

IMPACT DE LA POLARISATION SUR LES MODES ACOUSTIQUES DE SURFACE GENERES PAR DIFFUSION BRILLOUIN DANS LES NANOFIBRES

Maxime ZERBIB, Jean-Charles BEUGNOT, Kien PHAN-HUY

*Institut FEMTO-ST, département d'optique, UMR CNRS / Université Bourgogne Franche-Comté
6174, 25030 Besançon, France*

maxime.zerbib@femto-st.fr

RESUME

Nous montrons expérimentalement la sensibilité à la polarisation de la rétrodiffusion Brillouin dans une nanofibre de silice. Les ondes acoustiques de surface sont à l'origine de signaux Brillouin polarisés ou dépolarisés selon l'état de polarisation de l'onde incidente, permettant un traitement de l'information tout-optique.

MOTS CLES : *nanofibre ; diffusion Brillouin ; polarisation.*

1. INTRODUCTION

Du fait de leurs dimensions sub-longueur d'onde, les nanofibres optiques sont des milieux de propagation privilégiés pour l'étude des effets non linéaires optiques. Plus particulièrement, le confinement de la lumière dans les nano-guides donne lieu à la génération d'ondes acoustiques de surfaces (SAWs) détectables par rétrodiffusion Brillouin (SAWBS) [1]. Parmi elles, à cause de l'ellipticité de la nanofibre, l'onde acoustique de surface torso-radiale TR21 est doublement dégénérée occasionnant la rétrodiffusion d'ondes Brillouin non polarisées. Ce phénomène de dépolarisation par les modes acoustiques torso-radiaux a été constaté dans les fibres optiques monomodes (SMFs) dans le cadre de la diffusion Brillouin vers l'avant (GAWBS) dès 1985 par Shelby [2]. Les GAWBS dépolarisées ont par la suite été observées dans les fibres à maintien de polarisation (PM) et à cristaux photoniques (PCFs) [3-4]. En parallèle, il a été montré que, selon l'état de polarisation de l'onde incidente, les modes acoustiques torso-radiaux pouvaient également être à l'origine de GAWBS polarisées [2,5-6]. En termes de rétrodiffusion Brillouin, Zeng *et al.* ont récemment montré que les modes torso-radiaux dans les fibres chirales photoniques avaient les mêmes propriétés face à la polarisation [7].

Dans ce document, nous reportons une étude de la polarisation des ondes rétrodiffusées Brillouin par les ondes acoustiques de surface dans les nanofibres de silice. Ces guides sont fabriqués à partir de l'étirage de fibres optiques classiques de type SMFs. Nous identifions deux comportements distincts de l'onde acoustique TR21 chacun associé à la polarisation ou à la dépolarisation des ondes Brillouin. Cette propriété acoustique permet d'envisager un procédé de traitement de l'information par la polarisation dans les nanofibres.

2. MESURES DE LA POLARISATION DES SAWBS

Pour mesurer la sensibilité à la polarisation des ondes Brillouin rétrodiffusées dans une nanofibre, un montage expérimental à détection hétérodyne est utilisé (**Fig.1**).

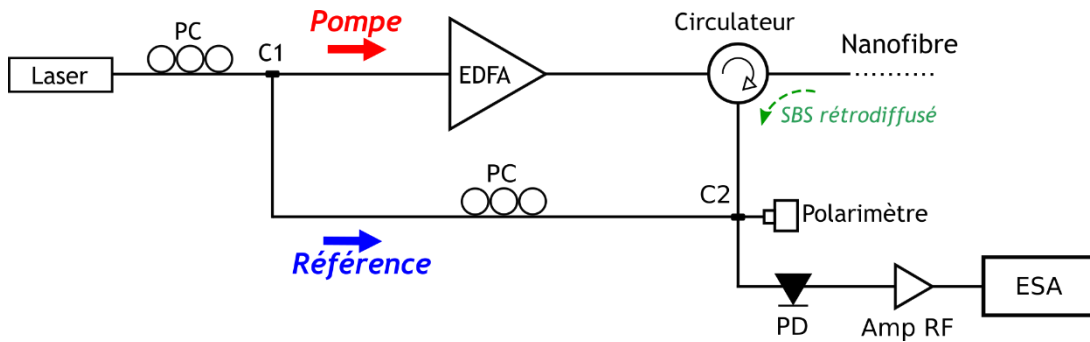


Fig. 1 : Montage expérimental à détection hétérodyne pour des mesures de spectres Brillouin. Les signaux optiques *pompe* et *référence* interfèrent en un battement optique détecté dans le domaine électrique et analysé spectralement (ESA).

La nanofibre sélectionnée pour les mesures a un diamètre de 800 nm et une longueur de 40 mm permettant l'observation d'ondes Brillouin de surface dans la silice avec longueur d'onde laser de 1550nm. Le spectre de rétrodiffusion Brillouin de la nanofibre est multifréquences dans la gamme des 5-10GHz, révélant la coexistence de plusieurs modes acoustiques dans le nano-guide [1]. Les contributions hautes-fréquences à ce spectre sont liées aux ondes acoustiques hybrides (HAWs) composées à la fois de déplacements longitudinaux et transverses. La diffusion Brillouin par ces modes est comparable au processus dans les SMFs. Dans le cadre de cette étude, nous nous intéressons aux contributions des ondes acoustiques de surface (SAWs) à des plus basses fréquences (5-6 GHz).

Nous utilisons des contrôleurs de polarisation (PC) sur les bras *pompe* et *référence* du montage hétérodyne afin d'ajuster les états de polarisation des deux signaux interférant. Les spectres Brillouin expérimentaux sont collectés dans le domaine électrique *via* un analyseur de spectre (ESA). La **Fig.2** présente des spectres Brillouin zoomés sur la gamme de fréquences des ondes de surfaces. L'état de polarisation de l'onde *pompe* est linéaire (-45°) sur la **Fig.2a**, et circulaire gauche (CG) sur la **Fig.2b**. Sur les 2 figures, les différents spectres sont obtenus en changeant l'état de polarisation de l'onde *référence*.

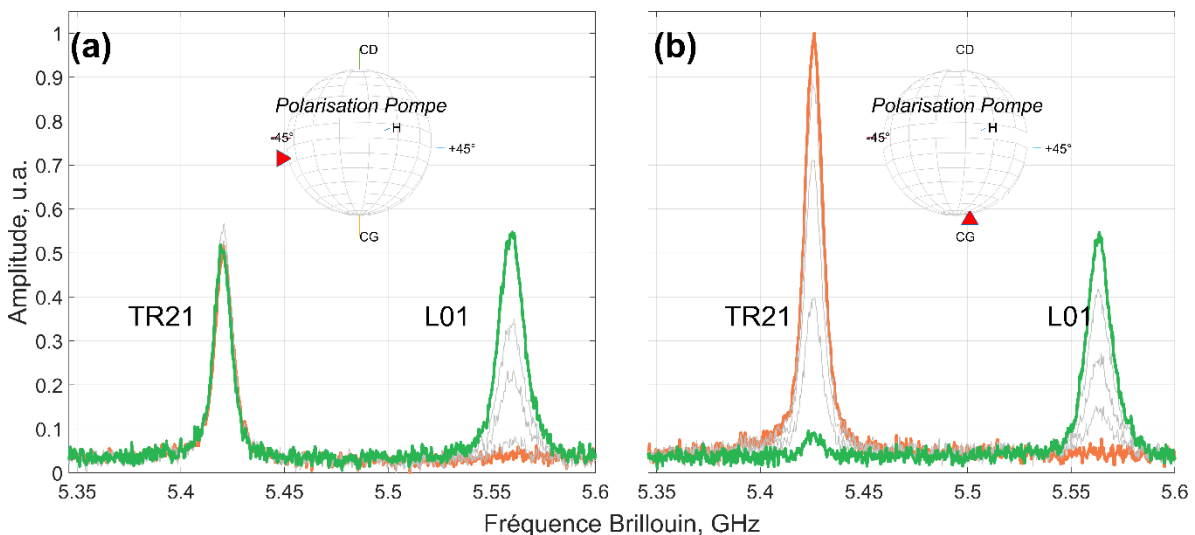


Fig. 2 : Spectres expérimentaux de la rétrodiffusion Brillouin dans une nanofibre de silice, zoomés sur les ondes acoustiques de surface. Les états de polarisations de l'onde *pompe* sont (a) linéaire (b) circulaire. La polarisation de l'onde *référence* est indiquée en couleur : spectres vert lorsqu'elle est parallèle à la polarisation de l'onde *pompe*, spectres orange lorsqu'elle est orthogonale et spectres gris dans des états intermédiaires.

Les pics observés correspondent aux ondes de Rayleigh se propageant à la surface de la nanofibre. Plus spécifiquement, le pic de résonance acoustique à 5.43GHz correspond à l'onde torso-radiale TR21 et celui à la résonance 5.57GHz à l'onde à symétrie radiale L01. Comme pour les HAWs, cette-dernière rétrodiffuse la lumière sans en changer l'état de polarisation, et communique donc une information sur l'état de polarisation de l'onde *pompe* incidente à la nanofibre. Ainsi, sur les figures **Fig.2[a-b]**, les courbes vertes qui correspondent aux maxima d'amplitude de L01, traduisent des ondes *pompe* et *référence* dans le même état de polarisation. A l'inverse, les courbes orange correspondent à deux ondes dans des états de polarisation orthogonaux.

La **Fig.2a** reporte les mesures de spectres lorsque la polarisation de l'onde *pompe* est linéaire. On remarque dans ce cas, que quel que soit l'état de polarisation de l'onde *référence*, le pic TR21 atteint la même amplitude contrairement au pic L01 qui varie entre un minimum et un maximum. Le maximum de L01 est obtenu lorsque les polarisations des ondes *pompe* et *référence* sont alignées et le minimum lorsqu'elles sont croisées. L'insensibilité à la polarisation de TR21 révèle la dépolarisation de l'onde Brillouin rétrodiffusée. En effet, lors du battement optique avec l'onde *référence*, l'amplitude du signal rétrodiffusé est moyennée à la moitié de son maximum. Inversement, lorsque la polarisation de l'onde *pompe* est circulaire gauche (**Fig.1b**), le pic TR21 devient sensible à la polarisation et arbore un maximum et un minimum. L'onde TR21 est alors polarisée. Par ailleurs, l'état de polarisation de l'onde TR21 a évolué dans un état orthogonal à celui de l'onde *pompe* comme le témoigne l'inversion des couleurs par rapport au pic L01. Cette étude a été étendue à un ensemble d'états de polarisation répartis sur la sphère de Poincaré et un modèle analytique a été développé.

3. CONCLUSION

Nous avons étudié l'évolution de la polarisation des ondes Brillouin rétrodiffusées par les ondes de surface dans une nanofibre en fonction de la polarisation d'un signal optique incident. Les observations montrent que le phonon TR21 peut rétrodiffuser à la fois des signaux polarisés et dépolarisés. Cette propriété pourrait servir de base à des dispositifs de traitement de l'information optiques.

4. REFERENCES

- ¹ J.-C. Beugnot, S. Lebrun, G. Pauliat, H. Maillotte, V. Laude, and T. Sylvestre, "Brillouin light scattering from surface acoustic waves in a subwavelength-diameter optical fibre", *Nature Communications* 5, 5242 (2014).
- ² R.M. Shelby, M.D. Levenson, and P.W. Bayer, "Guided acoustic-wave Brillouin Scattering", *Physical Review B*, vol. 31, pp. 5244-5252, (Apr, 1985).
- ³ Nishizawa, N., Kume, S., Mori, M., Goto, T. & Miyauchi, A., "Experimental analysis of guided acoustic wave Brillouin scattering in PANDA fibers". *J. Opt. Soc. Am. B* 12, 1651 (1995).
- ⁴ J. E. McElhenny, R. K. Pattnaik and J. Toulouse, "Dependence of Frequency Shift of Depolarized Guided Acoustic Wave Brillouin Scattering in Photonic Crystal Fibers", in *Journal of Lightwave Technology*, vol. 29, no. 2, pp. 200-208, Jan.15, 2011.
- ⁵ Yosuke Tanaka et Kazuhiko Ogusu, « Polarization Dependence of Depolarized Guided Acoustic-wave Brillouin Scattering Detected after an Analyzer », *Journal of Optical Communications*, vol. 21, n° 3, p. 82-85, juin 2000
- ⁶ H. H. Diamandi, G. Bashan, Y. London, K. Sharma, K. Shemer, et A. Zadok, « Interpolarization Forward Stimulated Brillouin Scattering in Standard Single-Mode Fibers », *Laser & Photonics Reviews*.
- ⁷ X. Zeng *et al.*, « Stimulated Brillouin scattering in chiral photonic crystal fiber », *Photon. Res.*, vol. 10, n° 3, p. 711, mars 2022.