

MESURE DISTRIBUEE DU GAIN D'UN AMPLIFICATEUR PARAMETRIQUE A FIBRE OPTIQUE PAR RETRODIFFUSION BRILLOUIN

Armand Vedadi ¹, Dario Alasia ², Eric Lantz ¹, Hervé Maillotte ¹, Luc Thévenaz ²,
Miguel González-Herráez ³, et Thibaut Sylvestre ¹

¹Département d'Optique P.M. Duffieux, Institut FEMTO-ST, Université de Franche-Comté, CNRS
UMR 6174, 25030 Besançon, France

²Laboratoire de Nanophotonique et Métrologie, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne,
Lausanne CH-1015, Suisse

³Departamento de Electrónica - Escuela Politécnica - Universidad de Alcalá, Madrid, Espagne.

armand.vedadi@univ-fcomte.fr

RESUME

Nous avons réalisé, pour la première fois à notre connaissance, une mesure distribuée du gain paramétrique d'un amplificateur à fibre optique. La technique repose sur une analyse de la rétrodiffusion Brillouin dans le domaine temporel. Elle a permis de mettre en évidence différents régimes de gain paramétriques.

MOTS-CLEFS : *amplificateur paramétrique à fibre, technique de mesure distribuée, Brillouin*

1. INTRODUCTION

Les amplificateurs paramétriques à fibre optique (FOPAs) font actuellement l'objet de nombreuses recherches en raison de leurs applications potentielles aux futurs systèmes de transmission nécessitant une grande bande passante [1]. Les FOPAs sont basées sur un processus de mélange à quatre ondes dont l'efficacité dépend de l'accord de phase κ entre une pompe dégénérée (ou deux pompes distinctes), le signal co-propagatif à amplifier et l'idler généré. Il est aussi nécessaire de positionner la pompe dégénérée (ou le milieu des deux pompes) proche de la longueur d'onde de dispersion nulle λ_0 de la fibre amplificatrice pour atteindre une grande bande de gain, en rendant κ négligeable sur une grande plage spectrale. Or en pratique, les fluctuations inévitables de λ_0 le long de la fibre, ainsi que d'éventuels phénomènes de saturation des pompes peuvent entraîner des fluctuations de l'accord de phase, réduisant ainsi les performances des FOPAs [2,3]. Il apparaît donc utile d'étudier le comportement des FOPAs le long de la fibre amplificatrice. Une approche originale, basée sur la rétrodiffusion Rayleigh a été récemment proposée pour mesurer le gain paramétrique accumulé sans donner d'information sur l'évolution de l'accord de phase [4]. Dans ce travail, nous proposons et démontrons une autre approche, basée sur une analyse Brillouin dans le domaine temporel (B-OTDA) [5], et qui permet de suivre l'évolution du gain paramétrique d'un signal au cours de l'amplification. En particulier, elle nous a permis de mettre en évidence les régimes de gain exponentiels et paraboliques caractéristiques des FOPAs, ainsi que leur variations longitudinales dans les FOPAs à pompe unique dégénérée.

2. PRINCIPE

Le B-OTDA repose sur l'interaction Brillouin entre une « pompe B-OTDA » pulsée et une « sonde » contra-propagative continue permettant d'effectuer une mesure distribuée de la sonde le long d'une fibre. Dans notre méthode, la pompe B-OTDA à la fréquence ν_B est utilisée comme signal et injectée co-propagation avec la « pompe FOPA » à fréquence ν_P dans la fibre amplificatrice. En l'absence de saturation, le gain paramétrique s'appliquant à la pompe B-OTDA à la côte z s'écrit:

$$G = \frac{P_B(z)}{P_B(0)} = 1 + \left(\frac{\gamma P_P}{g} \sinh(g \times z) \right)^2 \quad (1)$$

avec P_B la puissance de la pompe B-OTDA, P_P la puissance de la pompe FOPA, γ le coefficient non linéaire de la fibre monomode et g le gain linéaire qui dépend de κ . En réglant la sonde contra-

propagative à la fréquence $\nu_A = \nu_B + \Delta\nu_B$, $\Delta\nu_B$ étant le décalage Brillouin de la fibre, sa puissance sera diminuée de ΔP_A par interaction Brillouin à l'endroit de la fibre où elle rencontre une impulsion de la pompe B-OTDA :

$$\Delta P_A = \frac{g_B}{A_{\text{eff}}} P_A(z) \times P_B(z) \Delta z \quad (2)$$

Cette diminution dépend du gain Brillouin linéaire g_B , de l'aire effective A_{eff} et de la largeur d'impulsion Δz de la pompe B-OTDA. En analysant sur un oscilloscope la trace temporelle de la sonde, il est ainsi possible de retrouver $P_B(z)$ et d'en déduire le gain paramétrique à partir de l'éq. (1). L'avantage d'utiliser une sonde du côté anti-Stokes est d'éviter de saturer la pompe B-OTDA. Ainsi il sera possible d'utiliser des impulsions de faible puissance comparée à la pompe FOPA pour ne pas saturer non plus le FOPA.

3. MONTAGE EXPERIMENTAL

Le montage expérimental est représenté sur la figure 1. La pompe FOPA est obtenue à partir d'un laser accordable (TL) modulé en phase par un générateur de séquences binaires pseudo-aléatoires (PRBS) modulé à 3,5 GHz pour éviter l'émission Brillouin spontanée dans le FOPA avant d'être amplifié puis filtré respectivement par un EDFA à 33dBm et un filtre d'1 nm de bande passante. Pour stabiliser très précisément le décalage entre ν_A et ν_B à $\Delta\nu_B$, la sonde est modulée en intensité par un signal RF à $\Delta\nu_B$. La fréquence de la pompe B-OTDA est alors calée sur la bande latérale $\nu_A - \Delta\nu_B$ par injection optique [6]. Les impulsions de la pompe B-OTDA sont générées en utilisant un SOA dont le gain est asservi à des séquences de portes électriques. La polarisation de la pompe B-OTDA est brouillée (PS) pour garantir une interaction Brillouin insensible à la phase. Les pompes FOPA et B-OTDA sont injectées dans la fibre via un coupleur 99/1. La sonde contra-propagative est extraite grâce à un circulateur optique, avant d'être analysée sur un oscilloscope synchronisé sur la fréquence de répétition des impulsions de la pompe B-OTDA.

4. RESULTATS

Au cours de l'expérience nous disposons d'une fibre hautement non linéaire (HNL) avec $\gamma = 11,2 \text{ W}^{-1}\text{km}^{-1}$, $\lambda_0 = 1553 \text{ nm}$, $L = 500 \text{ m}$ ainsi qu'une fibre à dispersion décalée (DSF) où $\gamma = 2 \text{ W}^{-1}\text{km}^{-1}$, $\lambda_0 = 1549,5 \text{ nm}$, $L = 3.1 \text{ km}$. La longueur d'onde de la sonde était fixée à 1550,8 nm tandis que la durée des impulsions de la pompe B-OTDA était réglée à 100 ns permettant une résolution longitudinale de 10 m. La puissance injectée de la pompe FOPA est estimée à 400 mW.

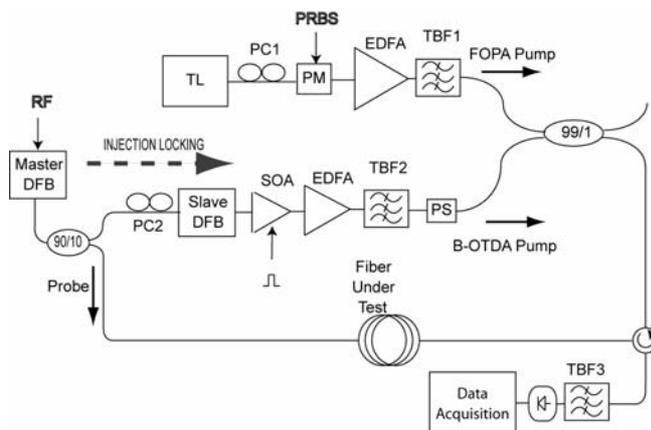


Figure 1 : Montage expérimental. TBF: filtre de Bragg accordable, PM: modulateur de phase, PC: contrôleur de polarisation.

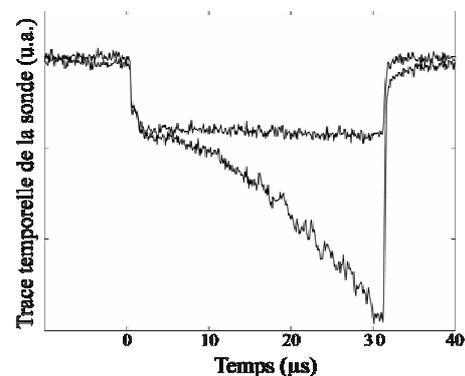


Figure 2 : Trace oscilloscope de la sonde lorsque la pompe FOPA est allumée (trait plein) ou éteinte (traits pointillés).

La figure 2 illustre la trace temporelle de la sonde se propageant dans la DSF lorsque la pompe FOPA est respectivement allumée et éteinte, montrant clairement l'amplification paramétrique de la pompe B-OTDA le long du FOPA. Les figures 3(a-b) représentent le gain paramétrique retrouvé à partir de l'équation (2). En particulier la figure 3(a) présente respectivement le régime de gain exponentiel obtenu pour un accord de phase parfait, et le régime parabolique obtenu pour une fréquence de pompe FOPA proche du signal dans la DSF. La figure 3(b) présente la mesure distribuée du gain paramétrique dans la HNLF dans les deux sens de la fibre. Ces résultats indiquent un même gain en sortie dans les deux directions mais des fluctuations longitudinales différentes. Précisons que du fait du brouillage de la polarisation, nous avons considéré que seulement la moitié de la puissance de pompe B-OTDA subit l'amplification paramétrique. Les gains paramétriques théoriques issus de l'équation (1) sont aussi représentés par les courbes pointillées et montrent un bon accord avec l'expérience. Les variations longitudinales à grandes échelles (quelques dizaines de mètres) constatées par rapport à la théorie peuvent être la signature de la nature sensible des FOPAs aux conditions d'accord de phase et aux fluctuations de dispersion.

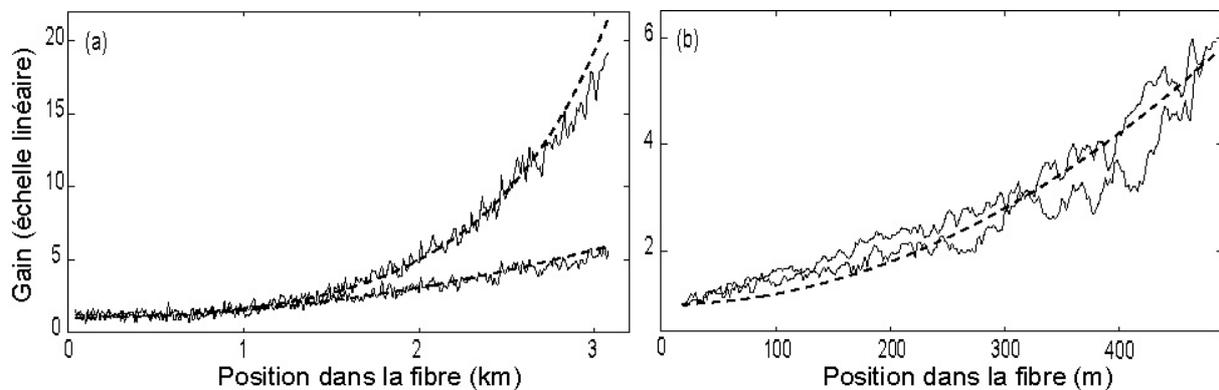


Figure 3 a) Mesures distribuées du gain paramétrique dans la DSF pour deux régimes différents. b) Gain paramétrique dans les sens de la fibre HNLF.

CONCLUSION

Par une méthode d'analyse temporelle basée sur l'effet Brillouin, nous avons réussi pour la première fois à notre connaissance, à réaliser une mesure distribuée du gain paramétrique dans un amplificateur à fibre à pompe unique dégénérée. Cette expérience peut facilement être répétée pour étudier d'autres architectures de FOPA, notamment les FOPAs à deux pompes. A partir de l'évolution du gain paramétrique, il est possible d'en déduire une cartographie des fluctuations longitudinales de λ_0 .

REMERCIEMENTS

Ce travail a été financé par le conseil régional de Franche-Comté, ainsi que par l'Europe (COST 299). Les auteurs remercient Sumitomo et Alcatel R&I pour le prêt de la fibre HNLF.

RÉFÉRENCES

- [1] J. Hansryd et al IEEE JSTQE. 8 (2002), 506.
- [2] M. Karlsson, J. Opt. Soc. Am. B 15 (1998), 2269.
- [3] A. Mussot et al IEEE Photon. Tech. Lett. 18 (2006) 22.
- [4] B-E. Olsson et al OFC, OWT3 (2006).
- [5] K.-Y Song et al IEEE J. Lightwave Tech. 23 (2005), 4140.
- [6] L Thévenaz et al, Meas. Sci. Tech. 15 (2004), 1519.