

GENERATION D'IMPULSIONS ULTRACOURTES DE FORTE PUISSANCE DANS UN AMPLIFICATEUR A FIBRE DOPEE ERBIUM

H. Wang¹, L. V. Kotov², D. A. Gaponov¹, M. V. Yashkov³, D. S. Lipatov³, M. E. Likhachev², J-L. Oudar⁴, S. Février⁵, A. Hideur¹

¹ CORIA-UMR 6614- Normandie Université, CNRS-INSA et Université de Rouen, Campus Universitaire du Madrillet, 76800 Saint Etienne du Rouvray, France.

² Fiber Optics Research Center of the Russian Academy of Sciences, 38 Vavilov Street, Moscow 119333, Russia

³ Institute for Chemistry of High Purity Substances of the Russian Academy of Sciences, 49 Tropinin Street, Nizhny Novgorod, Russia

⁴ LPN-CNRS, Route de Nozay, 91460, Marcoussis

⁵ XLIM, UMR 7252 CNRS - University of Limoges, 123 avenue Albert Thomas, F-87060 Limoges, France

hongjie.wang@coria.fr

RÉSUMÉ

Nous rapportons sur l'étude d'un amplificateur à impulsions étirées à base d'une fibre dopée erbium à large aide modale. Le système est basé sur un oscillateur à dispersion fortement normale émettant des impulsions de 4.5 ps de durée et un spectre de 8,8 nm de largeur. L'amplificateur délivre une puissance moyenne de 8 W à la cadence de 35 MHz, ce qui correspond à 228 nJ d'énergie. Après compression, des impulsions de 850 fs avec plus de 180 kW de puissance crête sont obtenues.

MOTS-CLEFS : *laser à fibre ; amplificateur erbium ; verrouillage de modes ; impulsions ultracourtes.*

1. INTRODUCTION

Les lasers à fibre de forte puissance opérant dans la région spectrale de sécurité oculaire centrée autour de 1,5 μm est attrayante pour de nombreuses applications telles que les télécommunications en espace libre, la télémétrie et télédétection, la fabrication photonique et la médecine. Cependant, la montée en puissance dans les systèmes laser à fibre dopée erbium présente quelques difficultés liées au faible rendement quantique pour un pompage conventionnel à 980 nm ainsi qu'à la difficulté de fabriquer des fibres dopées efficaces avec une large aire modale. Ainsi, les performances en énergie des systèmes laser à fibre dopées Erbium sont deux ordres de grandeur en dessous de leurs homologues dopées à l'ytterbium. A ce jour, les meilleures performances des oscillateurs ultrarapides à fibre dopées erbium opérant à 1.5 μm se limitent à quelques dizaines de nanojoules d'énergie [1]. La mise en œuvre de l'amplification à dérive de fréquence permet une montée en énergie au-delà de la barre du microjoule [2]. Cependant, ces systèmes fonctionnent à des puissances moyennes relativement faibles, limitant ainsi leur impact sur la plupart des applications industrielles. Pour augmenter la puissance moyenne, le co-dopage Er-Yb peut être préféré pour réduire la longueur d'absorption de la fibre active et ainsi limiter l'impact des effets non-linéaires. Récemment, un amplificateur à fibre monomode dopée Er-Yb délivrant 10 W de puissance moyenne à la cadence de 156 MHz a été démontré [3]. Une solution alternative consiste à utiliser des fibres à large aire modale dopées à l'erbium avec un pompage dans le cœur par des lasers à fibre Raman à 1480 nm [4]. Le pompage cœur est crucial dans ce cas pour assurer un bon taux de couplage des faisceaux pompe et signal avec le mode fondamental de la fibre multimode à large aire modale [4]. Toutefois, les énergies produites dans tous ces systèmes sont inférieures à 70 nJ. Dans cette contribution, nous rapportons la génération d'impulsions ultracourtes de forte puissance dans un amplificateur tout fibré basé sur une fibre à large aire modale dopée erbium

pompée dans la gaine. Le système délivre plus de 8 watts de puissance moyenne à la cadence de 35 MHz.

2. MONTAGE EXPERIMENTAL & RESULTATS

Le montage expérimental du système laser est montré sur la figure 1. Il est basé sur un oscillateur à impulsions étirées comprenant une fibre optique monomode fortement dopée aux ions erbium de 1 m de longueur. La dispersion de la fibre active est de $\beta_2 = +61 \text{ ps}^2/\text{km}$. Une diode laser émettant à 976 nm assure le pompage optique de la fibre amplificatrice à travers un multiplexeur. Un segment de fibre à compensation de dispersion (DCF) a été ajouté et optimisé en longueur pour contrôler la dispersion totale de la cavité. La dispersion de la DCF utilisée a été mesurée à $+116 \text{ ps}^2/\text{km}$. Du côté de la DCF, la cavité de type Fabry-Pérot est refermée par un miroir fortement réfléchissant. L'autre extrémité de la cavité comprend un coupleur 90/10 minimisé en longueur (SMF28 $\beta_2 = -22 \text{ ps}^2/\text{km}$), les lentilles de couplage et un absorbant saturable résonant (R-SAM) qui sert à démarrer et à stabiliser le régime impulsif ultracourt. En fonction de la dispersion totale de la cavité, des impulsions de quelques picosecondes à plus de 20 ps peuvent être générées par cette source [5]. Dans notre cas, la longueur de la DCF est optimisée pour atteindre une dispersion totale de la cavité de l'ordre $+0.16 \text{ ps}^2$. L'oscillateur délivre alors un train d'impulsions stable à la cadence de 35 MHz avec des impulsions de 4.6 ps de durée et 8.8 nm de largeur spectrale. Ces impulsions sont étirées à 100 ps dans une fibre à compensation de dispersion similaire la DCF utilisée dans la cavité.

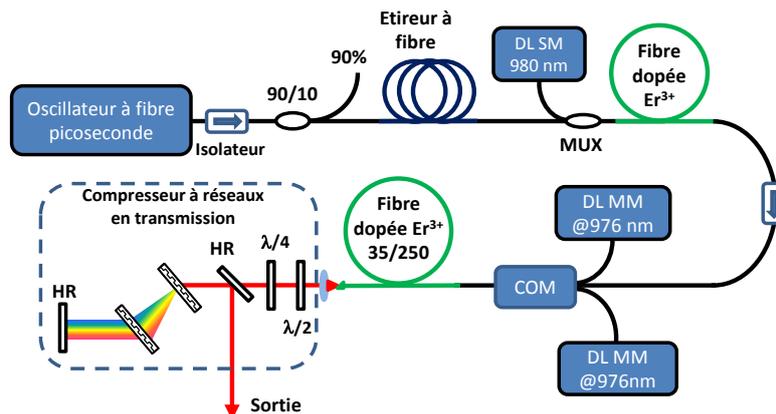


Fig. 1 : Schéma de l'amplificateur d'impulsions étirées à base d'une fibre erbium à large aire modale. HR : miroir fortement réfléchissant ; COM : combineur de faisceaux pompe et signal ; DL MM: diode laser multimode; DL SM : diode laser monomode ; $\lambda/4$: lame quart d'onde; $\lambda/2$: lame demi-onde ; MUX : multiplexeur à fibre.

Un seul amplificateur à fibre basé sur une fibre fortement dopée à l'erbium est utilisé pour amplifier les impulsions étirées à environ 1 nJ avant leur injection dans l'amplificateur principal. L'amplificateur de puissance est basé sur une fibre double gaine constituée d'un cœur de 35 μm de diamètre [diamètre de mode de 24 μm] entouré d'une gaine de forme carrée avec une superficie de 110 $\mu\text{m} \times 110 \mu\text{m}$. La fibre est entourée d'un revêtement polymère de bas indice procurant une ouverture numérique de 0.46. La fibre est pompée dans la gaine à travers un combineur de faisceaux pompe et signal par six diodes multimodes fibrées délivrant plus de 6 W de puissance à 976 nm. L'étage de compression est composé d'une paire de réseaux en transmission de 1000 lignes/mm et plus de 90% d'efficacité de diffraction dans la bande C. Le rendement global du compresseur est de plus de 65%.

Les performances de notre amplificateur sont présentées sur la Fig. 2. Pour une puissance de pompe maximale disponible de 39 W, nous mesurons 8 W de puissance signal à 1560 nm ce qui

correspond à 228 nJ d'énergie par impulsion. Le rendement optique calculé relativement à la puissance de pompe injectée est de 22%.

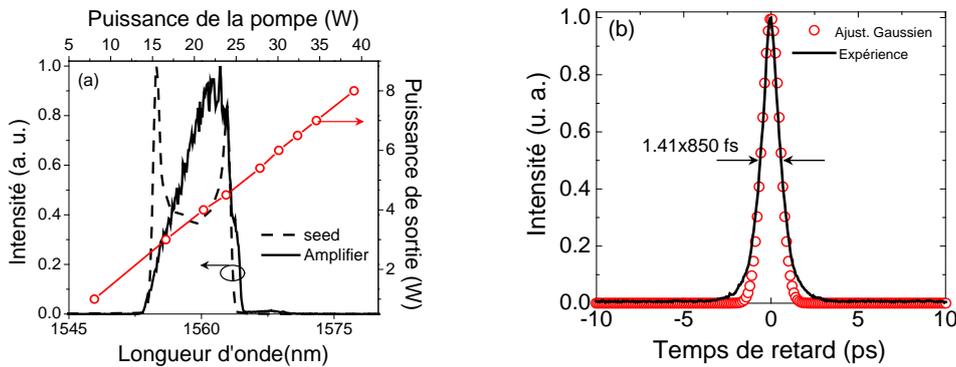


Fig. 2 : Performances de l'amplificateur à impulsions étirées : (a) Spectre optique et rendement en puissance et (b) trace d'autocorrélation des impulsions amplifiées après compression.

Nous constatons un léger rétrécissement spectral par le gain qui se traduit par un décalage du centre du spectre vers les grandes longueurs d'ondes et une diminution de la largeur du spectre à 6 nm. Les impulsions amplifiées ont été comprimées à 850 fs dans le compresseur à réseaux. La puissance de sortie mesurée après compression est de ~ 5.5 W correspondant à plus de 180 kW puissance de crête par impulsion.

CONCLUSION

Dans cette communication nous discutons de la réalisation et l'étude d'un amplificateur à dérive de fréquence exploitant une fibre dopée erbium à large aide modale de grande efficacité. Le système est basé sur un oscillateur à dispersion fortement normale qui délivre des impulsions fortement étirées. Notre étude montre que la forme particulière du spectre optique avec ses fronts raides n'est pas un obstacle pour la montée en énergie. En effet, des impulsions de plus de 228 nJ d'énergie à la cadence de 35 MHz ont été obtenues. Le prochain challenge à relever concerne la réduction de la durée des impulsions générées en optimisant les étages d'étirement et compression et en exploitant des spectres plus larges à l'entrée de la chaîne.

REMERCIEMENTS

Ce travail a bénéficié d'une aide de l'Agence Nationale de la Recherche au titre du programme « Investissements d'avenir » portant la référence ANR-10-LABX-09-01 (EMC3). Nous remercions le Carnot ESP et la région Haute Normandie pour leurs aides aux travers des projets ICLAS et MIST.

REFERENCES

- [1] N. B. Chichkov, K. Hausmann, D. Wandt, U. Morgner, J. Neumann, and D. Kracht, "High-power dissipative solitons from an all-normal dispersion erbium fiber oscillator," *Opt. Lett.* **35**, 2807 (2010).
- [2] F. Morin, F. Druon, M. Hanna, and P. Georges, "Microjoule femtosecond fiber laser at 1.6 μm for corneal surgery applications," *Opt. Lett.* **34**, 1991 (2009).
- [3] I. Pavlov, E. Ilbey, E. Dülgergil, A. Bayri, and F. O. Ilday, "High-power high-repetition-rate single-mode Er-Yb-doped fiber laser system," *Opt. Express* **20**, 9471 (2012).
- [4] J. C. Jasapara, M. J. Andrejco, J. W. Nicholson, A. D. Yablon, and Z. Várallyay, "Simultaneous direct amplification and compression of picosecond pulses to 65-kW peak power without pulse break-up in erbium fiber," *Opt. Express* **15**, 17494 (2007).
- [5] H. Wang, L. Kotov, D. Gaponov, A. Cabasse, D. Lipatov, M. Lichachev, J. L. Oudar, G. Martel, S. Février and A. Hideur, "Dissipative Soliton Generation and Amplification in Erbium-Doped Fibers Operating at 1.55 μm ," *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.* **20**, (2014).