

SYSTEME A FIBRE DOPEE THULIUM AVEC IMPULSIONS DECLENCHEES AU-DESSUS DU kW RAPIDEMENT ACCORDABLES SPECTRALEMENT

François Guty¹, Arnaud Grisard¹, Alexandre Joly¹, Christian Larat¹, Dominique Papillon-Ruggeri¹, Eric Lallier¹

¹ Thales Research and Technology, 1 Avenue Augustin Fresnel, 91767 Palaiseau Cedex, France

francois.guty@thalesgroup.com

RÉSUMÉ

On démontre un système laser et amplificateur à fibres dopées thulium avec pompage dans le cœur et fonctionnant en commutation de pertes jusqu'à 10 kHz. Le système est accordable rapidement sur 100 nm sans partie mécanique mobile et délivre des impulsions de puissance crête atteignant 2,5 kW.

MOTS-CLEFS : laser ; fibre optique ; Q-switch ; accordable.

1. INTRODUCTION

Les sources laser de longueur d'onde accordable au voisinage de 2 μm rencontrent un intérêt croissant notamment pour des applications de détection à distance de produits chimiques ou de conversion de fréquence. Les fibres silice dopées thulium permettent une émission continue dans une large plage spectrale (1700-2100 nm) suivant les configurations de pompage [1]. Un système tout fibré oscillateur-maître avec étages d'amplification, avec maintien de polarisation et monomode en fréquence a atteint une puissance moyenne supérieure à 200 W [2]. Récemment, des impulsions accordables de 1 kW de puissance crête ont été émises dans une configuration déclenchée (Q-switch) [3]. La vitesse de changement de longueur d'onde reste cependant limitée, l'accordabilité reposant sur des éléments mécaniques tels que le déplacement d'une fente.

Nous présentons ici les résultats expérimentaux d'un système à fibre monomode dopée thulium, déclenché et délivrant des impulsions nanosecondes de puissance crête jusqu'à 2,5 kW. Une large plage d'accordabilité de 100 nm est obtenue sans aucune partie mobile.

2. DISPOSITIF EXPERIMENTAL ET RESULTATS

Le dispositif (Fig. 1) comporte un laser déclenché à fibre dopée thulium suivi d'un étage d'amplification. Pour éviter l'apparition d'effets non-linéaires dans les fibres, le laser et l'amplificateur exploitent des fibres actives de courtes longueurs, fortement dopées et pompées dans le cœur. Le laser (Fig. 1a) intègre 20 cm de fibre dopée thulium de diamètre de cœur 6 μm , monomode au-delà de 1,75 μm . La fibre active est soudée à une longueur équivalente de fibre passive associée puis de fibre SMF28. Le faisceau est collimaté en sortie d'un connecteur FC/APC par une lentille de focale 5 mm. Un modulateur acousto-optique (MAO) permet de déclencher la cavité par commutation de pertes. Un miroir réfléchissant large bande ferme la cavité sur le premier ordre de diffraction d'un filtre accordable acousto-optique (AOTF) piloté électroniquement qui sélectionne la longueur d'onde avec une largeur à mi-hauteur de 2 nm. La fibre dopée thulium est pompée dans le cœur grâce à un coupleur WDM et un laser de pompe fibré Er/Yb continu à 1,54 μm . Un connecteur FC/PC fournit 4% de réflexion pour fermer la cavité et constitue le coupleur de sortie. Pour évaluer l'impact des pertes et de l'efficacité de diffraction sur le fonctionnement du laser, le MAO est aligné sur son ordre de diffraction zéro ou un.

L'amplificateur (Fig. 1b) comprend un coupleur WDM soudé à 25 cm de fibre dopée thulium de 10 μm de diamètre de cœur puis à 35 cm de fibre SMF28 avec connecteur FC/APC pour couplage vers les instruments de mesure. La fibre active est pompée par une diode fibrée à 1,54 μm amplifiée jusqu'à 4 W par un amplificateur Er/Yb. Un ajustement manuel de la distance des connecteurs FC/PC dans une traversée permet de coupler l'amplificateur à l'oscillateur sans

perturber son émission laser, mais au prix de pertes de 1,8 dB en moyenne sur la plage de longueur d'onde. Un isolateur fibré insensible à la polarisation est inséré avant le WDM.

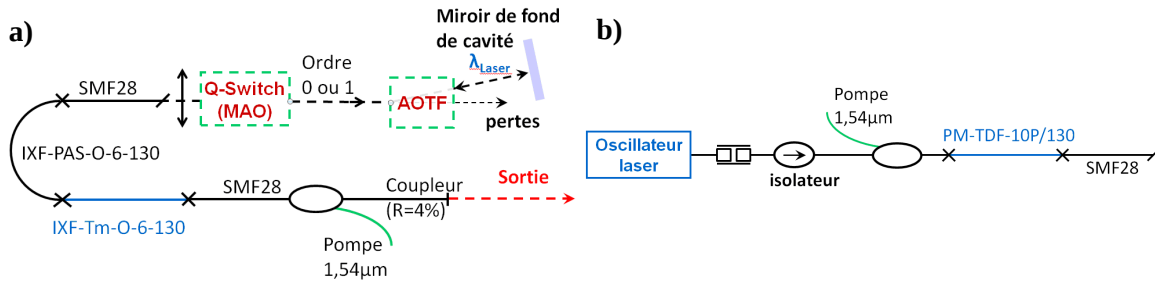


Fig. 1 : Dispositif expérimental. (a) Oscillateur laser. (b) Oscillateur et étage d'amplification

Dans les deux configurations où la partie en espace libre est alignée sur l'ordre 0 ou 1 du MAO, l'oscillateur présente un fonctionnement stable en Q-switch avec l'émission d'impulsions pour des cadences de 1 kHz à 20 kHz. Avec la partie en espace libre alignée sur l'ordre 0 du MAO (et les pertes induites par diffraction sur l'ordre 1), le laser est accordable entre 1869 et 1962 nm pour toutes les fréquences de répétition. L'énergie des impulsions varie entre 10 et 14 μJ sur tout le spectre. Les impulsions présentent une durée entre 35 et 45 ns. Afin de réduire le niveau d'émission spontanée amplifiée (ESA) généré entre les impulsions aux faibles cadences, la partie en espace libre est ensuite alignée sur l'ordre 1 du MAO. Le laser est accordable entre 1865 et 1957 nm aux mêmes fréquences de répétition (1-20 kHz). Sur tout le spectre, l'énergie des impulsions varie entre 8 et 18 μJ et la durée des impulsions entre 25 et 35 ns.

La puissance crête est estimée indépendamment de la forme des impulsions ou de leur durée à l'aide d'un photo-détecteur rapide permettant de résoudre leur profil temporel. Tandis que des puissances crêtes de 150 à 260 W sont obtenues dans la première configuration (Fig. 2a), la réduction de la durée des impulsions obtenues dans la seconde permet d'atteindre 300 à 600 W (Fig. 2b). Néanmoins, avec les pertes introduites par le couplage vers l'amplificateur, une puissance crête maximale de 400 W est disponible pour amplification.

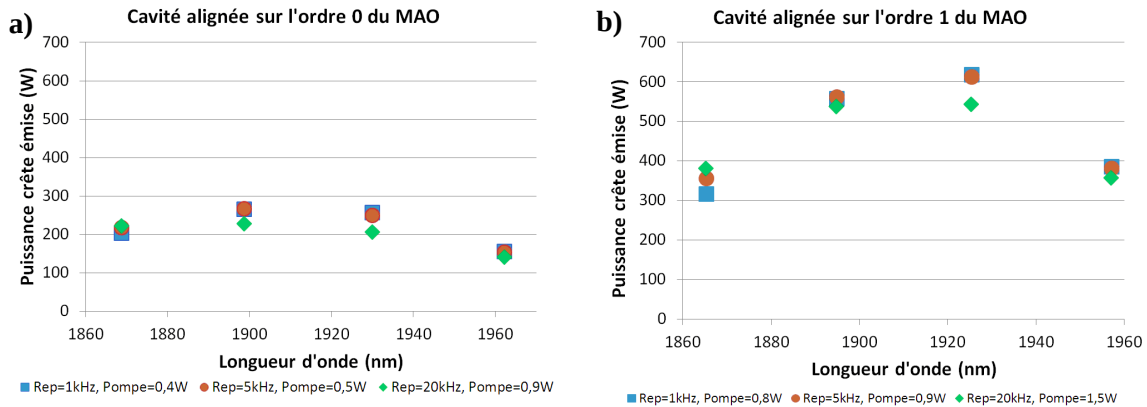


Fig. 2 : puissances crêtes en sortie de l'oscillateur. (a) Partie en espace libre alignée sur l'ordre zéro du MAO. (b) Partie en espace libre alignée sur le premier ordre de diffraction du MAO

Le fonctionnement de l'amplificateur est étudié pour des puissances de pompe jusqu'à 2,2 W et pour la cavité alignée sur le premier ordre de diffraction du MAO, avec des cadences de 1 à 10 kHz. Des puissances de pompe supérieures produisent un allongement temporel des impulsions, indiquant l'apparition d'effets non-linéaires dans la fibre amplificatrice. Pour le système laser – amplificateur, une cadence optimale du MAO est trouvée à 2 kHz permettant de maximiser la puissance crête émise sur la plage spectrale (Fig. 3). Une puissance de pompe de 2,2 W dans l'amplificateur permet d'obtenir des puissances crête entre 1,5 et 2,5 kW en sortie (Fig. 4).

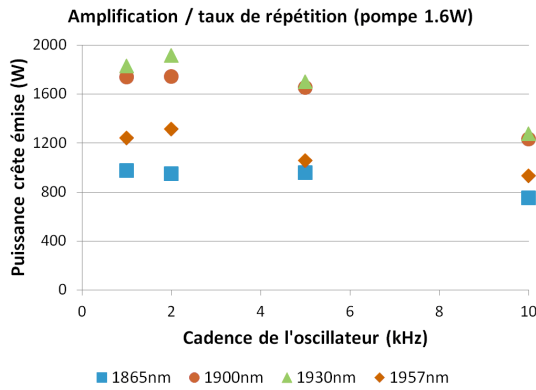


Fig. 3 : impact de la cadence de l'oscillateur sur la puissance crête en sortie amplificateur.

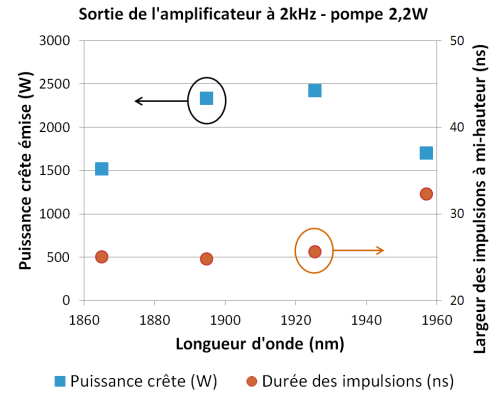


Fig. 4 : puissance crête en sortie amplificateur à la cadence optimale.

Pour cette puissance de pompe dans l'amplificateur et cette cadence de l'oscillateur, le spectre des impulsions amplifiées présente une largeur à mi-hauteur entre 0,6 et 0,9 nm sur la plage d'accordabilité. L'augmentation du niveau du signal aux plus grandes longueurs d'ondes lorsque la puissance crête dépasse 2 kW (Fig. 5a-b) indique l'apparition d'effets non-linéaires. Suivant la longueur d'onde, l'ESA représente 28 à 45% de la puissance moyenne en sortie de l'amplificateur.

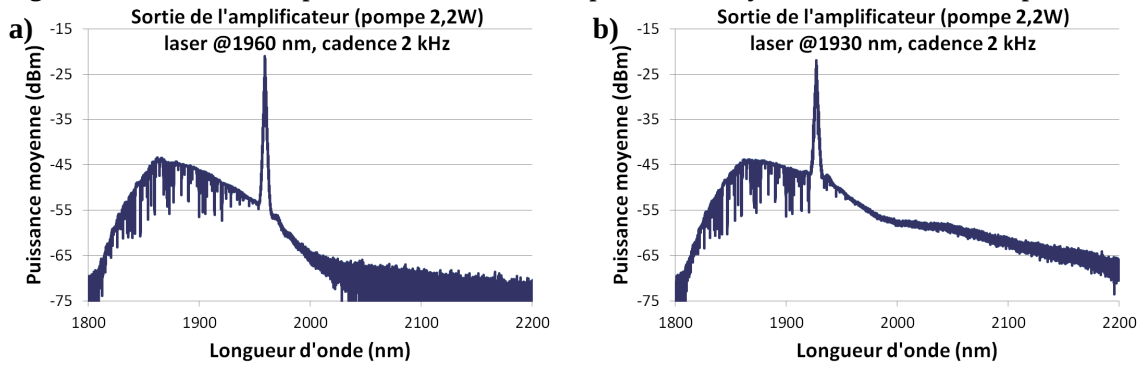


Fig. 5 : Spectres en sortie de l'amplificateur à 2,2 W de pompe. (a) laser à 1960 nm. (b) laser à 1930 nm.

CONCLUSION

Nous démontrons un système laser à fibre dopée thulium avec pompage dans le cœur délivrant des impulsions de puissance crête atteignant 2,5 kW pour quelques watts de puissance de pompe. Une accordabilité de 100 nm est obtenue autour de 1,9 μm . Le temps de réponse du filtre AOTF étant inférieur à 50 μs , le temps de commutation devrait être limité par la cadence de répétition de l'oscillateur. La disponibilité prochaine de filtres AOTF fibrés ouvre la possibilité de sources de fortes puissances crêtes et largement accordables autour de 2 μm entièrement fibrées.

Cette recherche et ces résultats ont reçu le soutien financier du septième programme cadre européen (FP7/2007 - 2013) sous l'accord n° 317884, le projet collaboratif (IP) MIRIFISENS.

REFERENCES

- [1] J. M. O. Daniel, M. Tokurakawa, W. A. Clarkson, "Power-scalable wavelength-agile fibre laser source at two-microns", Proceedings of 5th EPS-QEOD Europhoton Conference (2012).
- [2] J. Liu, K. Liu, H. Shi, Y. Hou, Y. Jiang, and P. Wang, "High-power Single-frequency, Single-polarization, Thulium-doped all-fiber MOPA" in CLEO: 2014, OSA Technical Digest (online) (Optical Society of America, 2014), paper SW3N.1.
- [3] J. M. O. Daniel, W. A. Clarkson, "Bandwidth-Controllable Tunable Q-Switched Thulium Fibre Laser", Proceedings of Conference on Lasers and Electro-Optics – International Quantum Electronics Conference (2013).