



HAL
open science

Génération d'impulsions monochromatiques brèves au-delà de 1,7 kW par amplification à fibre dopée Yb³⁺

Sébastien Grot, Lew Goldberg, Pascal Besnard, Yves Jaouën

► **To cite this version:**

Sébastien Grot, Lew Goldberg, Pascal Besnard, Yves Jaouën. Génération d'impulsions monochromatiques brèves au-delà de 1,7 kW par amplification à fibre dopée Yb³⁺. 23èmes Journées Nationales d'Optique Guidée (JNOG 2004), 25-27 octobre 2004, Oct 2004, Paris, France. pp.5-7. hal-00163107

HAL Id: hal-00163107

<https://hal.science/hal-00163107>

Submitted on 16 Jul 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

GENERATION D'IMPULSIONS MOCHROMATIQUES BREVES AU-DELA DE 1.7kW PAR AMPLIFICATION A FIBRE DOPEE YB³⁺

Sébastien GROT^{1,2}, Lew GOLDBERG¹, Pascal BESNARD², Yves JAOUËN³

¹ Keopsys SA, 21 rue Louis de Broglie, 22300 Lannion, France

² ENSSAT, CNRS UMR6082 FOTON, 6 rue de Kerampont, 22300 Lannion, France

³ GET - Telecom Paris, CNRS UMR5141, 46 rue Barrault, 75634 Paris, France

sgrot@keopsys.com

RESUME

Nous rendons compte du développement d'un laser à fibre dopée Yb³⁺ de type MOPA (Master Oscillator – Power amplifier) fonctionnant en régime d'impulsions et délivrant une puissance moyenne supérieure à 10 W, une puissance crête supérieure à 1.7 kW pour des impulsions de 2ns. Une architecture optimisée et bâtie autour d'une structure d'amplification à 2 étages a permis de conserver la majeure partie de la puissance autour de la longueur d'onde centrale puisque >80 % de la puissance totale restent concentrés dans une fenêtre spectrale de 1 nm. Une bonne qualité de faisceau est préservée tout en minimisant les effets non linéaires de type Kerr ou diffusion Raman stimulée (DRS).

MOTS-CLEFS : *laser à fibre, impulsion optique, faisceau quasi-monomode, fibre double gaine, Yb³⁺, effets non linéaires.*

1. INTRODUCTION

Les amplificateurs et lasers à fibre dopée trouvent de nombreux champs d'application dans le domaine scientifique (refroidissement d'atomes, spectroscopie, médecine, ...) ou industrielles (télé-détection, télécommunications en espace libre, marquage et usinage laser, ...). La combinaison des technologies de fibres double gaine (FDG) dopées et des diodes laser de pompe de forte puissance permet le développement de sources optiques de très forte puissance (gamme 1-100 W). Les FDG dopées Yb³⁺ sont généralement préférées pour la conception de lasers et d'amplificateurs dans la fenêtre spectrale à 1µm [1-2]. Pour la génération de puissances optiques instantanées très élevées (> 1 kW), un fonctionnement en régime d'impulsions est souvent privilégié. Les effets non linéaires générés au niveau de l'étage amplificateur de puissance constituent une des principales limitations du niveau de puissance accessible [3]. Le développement de fibres dopées à cœur élargi s'avère nécessaire afin, d'une part, de maximiser l'énergie par impulsion et, d'autre part, de repousser le seuil d'apparition des effets non linéaires, tout ceci en maintenant une bonne qualité de faisceau. Nous présentons les résultats obtenus dans le cadre de l'amplification d'un signal monochromatique pour la génération d'impulsions de puissance crête >1.7 kW. L'originalité de ce travail relève de la réussite à combiner l'obtention de puissance crête élevée tout en préservant une grande pureté spectrale (préservation de la largeur à mi-hauteur de la source amplifiée < 0.2 nm).

2. OPTIMISATION DE L'ETAGE AMPLIFICATEUR

L'architecture du système est présentée sur la figure 1. La source monochromatique de largeur à mi-hauteur (< 0.2 nm) génère des impulsions de durée 2 ns avec une fréquence de répétition variable de 3 à 30 MHz. L'utilisation d'une structure d'amplificateur à 2 étages est nécessaire pour atteindre un niveau de puissance moyenne de plusieurs Watts. Les grands diamètres et ouverture numérique de la 1^{ère} gaine des FDG utilisées permettent le couplage de diodes lasers de pompe de forte puissance. L'étage préamplificateur est pompé à l'aide d'une diode émettrice à 975 nm en ayant recours à la technique VSP (V-groove side pumping technique) [4]. La puissance moyenne obtenue en sortie de cet étage (~ 200 mW) est suffisante pour saturer efficacement l'étage de puissance et aucun effet non-linéaire gênant n'est visible à ce niveau de puissance crête (~ 33 W).

L'étage de puissance est pompé par une combinaison de diodes lasers de pompe émettant une puissance totale > 15 W à 920 nm. L'injection se fait par couplage multimode au moyen d'un combineur de pompe. Un pompage contra-propagatif permet de minimiser les effets non linéaires [3,5]. Cependant, un pompage co-propagatif a été retenu pour tenir compte des pertes d'insertion du coupleur multimode. Cette configuration permet une optimisation du budget de la puissance de pompe. La longueur de fibre dopée retenue pour cet étage de puissance est de 5 m. Elle correspond à une absorption de la puissance de pompe supérieure à 10 dB (absorption ~ 2.5 dB/m à 920 nm). La FDG dopée possède un cœur de $13 \mu\text{m}$ de diamètre et une ouverture numérique de 0.13. En sortie, la préservation d'un mode quasi-gaussien ($M^2 < 1.2$) requiert l'usage d'une fibre amorce quasi-monomode (fibre SMF28 de diamètre de mode $< 9 \mu\text{m}$).

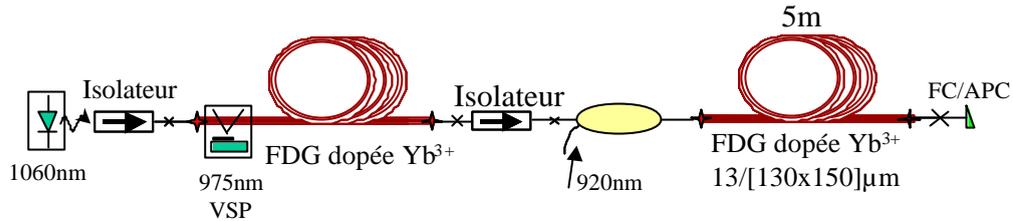


Figure 1 : Structure de l'amplificateur optimisé pour une amplification > 10 W moyen d'impulsions à 1060 nm de durée 2 ns à des taux de répétition variables entre 3 et 30 MHz.

3. RENDEMENT DE CONVERSION ET PUISSANCE CRETE

Cette architecture d'amplificateur permet d'atteindre un rendement de conversion optimum. En effet, une efficacité de conversion $> 80\%$ est obtenue au niveau de l'étage de puissance. Ceci permet de délivrer une puissance moyenne supérieure à 10 W avec seulement 13 W de puissance de pompe (Fig. 2). La puissance crête dépasse 1.7 kW dans des impulsions de durée 2 ns pour un taux de répétition de 3 MHz (Fig 3). La géométrie et l'ouverture numérique de la FDG utilisée permettent une quasi-conservation de la propagation du mode fondamental au travers de l'étage de puissance ainsi qu'une bonne adaptation de mode avec la fibre amorce en sortie. Le rapport signal à bruit est > 28 dB pour un taux de répétition de 3 MHz. Il est limité par la remontée de l'émission spontanée amplifiée aux alentours de 1075 nm.

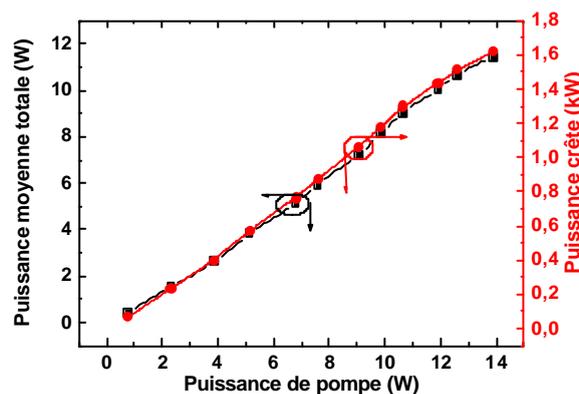


Figure 2: Puissance moyenne et puissance crête contenue dans ± 0.5 nm autour de la longueur d'onde centrale en fonction de la puissance de pompe injectée

A ce niveau de puissance crête des effets non linéaires apparaissent et celui qui prédomine est la DRS. Celle-ci est présente au-delà de quelques centaines de Watts de puissance crête pour un diamètre de mode $\sim 6 \mu\text{m}$ [3,6]. L'utilisation d'une fibre à large mode permet de repousser le seuil d'apparition d'effet indésirable à une puissance crête > 1.5 kW comme le montre la figure 3. La DRS disparaît pour un taux de répétition de 30 MHz, la puissance crête ne dépassant pas 160 W.

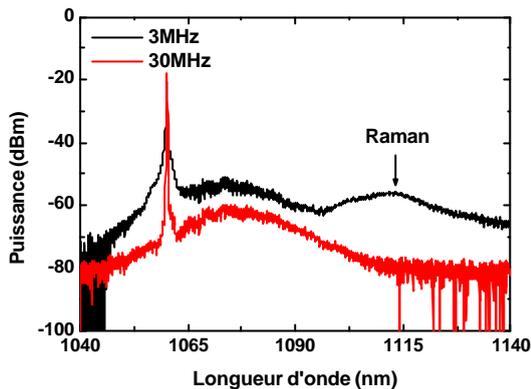


Figure 3 : Spectres optiques obtenus à >10W de puissance moyenne à 3 et 30MHz de taux de répétition

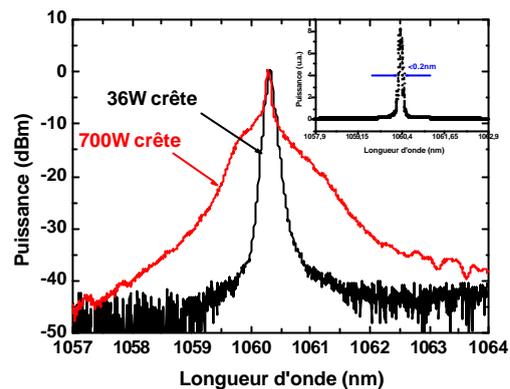


Figure 4 : Elargissement spectral obtenu par automodulation de phase au travers de l'étage de puissance. En encart, la largeur à mi-hauteur à >1.6kW crête.

Un élargissement spectral, que nous attribuons à de l'automodulation de phase, est observé autour de la longueur d'onde centrale (Fig. 4). Celui-ci reste toutefois limité s'il est fait usage d'une source monochromatique puisque > 80 % de la puissance totale à 1.7 kW crête reste confinée dans une fenêtre spectrale de 1 nm et >90 % dans 5 nm tandis que la largeur à mi-hauteur de la source est conservée.

CONCLUSION

Nous avons démontré la faisabilité d'un amplificateur à fibre dopée Yb^{3+} délivrant une puissance moyenne de sortie supérieure à 10 W dans le cas d'une source modulée de largeur de raie < 0.2 nm. L'optimisation des paramètres de la fibre de l'étage de puissance permet l'obtention d'une puissance crête >1.7 kW dans des impulsions de 2ns. La qualité de faisceau en sortie ($M^2 < 1.2$) témoigne de la préservation d'un mode quasi-gaussien même à forte puissance crête. La conservation de la largeur à mi-hauteur de la source (< 0.2 nm) à ce niveau de puissance crête constitue l'une des meilleures performances atteintes avec ce type d'amplificateur à fibre.

REFERENCES

- [1] H.M. Pask, R.J. Carman, D.C. Hanna, A.C. Tropper, C.J. Mackechnie, P.R. Barber, J.M. Dawes, "Ytterbium-doped silica fiber lasers : versatile sources for 1-1.2 μm region", IEEE J. Selec. Top. Quant. Elec., 2-13, 1995
- [2] S. Bordais, S. Grot, Y. Jaouën, P. Besnard, M. Le Flohic, "Double-clad 10W Yb^{3+} -doped fiber master oscillator power fiber amplifier for He^{3+} optical pumping", Applied Optics, Vol. 43, n°10, 2004
- [3] Y. Jaouën, S. Bordais, E. Olmedo, G. Kulscar, J.-Y. Allain, "High power cladding-pumped $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ fiber amplifiers: technologies, performances and impact of nonlinear effects" Annales des Télécommunications, pp. 1773-1798, Nov-Dec 2003.
- [4] D.J. Ripin, L. Goldberg, "High efficiency side-coupling of light into optical fibres using imbedded V-grooves", IEE Electronics Letters, Vol. 31, N°25, 1995
- [5] S. Grot, S. Bordais, Y. Jaouën, J.-Y. Allain, G. Loas, L. Goldberg, "High power Yb^{3+} -doped double clad fibre amplification at 1127nm: 977 against 920nm pumping comparison", IEE Electronics Letters, Vol. 39, n°21, 2003.
- [6] P.A. Champert, S.V. Popov, M.A. Solodyankin, J.R. Taylor, "Multiwatt average power continua generation in holey fibers pumped by kilowatt peak power seeded ytterbium fiber amplifier", Applied Physics Letters, Vol. 81, n°12, 2002.