

# COMPARAISON ENTRE MODULATION DE PHASE ALEATOIRE ET SINUSOIDALE POUR SUPPRIMER LA DIFFUSION BRILLOUIN STIMULEE

Marc LeParquier<sup>1</sup>, Pascal Szriftgiser<sup>1,2</sup>, Arnaud Mussot<sup>1,2</sup>, Damien Ceus<sup>2</sup>, Jacques Luce<sup>3</sup> et Denis Penninckx<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Centre d'Etudes et de Recherches Lasers et Applications, Université de Lille 1 Science et Technologies, 59650 Villeneuve d'Ascq, France

<sup>2</sup> Laboratoire de Physique des Lasers, Atomes et Molécules, UMR CNRS 8523, Université de Lille 1 Science et Technologies, 59650 Villeneuve d'Ascq, France

<sup>3</sup> Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives, Centre d'Etudes Scientifiques et Techniques d'Aquitaine, B.P. No. 2 F-33114 Le Barp, France

[marc.le-parquier@univ-lille1.fr](mailto:marc.le-parquier@univ-lille1.fr)

## 1. RÉSUMÉ

Nous rapportons une étude statistique de l'efficacité de la suppression de la rétrodiffusion Brillouin lors de l'élargissement spectral de la pompe par une modulation de phase aléatoire comparée à une modulation déterministe sinusoïdale. Les applications visées sont la suppression du Brillouin pour les amplificateurs paramétriques optiques à fibre (FOPA). Notre étude montre de manière surprenante une grande fiabilité de la modulation de phase par une source de bruit RF dès lors que la bande passante utilisée est suffisamment large.

**MOTS-CLEFS :** *Diffusion Brillouin Stimulée; Modulation de phase; source de bruit blanc; statistiques.*

## 2. INTRODUCTION

Les performances des amplificateurs paramétriques optiques à fibre (FOPA) sont limitées par l'apparition de la rétrodiffusion Brillouin stimulée (SBS). Afin de s'affranchir de ce processus, il est d'usage de dégrader la cohérence de l'onde pompe continue de ces amplificateurs en la modulant en phase [1]. Le contrôle du modulateur de phase peut se faire par une large gamme de formats de modulations : séquences binaires pseudo-aléatoires, sinusoïdes, multifréquences, dérive de fréquence [2], [3], ou encore, plus récemment, aléatoire par une source de bruit RF [2], [4]. Les sources de modulation de phase basées sur une source de bruit RF ont l'avantage de maintenir de bonnes performances moyennes pour un coût très modeste et une mise en œuvre très rapide [2], [4]. Mais des questions sur leur fiabilité peuvent se poser. Si ce format de modulation est très efficace en moyenne, puisqu'un signal de type aléatoire est mis en œuvre, il est légitime de s'interroger si de rares apparitions transitoires de la SBS sont susceptibles d'apparaître. Aussi rare soient elles, nous rappelons qu'une seule défaillance du dispositif de suppression peut engendrer d'importants dommages dans une chaîne d'amplification.

Nous présentons ici des mesures sur un grand nombre d'échantillons avec un traitement statistique pour évaluer la probabilité d'apparition d'événements rares qui se traduiraient par un « pic » de rétrodiffusion Brillouin.

## 3. PRINCIPE EXPERIMENTAL

Le schéma expérimental est présenté dans la figure 1. Un laser fibré monomode est modulé en phase, puis amplifié dans un amplificateur à fibre dopée erbium. La lumière passe dans un circulateur, un coupleur 99/1, et est finalement injectée dans une fibre monomode standard (SMF)

d'une longueur de 3900m. Une mesure de puissance de la lumière injectée est faite par le biais du coupleur 99/1 et le retour du circulateur est renvoyé sur une photodiode rapide pour une acquisition de la puissance Brillouin rétro-diffusée en temps réel, ainsi que pour des mesures optiques du seuil Brillouin.

La modulation de phase se fait soit par un signal sinusoïdal de référence de fréquence 200 MHz, soit par une source de bruit RF de bande spectrale ajustable entre dont la fréquence de coupure basse est 20MHz et la fréquence de coupure haute est variable entre 50 et 430MHz.

Chaque courbe de seuil comporte 74 points de mesures de la puissance rétro-diffusée en fonction de la puissance injectée  $\{P_{\text{injecté}}, P_{\text{rétro-diffusée}}\}$ . Pour chacun de ces 74 points de mesures, la puissance rétro-diffusée est enregistrée par un oscilloscope rapide de résolution verticale 12 bits. La fréquence d'échantillonnage est de 500 MHz. La bande passante effective de l'oscilloscope est donc de 250 MHz, très supérieure à la largeur naturelle de la résonance Brillouin (~20 MHz). Cela nous permet donc de résoudre et donc de détecter tous les éventuels événements rares susceptibles d'apparaître sur l'ensemble des 2,5 millions de points de la séquence d'acquisition que l'on caractérise par sa valeur moyenne (puissance rétro-diffusée) et son écart-type ainsi que les histogrammes correspondants.

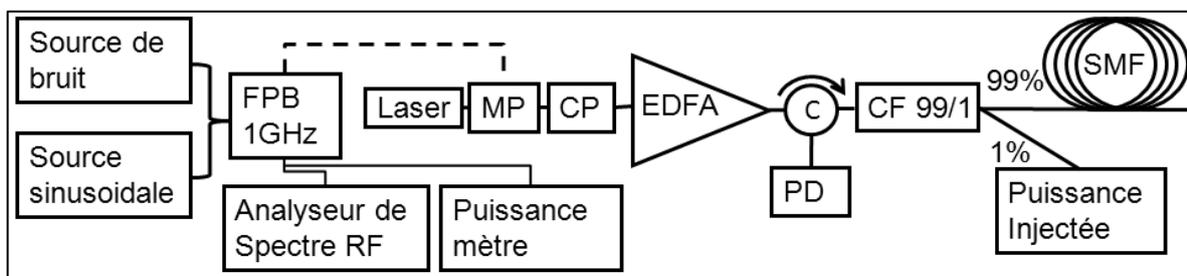


Fig 1 : Montage expérimental ; FPB, Filtre passe bas; MP, Modulateur de phase; CP, contrôleur de polarisation; EDFA, Erbium doped fiber amplifier; C, circulateur; PD, photodiode; CF, coupleur fibré; SMF, single mode fiber.

#### 4. RESULTATS EXPERIMENTAUX

Le niveau de puissance injecté au modulateur de phase est ajusté de façon à ce que le seuil Brillouin soit rigoureusement le même quel que soit le signal (sinusoïde de référence à 200Mhz et bruits de différentes largeurs spectrales).

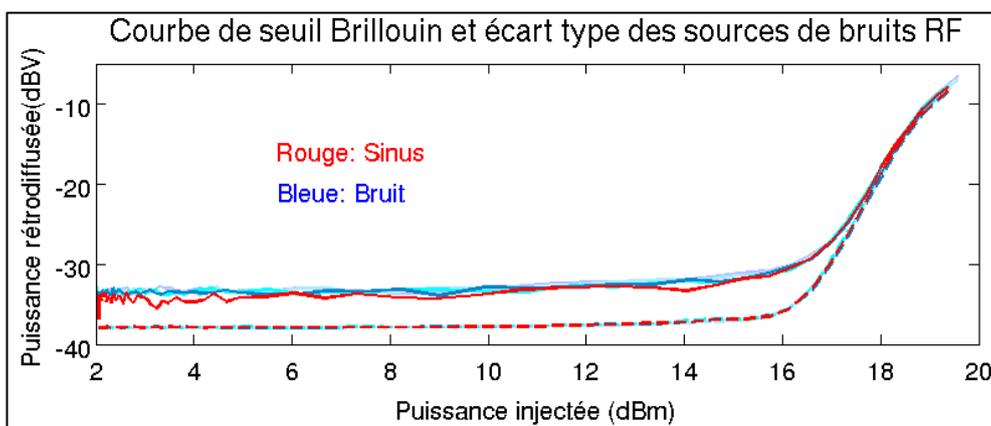


Fig 2 : Traits pleins : puissance moyenne rétrodiffusée en fonction de la puissance injectée. Tirets : écart type de la puissance rétrodiffusée en fonction de la puissance injectée. La source de référence (modulation sinusoïdale) est en rouge et les sources de bruit sont en bleu.

La figure 2 représente ainsi l'évolution de la puissance rétrodiffusée en fonction de la puissance injectée dans la fibre pour les différentes sources de modulation RF. La mesure de l'écart type montre un comportement analogue des différentes sources de modulation. Cependant le point d'inflexion de l'écart type (à 16dBm) montre que des événements rares peuvent apparaître avant le seuil Brillouin, même pour une modulation déterministe comme l'est la modulation sinusoïdale. Ceci est dû au démarrage de la rétrodiffusion Brillouin sur le bruit quantique. On pourrait craindre que l'utilisation d'une modulation aléatoire augmente la probabilité d'événement rare mais son écart-type n'est pas supérieur à celui d'une modulation sinusoïdale.

La figure 3 le confirme avec les histogrammes des acquisitions. En chaque point d'abscisse (la puissance injectée) nous traçons la distribution des 2,5 Mpoints de mesures de la puissance rétrodiffusée en échelle de couleur. Les histogrammes sont tous très piqués sous le seuil Brillouin. Au-delà du seuil, les distributions s'étalent. Sans que cela se ressente sur l'écart-type, il apparaît que la distribution s'étale un peu plus lorsque la largeur spectrale de la modulation aléatoire est faible.

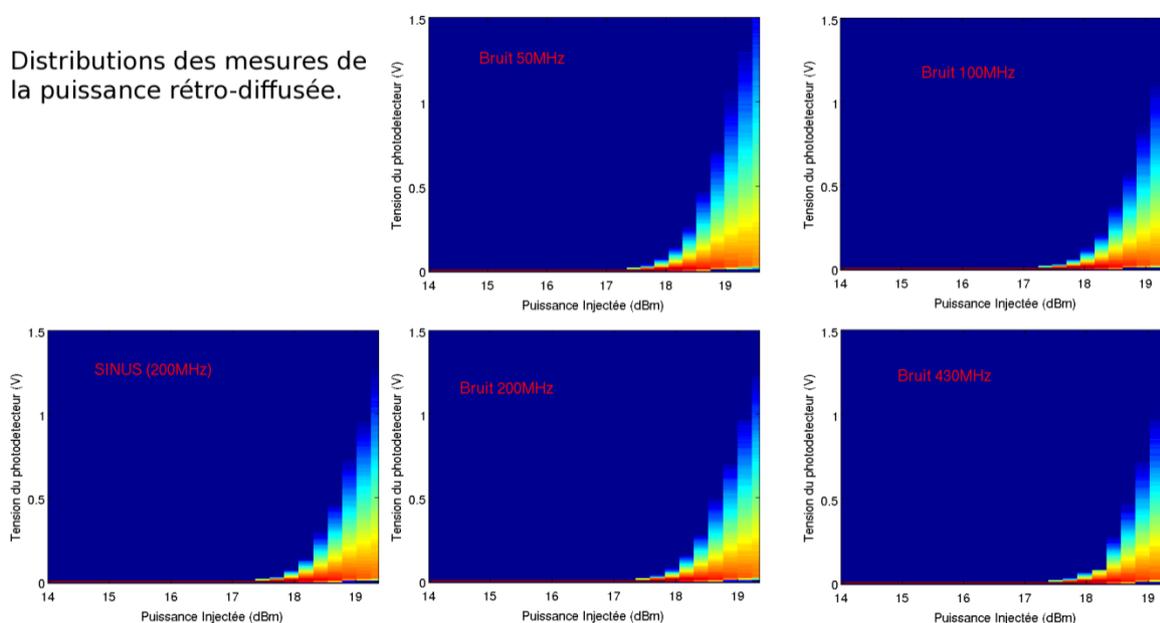


Fig 3 : histogrammes des acquisitions du photodétecteur.

Ainsi, comme l'objectif des modulations de phase est de se placer sous le seuil Brillouin, les sources de bruit RF offrent une alternative viable aux modulations sinusoïdales puisqu'aucune différence n'est détectable.

## 5. RÉFÉRENCES

- [1] J. Hansryd, P. A. Andrekson, M. Westlund, J. Li, and P.-O. Hedekvist, "Fiber-based optical parametric amplifiers and their applications," *Selected Topics in Quantum Electronics, IEEE Journal of*, vol. 8, no. 3, pp. 506–520, 2002.
- [2] J. B. Coles, B.-P. Kuo, N. Alic, S. Moro, C.-S. Bres, J. M. Boggio, P. A. Andrekson, M. Karlsson, and S. Radic, "Bandwidth-efficient phase modulation techniques for stimulated Brillouin scattering suppression in fiber optic parametric amplifiers," *Optics express*, vol. 18, no. 17, pp. 18138–18150, 2010.
- [3] S. Hocquet, D. Penninckx, J.-F. Gleyze, C. Gouédard, and Y. Jaouën, "Nonsinusoidal phase modulations for high-power laser performance control: stimulated Brillouin scattering and FM-to-AM conversion," *Appl. Opt.*, vol. 49, no. 7, pp. 1104–1115, 2010.
- [4] A. Mussot, M. Le Parquier, and P. Szriftgiser, "Thermal noise for SBS suppression in fiber optical parametric amplifiers," *Optics Communications*, vol. 283, no. 12, pp. 2607–2610, Jun. 2010.