

Rétrodiffusion Brillouin dans une cellule de gaz à fibre optique amincie

Simon COLOMBEL¹, Kien PHAN HUY², Philippe BOYER¹, Jérôme SALVI¹ and
Jean-Charles BEUGNOT¹

¹ Université Marie et Louis Pasteur, Institut FEMTO-ST, UMR CNRS 6174, Besançon, France

² Université Marie et Louis Pasteur, SUPMICROTECH, CNRS, institut FEMTO-ST, F-25000
Besançon, France

simon.colombel@femto-st.fr

RÉSUMÉ

Nous présentons des mesures expérimentales de rétrodiffusion Brillouin réalisées dans une cellule de gaz à fibre optique amincie. L'utilisation de fibres optiques amincies (nanofibre) d'un diamètre de l'ordre de $1\mu\text{m}$ permet la création d'un champ évanescent optique qui peut interagir avec un gaz à haute pression situé autour de la nanofibre. Des mesures de l'efficacité Brillouin dans le gaz en fonction de la pression sont réalisées et montrent des valeurs supérieures à la silice.

MOTS-CLEFS : *Fibre optique amincie ; Gaz ; Diffusion Brillouin ; Optique Non Linéaire.*

1. INTRODUCTION

Les fibres optiques amincies (NF) sont des fibres optiques monomodes (SMF) dont le diamètre est inférieur au micromètre sur plusieurs centimètres. Elles sont obtenues par une technique de chauffage et d'étirage au dessus d'une flamme [1]. Du fait de leur diamètre de l'ordre de la longueur d'onde optique, la lumière sera fortement confinée, augmentant l'efficacité des effets non linéaires et permettant la génération de lasers et de capteurs [2]. Dans le cas de la rétrodiffusion Brillouin, un laser de pompe interagit avec une onde acoustique, créant une onde Stokes décalée en fréquence (figure 1 a)). Le spectre de rétrodiffusion Brillouin présente plusieurs résonances dues aux très petites dimensions transverses du guide d'onde et correspondent aux modes acoustiques Hybrides (L02) et de surface (TR21, L01). Pour ces modes, l'efficacité Brillouin maximale est de l'ordre de $18\text{ W}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$, et dépend principalement du diamètre de la fibre optique amincie. L'efficacité est optimale pour un diamètre de l'ordre de 950nm pour une longueur d'onde laser de 1550nm [3]. De plus, grâce au confinement de la lumière et au faible diamètre, un champ évanescent est également présent. Nous proposons d'utiliser ce champ évanescent pour étudier la rétrodiffusion Brillouin dans un gaz placé autour de la nanofibre. Nous mesurerons pour la première fois le gain Brillouin spontané dans le gaz, qui dépend de la pression et de la nature du gaz. L'utilisation d'un gaz à haute pression permet d'envisager des efficacités supérieures à celle de la silice [4].

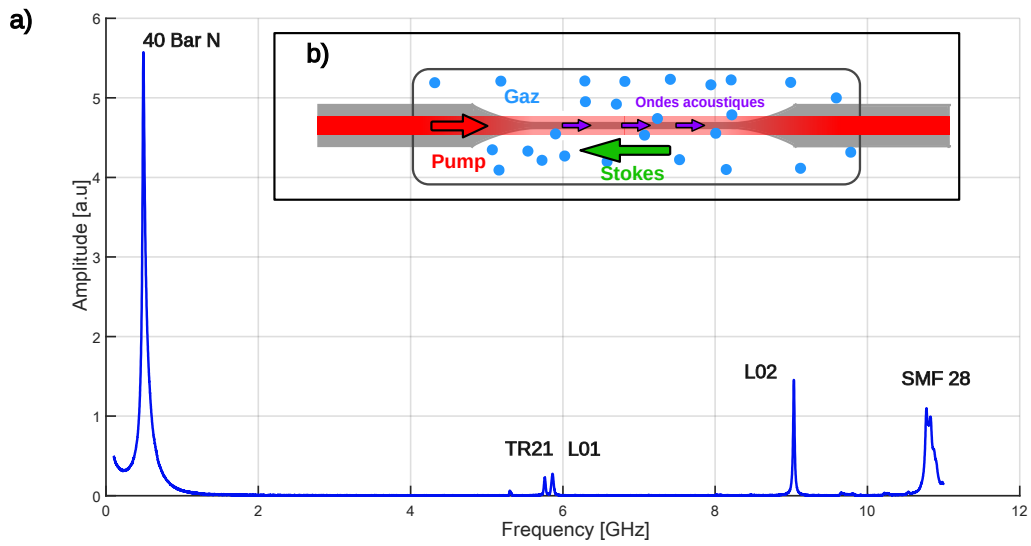


Figure 1 : Rétrodiffusion Brillouin dans une fibre optique amincie. a) Spectre spontané d'une NF de 150mm de long et de diamètre 700nm, placée dans 40bar de N_2 . b) Schéma de la rétrodiffusion Brillouin avec une NF dans une cellule de gaz.

2. MONTAGE EXPÉRIMENTAL ET RÉSULTATS

La NF fabriquée a un diamètre de 700nm, et une longueur de 150mm, placée dans une cellule d'Azote à une pression de 40bar. Les pertes optiques dues à l'amincissement de la fibre optique ont été mesurés à 0,14dB. Le spectre de rétrodiffusion Brillouin est mesuré grâce à une interaction entre deux optiques (pompe/sonde) dans le domaine des fréquences. La figure 2.a) présente le montage expérimental qui permet de mesurer le gain Brillouin. Un laser continu à 1550nm est divisé en trois parties. La première sert de référence pour réaliser le battement de la détection hétérodyne, et est envoyée interférer directement sur la photodiode. Le second sert de pompe, et est amplifié dans un amplificateur erbium pour envoyer 2W dans la NF. Enfin, le troisième utilise deux modulateurs électro-optique et acousto-optique pour générer un signal de sonde à la fréquence de l'onde Brillouin Stokes rétrodiffusée.

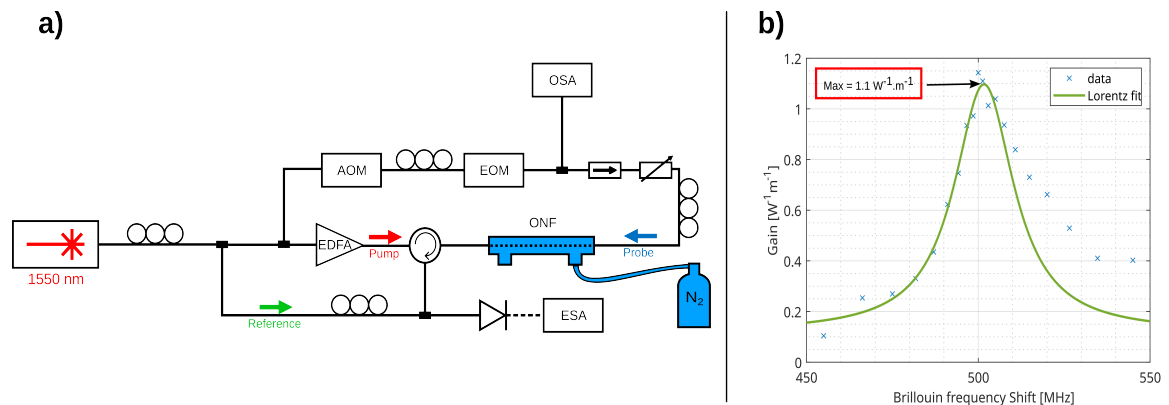


Figure 2 : a) Montage pompe/sonde pour la mesure du gain Brillouin dans une nanofibre. AOM : Modulateur Acousto-Optique, EOM : Modulateur Electro-Optique, OSA : Analyseur de Spectre Optique, EDFA : Amplificateur Erbium, ONF : NanoFibre Optique, ESA : Analyseur de Spectre Electrique, N_2 : Azote. b) Courbe de gain Brillouin stokes dans le gaz.

La sonde est injectée du côté opposé à la pompe excitant l'onde acoustique dans la nanofibre, et le signal Stokes est analysé dans le domaine radiofréquence. La courbe de gain Brillouin est obtenue en balayant la fréquence du signal optique de sonde autour de la résonance Brillouin (Ici autour de 500 MHz). Une mesure de la courbe de gain est présentée sur la figure 2.b). La résonance Stokes du gaz présente un gain de $1,1\text{W}^{-1}.\text{m}^{-1}$, 6 fois plus que le gain dans une SMF, mesuré à $0,172\text{W}^{-1}.\text{m}^{-1}$ dans les mêmes conditions. Les transitions sont responsables de l'élargissement de la courbe expérimentale dans les hautes fréquences [5].

3. Conclusion

Nous avons mesuré pour la première fois le gain Brillouin dans l'azote situé autour d'une fibre optique amincie. Le champ évanescent optique permet de créer une interaction opto-acoustique via la diffusion Brillouin dans le gaz. La possibilité de contrôler la pression de gaz nous permettra dans les prochaines semaines de démontrer l'accordabilité de la courbe de gain en fonction de la pression, et d'étudier le rôle du diamètre et de la longueur de la fibre optique amincie.

RÉFÉRENCES

- [1] A.Godet, A.Ndao, T.Sylvestre, V.Pecher, S.Lebrun, G.Pauliat, J-C.Beugnot, and K.Phan Huy, "Brillouin spectroscopy of optical microfibers and nanofibers". *Optica* 4, 2017.
- [2] T.Limin, et M.Sumetsky. "Subwavelength and Nanometer Diameter Optical Fibers". Advanced Topics in Science and Technology in China. *Springer*, 2010.
- [3] M.Zerbib, M.Deroh, T.Sylvestre, K.Phan Huy, J-C Beugnot; "Stimulated Brillouin scattering in silica optical nanofibers". *APL Photonics*, 2024.
- [4] Y.Fan, F.Gyger, et L.Thévenaz. "Giant Brillouin Amplification in Gas Using Hollow-Core Waveguides". *Nature Photonics* 14, 2020.
- [5] Y.Fan, F.Gyger, A.Godet, et al. « Large Evanescently-Induced Brillouin Scattering at the Surrounding of a Nanofibre ». *Nature Communications* 13, 2022.