

UTILISATION DE L'EFFET BRILLOUIN POUR LA REALISATION D'UN FILTRE OPTIQUE A PROFIL RECTANGULAIRE AJUSTABLE EN BANDE

Wei Wei¹, Lilin Yi¹, Yves Jaouën², Yi Dong¹ et Weisheng Hu¹

¹ State Key Lab of Advanced Optical Communication Systems and Networks, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 20040, China

² Institut Telecom / Telecom ParisTech, CNRS UMR5141, 75634 Paris, France

lilinyi@sjtu.edu.cn

RÉSUMÉ

La diffusion Brillouin stimulée est un des effets non-linéaires les plus significatifs dans les fibres optiques. Cet effet présente un grand intérêt pour le traitement optique de l'information, tel que la réalisation de lignes à retard ou de filtres optiques. Cette contribution porte sur la mise œuvre d'un filtre optique à profil rectangulaire, le signal de pompe étant généré à partir d'un modulateur d'intensité externe commandé par un signal électrique multi-fréquence. Afin d'accroître la platitude et la réjection hors-bande du filtre, le niveau de chaque composante du peigne de fréquence est contrôlée par une boucle de rétroaction numérique. La bande gain peut être ajustée très simplement entre 50 MHz et 4 GHz avec une résolution de ~10 MHz.

MOTS-CLEFS : *Diffusion Brillouin stimulée; Traitement optique du signal.*

1. INTRODUCTION

Les filtres optiques rectangulaires avec une bande passante allant de quelques dizaines de MHz à plusieurs GHz sont très recherchés pour des applications opto-microondes ou communications optiques. Les technologies passives (réseaux de Bragg, réseaux de diffraction, étalons Fabry-Perot) ont des résolutions typiques de l'ordre de ~10 GHz avec un profil qui est généralement de type « super-gaussien ». On est encore loin de l'exigence d'un filtre rectangulaire idéal avec un facteur de forme de 1. La conception d'un tel filtre à bande étroite reste un grand défi. La diffusion Brillouin stimulée (SBS pour Stimulated Brillouin Scattering) dans une fibre optique a été proposée pour jouer le rôle d'un filtre optique accordable actif avec une bande passante allant de 10 MHz à quelques GHz. Le profil de gain Brillouin peut être contrôlé en ajustant le spectre de la pompe, par exemple au moyen d'une modulation externe [1,2] ou d'une modulation du courant continu d'une diode laser [3-4]. La raideur de la pente est le paramètre le plus critique en raison de la modification progressive du spectre de la pompe sur le bord de bande. Nous présentons la réalisation d'un profil de gain Brillouin rectangulaire dont la bande passante est ajustable entre 50 MHz et 4 GHz avec une résolution de 10 MHz. La pompe est générée au moyen d'un modulateur d'intensité externe commandé par un signal électrique multi-fréquences. L'amplitude de chaque composante spectrale peut être contrôlée numériquement afin de minimiser les variations de gain dans la bande. A titre d'exemple, le facteur de forme (SF pour Shape Factor) obtenu pour une bande de 500 MHz est $SF_{1.5dB} = 1.093$ et la variation maximale de gain est ± 0.35 dB, ce qui est proche du filtre rectangulaire idéal.

2. PRINCIPE

Le profil de gain Brillouin naturel d'une fibre en silice est une Lorentzienne de largeur à mi-hauteur ~25 MHz. Un profil de gain rectangulaire peut être obtenu avec une pompe constituée d'un peigne de fréquences d'amplitude égale et uniformément espacées de 10 à 15 MHz [5]. Le signal électrique de contrôle de la pompe est réalisé au moyen d'un générateur de signaux arbitraires. Le nombre des fréquences est déterminé par la bande de gain visée. L'amplitude et la phase initiale de chaque fréquence peuvent être ajustées numériquement avec précision. Les non-linéarités induites par les composants (modulateur d'intensité, amplificateur électrique, DAC, ...)

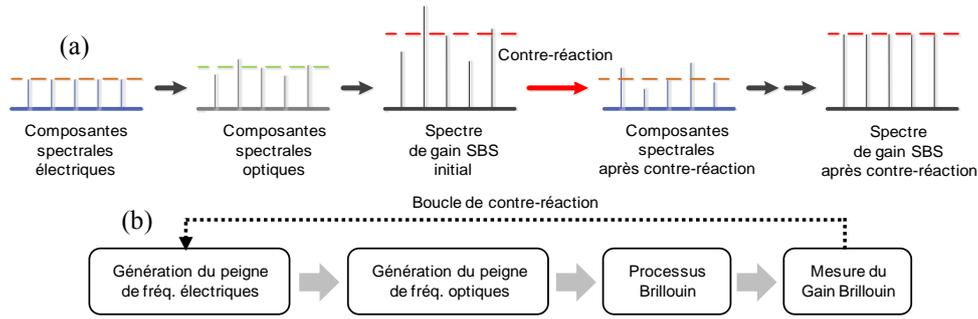


Fig. 1 : (a) Représentation schématique des spectres électriques, optiques et de gain Brillouin avant et après processus de contre-réaction, (b) principe du processus de contre-réaction.

engendrent des fluctuations du profil de gain. Le gain Brillouin G_{dB} est proportionnel à la puissance de pompe P_p (i.e. $G = \exp(C_B P_p L_{eff})$). L'amplitude de l'onde pompe est proportionnelle à l'amplitude du signal électrique de commande du modulateur optique. A l'initialisation, un peigne de fréquences d'égale amplitude est généré. Le gain Brillouin est mesuré avec un analyseur de réseaux électrique. Les nouvelles valeurs de l'amplitude électrique A_{elec} pour chaque fréquence sont calculées à partir de l'expression suivante :

$$\frac{G_{dB \text{ final}}}{G_{dB \text{ actuel}}} = \frac{P_p \text{ final}}{P_p \text{ actuel}} = \left(\frac{A_{elec \text{ final}}}{A_{elec \text{ actuel}}} \right)^2 \quad (1)$$

Le montage expérimental est présenté sur la figure 2 [5]. Un même laser à 1550 nm est utilisé pour la génération de l'onde pompe et l'onde signal. Un générateur de signaux arbitraire (Tektronix AWG7122B) génère un peigne de fréquences espacées de 10 ou 15 MHz. Un modulateur I&Q permet le transfert direct du spectre électrique dans le domaine optique. Le gain Brillouin est ajusté par la puissance de la pompe dont le niveau est fixé par un EDFA. L'amplification Brillouin est réalisée dans un tronçon de ~20km de fibre G-652. La bande de gain Brillouin est décalée de ~11 GHz. L'onde sonde, fournie par un analyseur de réseaux électrique couplé à un modulateur d'intensité (MZM), permet de couvrir la région qui présente du gain Brillouin. Un filtre optique permet de rejeter la bande latérale proche la pompe. Un filtre optique permet de rejeter la bande latérale proche la pompe.

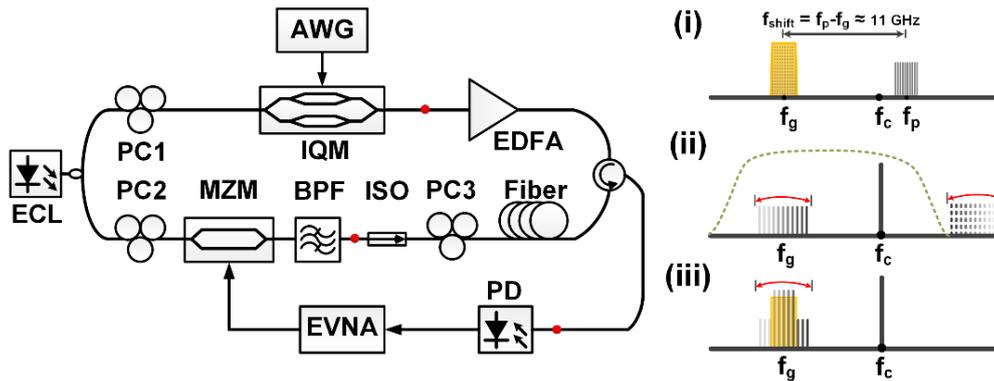


Fig. 2 : Schéma expérimental : (i) laser f_c , pompe f_p , gain SBS autour de f_g , (ii) signal de sonde, (iii) signal de sonde amplifié

3. RESULTATS EXPERIMENTAUX

Des mesures de gain Brillouin sont présentées sur la figure 3. La largeur de bande est fixée à 500 MHz (i.e. 50 fréquences espacées de 10 MHz). Dans le cas d'un peigne de fréquences de même amplitude, les variations du gain Brillouin peuvent atteindre $\pm 2.5 \text{ dB}$. La mise en place de la contre-réaction permet de réduire la fluctuation de gain à $\pm 0.35 \text{ dB}$. Les valeurs résiduelles des fluctuations augmentent avec la bande passante. Pour un gain de 15 dB, les fluctuations sont $\pm 0.49 \text{ dB}$, $\pm 0.8 \text{ dB}$,

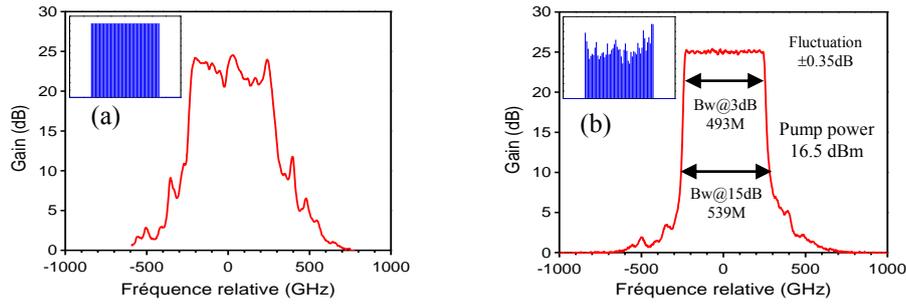


Fig. 3. Gain Brillouin sans (a) et avec (b) boucle de contre-réaction (insert : spectre électrique de pompe)

± 1.05 dB, ± 1.75 dB et ± 1.85 dB pour des bandes de 1 GHz, 1.5 GHz, 2 GHz, 2.5 GHz et 3 GHz. L'accroissement de la fluctuation de gain peut être attribué à un phénomène de FWM de l'onde pompe dans la fibre. Une bande de gain élevée requiert un grand nombre de fréquences électriques ainsi qu'une puissance de pompe plus importante. Le phénomène de FWM redistribue la puissance sur les fréquences adjacentes et génère également des composantes fréquentielles en dehors de la bande de gain. Dans le cas d'un espacement uniforme, les composantes FWM interfèrent avec les fréquences initiales. Le gain Brillouin variant exponentiellement avec la puissance de pompe, une faible variation d'amplitude de l'onde de pompe engendre une variation significative du gain. Afin de minimiser les phénomènes d'interférence, nous proposons d'introduire un espacement aléatoire entre les fréquences (14 MHz, 15 MHz ou 16 MHz dans notre cas) [6]. Dans ce cas, les termes de FWM sont générés à des fréquences différentes. La Figure 4 présente les profils de gain (en module et phase) obtenus pour différentes valeurs de bande passante. L'utilisation d'une fibre optique présentant un seul pic Brillouin a permis de réduire encore un peu plus le gain hors-bande.

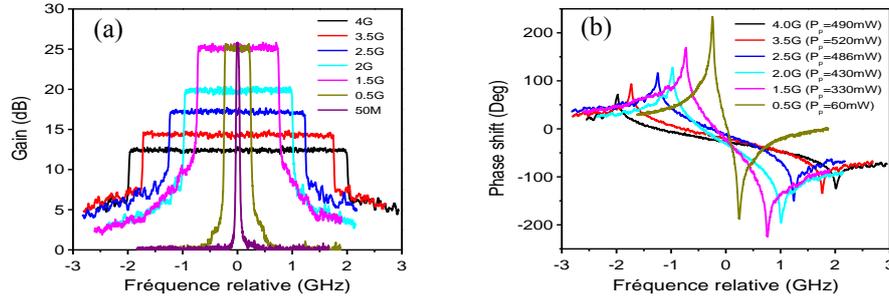


Fig. 4. Spectres Brillouin pour différentes bandes passantes de gain : (a) module (b) phase

4. CONCLUSION

La réalisation d'un profil de gain Brillouin rectangulaire de bande passante ajustable entre 50 MHz et 4 GHz avec une résolution de 10 MHz a été démontrée. Un contrôle très précis de l'amplitude des fréquences de la pompe a permis d'améliorer la planéité du gain et la réjection du gain hors-bande. Une fluctuation du gain $< \pm 0.35$ dB a été obtenue pour une bande passante de 500 MHz et un gain de 25 dB.

REFERENCES

- [1] T. Tanemura, Y. Takushima and K. Kikuchi, "Narrowband optical filter, with a variable transmission spectrum, using stimulated Brillouin in optical fiber" *Opt. Lett.* **27**, 1552-1554 (2002).
- [2] T. Sakamoto, T. Yamamoto, K. Shiraki and T. Kurashima, "Low distortion slow light Brillouin gain spectrum by using optical frequency com" *Opt. Express* **16**, 8026-8032 (2008).
- [3] A. Zadok, A. Eyal and M. Tur, "Gigahertz-Wide optical reconfigurable filters using stimulated Brillouin scattering" *J. Lightwave Technol.* **25**, 2168-2174 (2007).
- [4] L. Yi, Y. Jaouën, W. Hu, Y. Su and S. Bigo, "Improved slow-light performance of 10 Gb/s NRZ, PSBT and DPSK signal in fiber broadband SBS" *Opt. Express* **15**, 16972-16979 (2007).
- [5] W. Wei, L. Yi, Y. Zhang, Y. Jaouën, Y. Song and W. Hu, "A bandwidth-tunable narrowband rectangular optical filter based on stimulated Brillouin scattering" *OFC'14*, paper WH1.5 (2014)
- [6] W. Wei, L. Li, Y. Jaouën, Y. Dong and W. Hu, "An ultra-flat rectangular optical filter based on stimulated Brillouin scattering in fibre" *ECOC'14*, paper P.1.7 (2014)