

DÉMONSTRATION D'UN AMPLIFICATEUR PARAMÉTRIQUE OPTIQUE FONCTIONNANT À 1 μm À L'AIDE D'UNE FIBRE MICROSTRUCTURÉE

M. W. Lee¹, T. Sylvestre¹, M. Delqué¹, A. Kudlinski², A. Mussot², J.-F. Gleyze³, A. Jolly³, J. Hauden⁴, N. Grossard⁴ et H. Maillotte¹

¹ Institut FEMTO-ST, Université de Franche-Comté, CNRS UMR 6174, 25030 Besançon

² Université de Lille1, IRCICA, Laboratoire PhLAM, CNRS UMR 8523, 59655 Villeneuve d'Ascq

³ CEA, CESTA, chemin des sablières, 33114 Le Barp, BP2

⁴ PHOTLINE Technologies, F-25001 Besançon

thibaut.sylvestre@univ-fcomte.fr

RÉSUMÉ

Nous avons réalisé un amplificateur paramétrique entièrement fibré fonctionnant dans la bande 1 μm et dédié au traitement tout-optique d'impulsions brèves. L'amplification paramétrique est obtenue à l'aide d'une fibre optique microstructurée présentant une dispersion anormale nécessaire à l'accord de phase. Les résultats expérimentaux montrent que le gain d'amplification atteint plus de 43 dB avec un bon rapport signal à bruit. Ces résultats sont validés par la théorie du mélange à quatre ondes en tenant compte du gain Raman.

MOTS-CLEFS : *Amplification paramétrique à fibre optique, fibre optique microstructurée, amplification Raman*

1. INTRODUCTION

Les amplificateurs paramétriques à fibre optique ont fait l'objet de nombreuses recherches ces dernières années pour leurs applications diverses aux nouvelles technologies de traitement tout-optique du signal [1]. Connus pour leur faible facteur de bruit, ces amplificateurs à fibre possèdent également une bande-passante accordable qui peut atteindre une centaine de nanomètre et des gains nets allant jusqu'à 70 dB [2, 3]. A ce jour, la plupart des démonstrateurs ont été réalisés à 1,5 μm dans la fenêtre des télécommunications optiques. Mais aux vues des récents développements effectués dans la bande Ytterbium et YAG, il semble utile d'étendre leur domaine de fonctionnement dans la bande 1 μm . Dans cette communication, nous présentons un amplificateur paramétrique opérant dans la bande 1 μm et dédié au traitement tout-optique d'impulsions brèves à 1053 nm, longueur d'onde du laser PetaWatt Aquitaine (PETAL) [4]. De façon plus précise, il répond aux besoins spécifiques de l'amplification par dérive de fréquence d'impulsions femtosecondes à 1 μm (OPCPA, pour optical parametric chirp-pulse amplification) [5]. Comparé à la première démonstration de faisabilité récemment reportée dans la littérature [6], l'amplificateur paramétrique présenté dans ce travail est entièrement fibré et à maintien de polarisation, et directement compatible avec l'application souhaitée.

2. MONTAGE EXPÉRIMENTAL

Le schéma de l'expérience est représenté sur la figure 1. L'émission continue à 1065,8 μm du laser est convertie en impulsions par un modulateur d'intensité LiNbO_3 conçu spécialement pour la longueur d'onde de 1 μm . Le modulateur est commandé par un générateur d'impulsions et un amplificateur RF. Afin d'éviter la diffusion Brillouin qui diminue l'efficacité de l'amplification paramétrique et d'obtenir le maximum de puissance crête, la largeur d'impulsion et le rapport cyclique sont choisis respectivement à 3,4 ns et 1/16. Les impulsions sont ensuite amplifiées par un amplificateur à fibre dopée à l'Ytterbium (YDFA) de puissance 33 dBm. L'émission spontanée amplifiée (ASE) résiduelle de l'YDFA est supprimée par un filtre passe bande centré à 1065,8 nm. Un laser DFB à fibre à 1053 nm est utilisé comme signal optique à amplifier. Ce dernier est mélangé avec la pompe à l'aide d'un coupleur 99/1 à maintien de

polarisation. A la sortie de la fibre, les signaux sont détectés sur un analyseur de spectre optique (OSA) et sur un oscilloscope. La fibre optique microstructurée air-silice à coeur solide possède une longueur d'onde de dispersion nulle à 1065 nm. Une image de la section transverse de la fibre est présentée en encart dans la figure 1. L'espacement et le diamètre des trous d'air sont 4,14 μm et 2,61 μm . L'atténuation totale sur la longueur de 400 m est 8,1 dB. La longueur d'onde de pompe est accordée à 1065,8 nm en zone de faible dispersion anormale de la fibre de manière à procurer une bande de gain paramétrique.

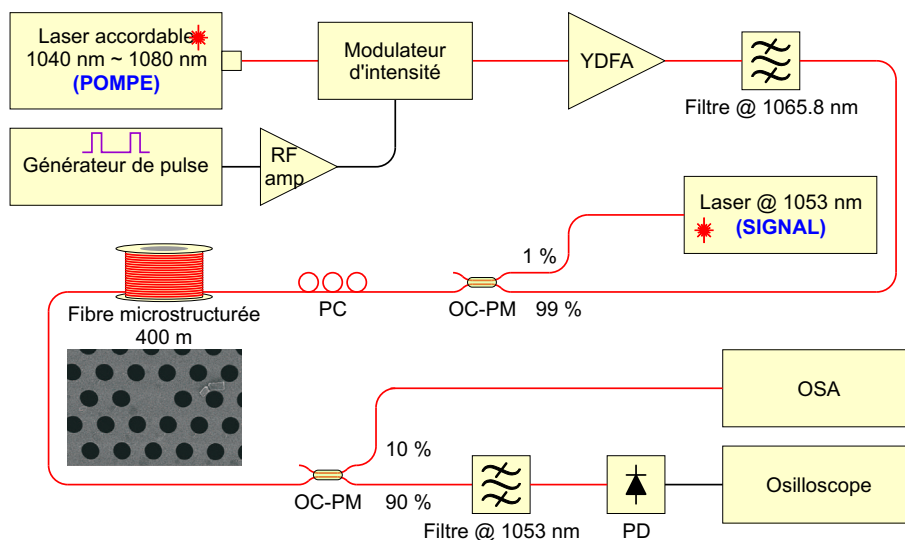


FIG. 1 : Schéma expérimental. RF Amp : Amplificateur RF, YDFA : Amplificateur à fibre dopée à l'Ytterbium, OC-PM : Coupleur optique à maintien de polarisation, PC : Contrôleur de polarisation, PD : photodétecteur, OSA : Analyseur spectre optique. La polarisation est maintenue dans toute la configuration.

3. RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

Les résultats expérimentaux sont présentés dans les figures 2 et 3. Comme le montre la figure 2(a), le signal à 1053 nm est amplifié par 24,5 dB, de $-33,5$ dBm à -9 dBm, pour une puissance crête de la pompe de 2,4 W. Le signal continu étant converti en impulsions rectangulaires avec un rapport cyclique de 1/16, la puissance crête du signal atteint par conséquent 2,1 dBm ce qui correspond à un gain paramétrique effectif de 35,6 dB. L'amplificateur montre également une conversion très efficace de longueur d'onde. L'onde conjugué idler apparaît effectivement à 1079 nm avec une puissance un peu plus élevée que celle du signal. Ce déséquilibre de puissance est dû au gain Raman qui assiste la conversion paramétrique de fréquence. On peut noter également sur cette figure l'apparition d'harmoniques par mélange à quatre ondes (FWM) à 1040,7 nm et à 1092,4 nm. Malgré le filtre à 1065,8 μm , on peut observer un bruit de fluorescence paramétrique au pied du signal et de l'idler, ce qui a tendance à détériorer le rapport signal sur bruit. Par ailleurs, on peut estimer la bande-passante de gain à partir du bruit de fluorescence paramétrique. La figure 2.(b) montre le gain paramétrique en fonction de la puissance crête de pompe. En augmentant la puissance de pompe, le gain pour le signal à 1053 nm augmente exponentiellement jusqu'à atteindre un maximum 43 dB. Au delà de la puissance de 2,8 W, le gain sature à cause de l'atténuation de la pompe et du bruit de fluorescence paramétrique. En considérant l'atténuation de la fibre de 8,1 dB, le gain net paramétrique est de 34,9 dB.

Comme le signal laser n'est pas accordable, nous avons extrait la bande de gain à partir du spectre de fluorescence paramétrique de la figure 2(a). La bande-passante ainsi obtenue est présentée sur la figure 3. Le signal, la pompe, l'idler et les harmoniques ont été supprimés et la courbe de gain est ajustée pour que le maximum de gain à 1053 nm corresponde au gain de 35,6 dB obtenu sur la figure 2(a). La courbe rouge de la figure 3 montre un ajustement obtenu par la théorie de gain paramétrique en tenant compte

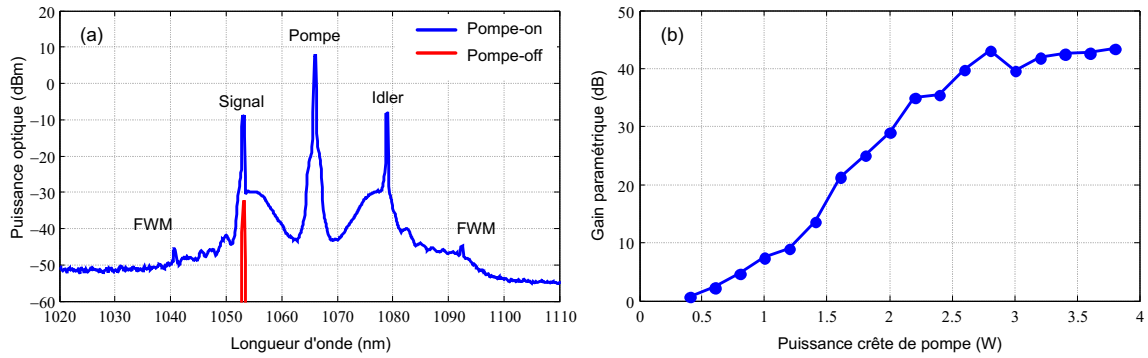


FIG. 2 : (a) Spectres optiques enregistrés à la sortie de l'amplificateur paramétrique avec (courbe bleue) et sans (courbe rouge) pompe pour une puissance crête de 2,4 W. (b) Gain paramétrique à 1053 nm en fonction de la puissance de pompe.

du gain Raman. Cet ajustement nous donne une longueur de dispersion nulle à 1065 nm et un coefficient non linéaire de $9,1 \text{ W}^{-1}\text{km}^{-1}$. Ces valeurs correspondent à celles estimées par une méthode d'élément fini à partir de la section transversale de la fibre optique.

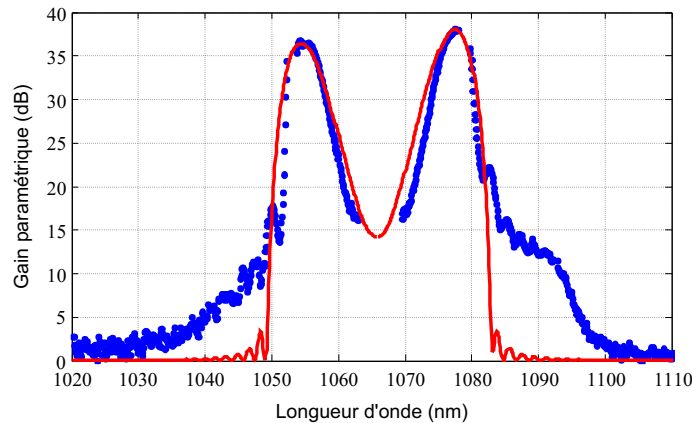


FIG. 3 : Bande de gain de l'amplificateur paramétrique pour une puissance crête de 2,4W ; Gain expérimental extrait de la figure 2(a) (points bleus), Théorie (ligne continue rouge).

4. CONCLUSION

Un amplificateur paramétrique a été réalisé à l'aide d'une fibre optique microstructurée pour des applications dans la bande $1 \mu\text{m}$, en particulier pour l'amplification par dérive de fréquence d'impulsion de très haute énergie. Le gain paramétrique pour le signal à 1053 nm atteint 43 dB par une pompe pulsée par un modulateur d'intensité et de puissance crête 2,4W. L'amplificateur offre également une très bonne efficacité de conversion de fréquence.

RÉFÉRENCES

- [1] M. E. Marhic, *Fiber Optical Parametric Amplifiers, Oscillators and Related Devices*, Cambridge University Press, Cambridge, 2007.
- [2] T. Torounidis et al, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 18, pp. 1194, 2006.
- [3] M.E. Marhic et al., *IEEE Select. Topics Quantum Electron.*, vol. 10, pp. 1133, 2004.
- [4] A. Jolly et al., *Opt. Express*, vol. 17, pp. 12109, 2009.
- [5] M. Hanna et al., *Opt. Express*, vol. 14, pp. 2783, 2006.
- [6] T. Sylvestre et al., *Appl. Phys. Lett.*, vol. 94, pp. 111104, 2009.