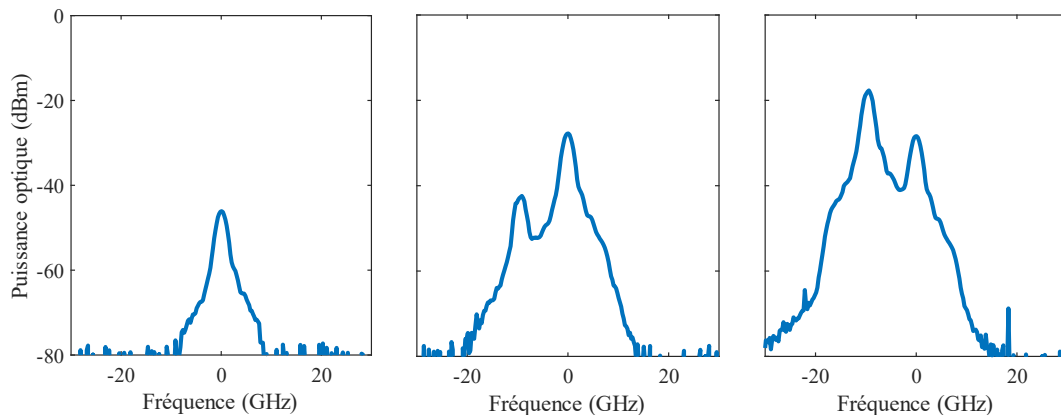


Figure 2 : Spectres optiques de P2 relatifs à la fréquence pompe : (a) Résidu de pompe sur P2 ; (b) Apparition d'une raie SBL à 10 GHz de la pompe ; (c) SBL ;

### 3. BRILLOUIN CASCADE, PEIGNE KERR ET DIFFUSION RAMAN STIMULEE

Un étalement spectral est généré à partir du laser Brillouin par mélange à quatre ondes (FWM). Le premier cas de figure est celui décrit par Jia et al. [3] présentant le SBL comme pompe sur P2 à l'origine d'un peigne Kerr pouvant conduire à l'apparition de solitons ultra-stables grâce à la faible largeur de raie du SBL. Dans notre cas, un phénomène préliminaire au SBL lié à un effet non-linéaire sur la polarisation transforme la polarisation linéaire en polarisation elliptique. Cela a comme conséquence la présence d'une raie de laser pompe sur P2 comme le montre la figure 2. Par mélange à quatre ondes un effet de cascade génère un peigne Brillouin-Kerr sur chaque polarisation. À plus forte puissance le mélange à quatre ondes permet un étalement spectral du peigne par effet Kerr [3, 4]. L'étalement obtenu est très important et favorise l'apparition d'une diffusion Raman stimulée à 13 THz en dessous de la fréquence de pompe. Le second pic spectral à 19 THz au-dessus de la fréquence pompe correspond à une onde dispersive également appelée radiation Cherenkov associée à la perturbation par la dispersion d'ordre trois.

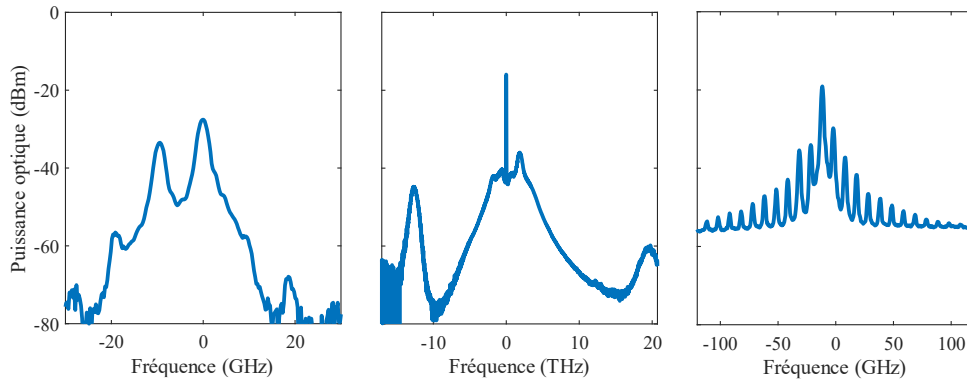


Figure 3 : Spectres optiques relatifs à la fréquence pompe : (a) Effet cascadié du Brillouin à faible puissance pompe ; (b) Peigne Kerr chaotique avec raie Raman Stokes à 13 THz et onde dispersive à 19 THz ; (c) Zoom sur la partie centrale d'un peigne chaotique identique à (b) avec présence notable de raies générées par diffusion Brillouin cascadiée par effet Kerr;

## CONCLUSION

Pour conclure, nous avons mis en évidence la formation d'un laser Brillouin stimulé à polarisations croisées dans un résonateur Fabry-Pérot fibré. Il a permis la génération d'un peigne de fréquence fortement étalé sur la polarisation non pompée mettant en évidence différents effets non linéaires. Nous travaillons pour une suppression de l'effet Brillouin cascadié par effet Kerr afin de profiter de la très faible largeur de raie du laser Brillouin stimulé pour générer des solitons de cavités ultra-stables utiles notamment pour la synthèse microonde de faible bruit.

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

## REFERENCES

- <sup>1</sup> E. Obrzud, M. Rainer, A. Harutyunyan, M. H. Anderson, J. Liu, M. Geiselmann, B. Chazelas, S. Kundermann, S. Lecomte, M. Cecconi, A. Ghedina, E. Molinari, F. Pepe, F. Wildi, F. Bouchy, T. J. Kippenberg, and T. Herr, "A microphotonic astrocomb," *Nature Photon* **13**, 31 (2019).
- <sup>2</sup> T. Bunel, M. Conforti, Z. Ziani, J. Lumeau, A. Moreau, A. Fernandez, O. Llopis, G. Bourcier, and A. Mussot, "28 THz soliton frequency comb in a continuous-wave pumped fiber Fabry-Pérot resonator," *APL Phot.* **9**, 010804 (2024).
- <sup>3</sup> K. Jia, X. Wang, D. Kwon, J. Wang, E. Tsao, H. Liu, X. Ni, J. Guo, M. Yang, X. Jiang, J. Kim, S. Zhu, Z. Xie, and S.-W. Huang, "Photonic Flywheel in a Monolithic Fiber Resonator," *Phys. Rev. Lett.* **125**, 143902 (2020).
- <sup>4</sup> M. Nie, K. Jia, Y. Xie, S. Zhu, Z. Xie, and S.-W. Huang, "Synthesized spatiotemporal mode-locking and photonic flywheel in multimode mesoresonators," *Nat Commun* **13**, 6395 (2022).