

LASER A FIBRE A MAINTIEN DE POLARISATION SUB-150 FS ET ACCORDABLE DANS L'INFRAROUGE MOYEN

P. Morin¹, S. Boivinet¹, J.-P. Yehouessi¹, T. Berberian^{2,3}, F. Druon², S. Vidal¹, G. Machinet¹, F. Guichard³, Y. Zaouter³ et J. Boullet¹

¹ *ALPhANOV, Rue François Mitterand, 33400 Talence*

² *Laboratoire Charles Fabry, Institut d'Optique Graduate School – CNRS, Université Paris-Saclay, 91127 Palaiseau, France*

³ *Amplitude Laser Group, 33600 Pessac*

philippe.morin@alphanov.com

RÉSUMÉ

En utilisant des composants standards à maintien de polarisation, nous présentons un laser à fibre Erbium compact et robuste capable de générer dans une fibre non-linéaire des impulsions sub-150 fs sur entre 1800 et 2100 nm et pouvant atteindre une énergie par impulsion de l'ordre du nJ à 2000 nm, avec un taux de conversion supérieur 50 %.

MOTS-CLEFS : *Laser à fibre ; Amplification ; SSFS ; Optique non-linéaire.*

1. INTRODUCTION

Depuis plus de deux décennies, les lasers ultracourts opérant autour de 2000 nm sont utilisés pour de nombreuses applications industrielles et scientifiques, telles que la génération de supercontinuum ou le pompage d'oscillateur paramétrique [1]. Pour obtenir des impulsions ultracourtes, des oscillateurs à fibre dopée Holmium ou Thulium sont généralement utilisés. Cependant, la dégradation rapide des absorbants saturables constitue un handicap pour la réalisation d'oscillateur à fibre à verrouillage de modes à 2000 nm. Pour obtenir de telles impulsions, il est possible d'exploiter le phénomène d'auto-décalage en fréquence du soliton (SSFS, *Soliton Self Frequency Shift*) [2]. Sous l'action de l'effet Raman, un soliton subit un décalage permanent vers les hautes longueurs d'onde. C'est ainsi que nombreux systèmes (actifs ou passifs) basés sur ce phénomène ont permis la génération d'impulsions ultracourtes à diverses longueurs d'onde et dans diverses fibres [3]. Plus récemment, un laser à fibre dopé Erbium couplé à une fibre à cristaux photoniques (PCF) et à une fibre à compensation de dispersion a permis la génération d'impulsions sub-100 fs entre 1700 et 2100 nm [4]. Cependant, le taux de conversion (environ 20 %) et les problèmes liés à l'utilisation des PCF (fabrication, soudure) peuvent être une limitation à sa diffusion.

Nous présentons alors la conception d'un laser à fibre Erbium à maintien de polarisation (PM) compact et utilisant des composants standards capable de générer des impulsions ultracourtes (sub-150 fs) dans la plage spectrale 1800 – 2050 nm par SSFS, avec en plus un taux de conversion supérieur à 50%. De plus, nous mettons en évidence un phénomène d'auto-organisation des solitons qui conduit à la formation d'une impulsion unique résultant de l'interaction entre deux solitons Raman et dépendant des conditions de pompage de la fibre dopée.

2. MONTAGE EXPERIMENTAL

Le montage expérimental est présenté sur la Figure 1. Il est réalisé uniquement avec des composants standards à maintien de polarisation. Le point de départ de notre système est un oscillateur à fibre qui délivre, à la fréquence de 40 MHz, des impulsions transformées limites centrées à 1560 nm et possédant une durée à mi-hauteur de 420 fs.

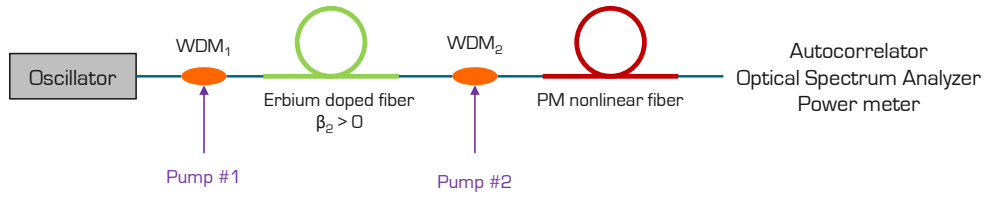


Fig. 1 : Montage expérimental.

Les impulsions sont injectées dans un amplificateur à fibre dopée Erbium composé d'un court tronçon de fibre fortement dopée Erbium ayant un régime de dispersion normal où leur spectre est élargi par auto-modulation de phase. La fibre active est pompée de façon bidirectionnelle par deux diodes laser à 976 nm. Le décalage induit par effet Raman est réalisé dans une fibre PM possédant un diamètre de mode de 8 μm à 1950 nm. A la sortie de la fibre, le spectre résultant est mesuré à l'aide d'un analyseur de spectre optique tandis que la durée des impulsions est déterminée grâce à un autocorrélateur du second ordre.

3. RESULTATS EXPERIMENTAUX

La Figure 2(a) montre l'évolution du spectre en fonction de la puissance moyenne à la sortie de la fibre PM. Nous observons la génération d'un unique soliton Raman sur une plage spectrale comprise entre 1800 et 2050 nm. Pour obtenir la puissance moyenne de ce soliton sur cette gamme de longueurs d'onde, nous utilisons un filtre optique passe-bande centré à 2000 nm et possédant une largeur spectrale de 500 nm afin de supprimer le signal résiduel à 1560 nm. La puissance moyenne varie entre 15 et 45 mW, ce qui représente une énergie par impulsion comprise entre 0.4 et 1 nJ [cf. Figure 2(b)]. Cette génération s'accompagne d'un transfert d'énergie de plus de 50 % du signal vers le soliton Raman du premier ordre.

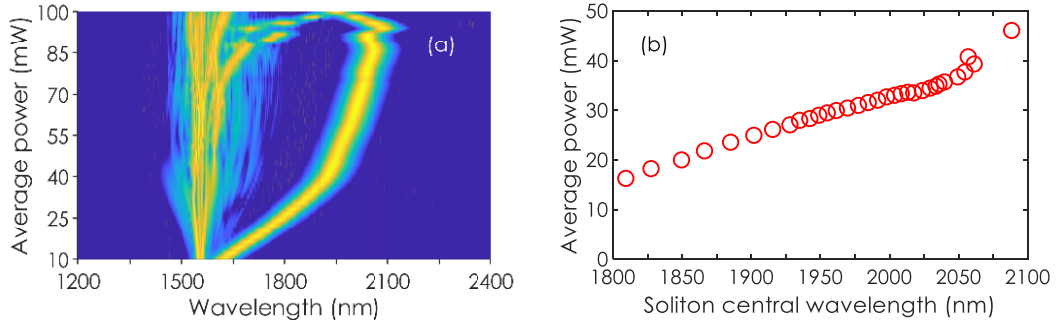


Fig. 2 : (a) Evolution du spectre en fonction de la puissance moyenne à la sortie de la fibre PM et (b) Evolution de la puissance moyenne du premier soliton Raman en fonction de sa longueur d'onde centrale.

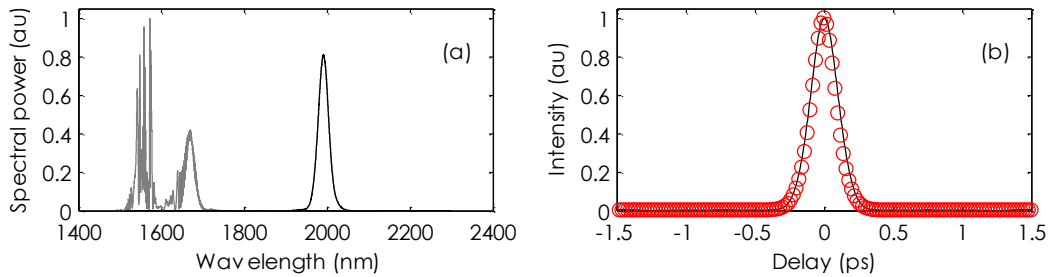


Fig. 3 : (a) Spectre à la sortie de la fibre PM pour une puissance moyenne de 80 mW et (b) Traces d'autocorrélation expérimentale (courbe noire) et numérique (cercles rouges).

A titre d'exemple, la Figure 3(a) montre le spectre à la sortie de la fibre PM lorsque la puissance moyenne est de 80 mW. La longueur d'onde centrale du premier soliton est de 2000 nm et a une largeur spectrale à mi-hauteur de 29 nm. Après le filtre optique passe-bande, sa puissance

moyenne est de 38 mW, soit une énergie par impulsion de 1 nJ. La valeur du produit durée – largeur spectrale étant proche de celle d’une sécante hyperbolique asymétrique (0.278), les impulsions générées sont *quasi*-transformées limites comme le montre la superposition des traces d’autocorrélations expérimentale et numérique sur la Figure 3(b). A partir de ces informations, nous pouvons en déduire que la durée à mi-hauteur des impulsions est de 130 fs et leur puissance crête est de 6 kW. Nous avons vérifié que la durée des impulsions était constante sur la plage spectrale considérée.

Au cours de ces expériences, nous avons remarqué un phénomène intéressant lorsque le premier soliton Raman dépasse 2050 nm. Perceptible sur la Figure 2(a), nous avons modifié le type de pompage de la fibre dopée afin de pouvoir mieux l’observer [cf. Figure 4]. A partir de 2050 nm, nous observons un changement dans son évolution spectrale sous l’action du deuxième soliton Raman généré pour une puissance moyenne à la sortie de la fibre PM supérieure à 70 mW. Des lors, sa longueur d’onde centrale diminue progressivement et il vient interagir avec le deuxième soliton Raman pour former une unique impulsion pour une puissance moyenne de 85 mW. Cette impulsion possède alors une puissance moyenne de 55 mW et une largeur spectrale à mi-hauteur de 29 nm. Lorsque nous continuons à augmenter la puissance des diodes de pompe, nous constatons que les deux solitons se séparent. Phénomène déjà reporté dans une fibre microstructurée air/silice à 800 nm [5], nous pensons, à notre connaissance, être les premiers à le rapporter dans une fibre PM.

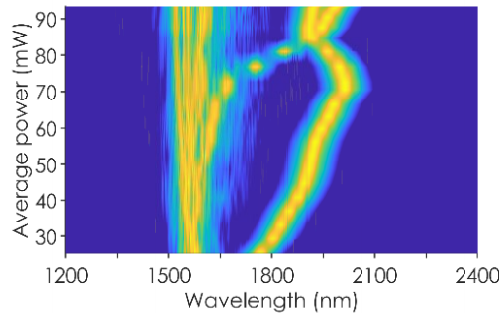


Fig. 4 : (a) Evolution du spectre en fonction de la puissance moyenne à la sortie de la fibre PM.

4. CONCLUSION

Nous avons démontré la conception d’un laser à fibre compact et robuste capable de générer dans une fibre PM des impulsions sub-150 fs sur une plage spectrale comprise entre 1800 et 2100 nm et pouvant atteindre une énergie par impulsion de l’ordre du nJ à 2000 nm, avec un taux de conversion supérieur 50 %. A travers de cette expérience, nous avons mis en évidence selon le type de pompage de la fibre active la formation d’une unique impulsion résultant de l’interaction entre deux solitons Raman dans la fibre PM. Nous présenterons une étude détaillée du phénomène de collision (durée, largeur spectrale) vis-à-vis des conditions de pompage de la fibre dopée.

REFERENCES

- [1] C. Yao, Z. Jia, Z. Li, S. Jia, Z. Zhao, L. Zhang, Y. Feng, G. Qin, Y. Ohishi, and W. Qin, “High power mid-infrared supercontinuum source using fluotellurite fibre,” *Optica*, vol. 5, pp. 1264-1270, 2018.
- [2] J. P. Gordon, “Theory of the soliton self-frequency shift,” *Optics Letters*, vol. 11, pp. 662-664, 1986.
- [3] N. Nishizawa, R. Okamura, and T. Goto, “Analysis of widely wavelength tunable femtosecond soliton pulse generation using optical fibers,” *Jpn J. Appl. Phys.*, vol. 38, 99, 4768-4771, 1999.
- [4] G. Sobon, T. Martynkien, K. Tarnowski, P. Mergo, and J. Sotor, “Generation of sub-100 fs pulses tunable from 1700 to 2100 nm from a compact frequency-shifted Er-fiber laser,” *Photonics Research*, vol. 5, pp. 151–155, 2017.
- [5] A. Podlipensky, P. Szarniak, N. Y. Joly, C. G. Poutlon, and P. St. J. Russel, “Bound solitons in photonic crystal fibre,” *Optics Express*, vol. 15, pp. 1653-1662, 2007.