



HAL
open science

“ AMFITRIHIUM ” : Vers un amplificateur à fibre triple gaine dopée holmium

Christophe Louot, Nicolas Dalloz, Thierry Ibach, Thierry Robin, Benoit Cadier, Julien Le Gouët, François Gustave, Anne Hildenbrand-Dhollande

► To cite this version:

Christophe Louot, Nicolas Dalloz, Thierry Ibach, Thierry Robin, Benoit Cadier, et al.. “ AMFITRIHIUM ” : Vers un amplificateur à fibre triple gaine dopée holmium. Journées Nationales d’Optique Guidée - OPTIQUE DIJON 2021, Jul 2021, Dijon, France. hal-03413904

HAL Id: hal-03413904

<https://hal.science/hal-03413904>

Submitted on 4 Nov 2021

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.

« AMFITRIHIUM » : VERS UN AMPLIFICATEUR À FIBRE TRIPLE GAINÉ DOPÉE HOLMIUM

**Christophe Louot¹, Nicolas Dalloz¹, Thierry Ibach¹, Thierry Robin², Benoit Cadier²,
Julien Le Gouët³, François Gustave³, Anne Hildenbrand-Dhollande¹**

¹ *Institut franco-allemand de Recherches de Saint-Louis, F-68300 Saint-Louis, France*

² *IXBLUE PHOTONICS, F-22300 Lannion, France*

³ *DOTA, ONERA, Université Paris-Saclay, F-91123 Palaiseau, France*

christophe.louot@isl.eu

RÉSUMÉ

Nous présentons les premiers résultats obtenus dans le cadre d'un projet dont l'aboutissement est la fabrication d'une source laser monolithique en régime continu basée sur l'utilisation d'une fibre triple gainé dopée holmium émettant à 2,12 μm . En particulier, le développement de la source de pompe monolithique continue à 1940 nm est présenté.

MOTS-CLEFS : *laser à fibre ; fibre optique ; thulium ; holmium.*

1. INTRODUCTION

Les lasers à fibre émettant des radiations autour de 2 μm peuvent trouver une application dans des domaines tant civils que militaires. Dans les deux cas, les systèmes sont soumis à d'importantes contraintes mécaniques, de compacité ou de robustesse aux vibrations, pour lesquelles les architectures « tout-fibré » sont souvent préférables. Si les architectures MOPA [1,2] sont généralement préférées pour leurs capacités à atteindre de fortes puissances, il n'en reste pas moins possible d'utiliser une architecture en oscillateur unique qui présente des avantages en termes de compacité et de simplicité d'architecture [3,4].

Depuis le record de puissance de 400 W établi en 2013 [3], les lasers à fibre émettant à 2,1 μm ont suscité l'intérêt de nombreux laboratoires, utilisant des dopages holmium (Ho^{3+}) et/ou thulium (Tm^{3+}) [5-9]. Une solution intéressante, notamment pour sa compacité, consiste à utiliser un codopage Tm^{3+} , Ho^{3+} de la fibre active, alors pompée à 793 nm. Nous avons ainsi récemment démontré la possibilité d'atteindre près de 200 W en fonctionnement continu avec une efficacité de 45 % en utilisant une fibre codopée placée dans une architecture en oscillateur unique [4]. Afin d'atteindre typiquement le kilowatt en sortie de ces sources laser fibrées, tout en cherchant un compromis optimal entre l'efficacité électrique-optique et la transmission atmosphérique, les lasers à fibres dopées Ho^{3+} pompés par la gaine par des lasers à fibre dopée Tm^{3+} ont eux aussi démontré leur grand intérêt. Le besoin d'atteindre une forte efficacité à 2100 nm avec un laser à fibre dopée Ho^{3+} impose alors un pompage à une longueur d'onde proche du pic d'absorption de l'ion, soit environ 1940 nm. Toutefois, cette longueur d'onde de pompage, si elle est utilisée dans le cas d'une fibre classique à double gainé dopée Ho^{3+} , peut se révéler problématique puisqu'elle est absorbée par le revêtement polymérique bas indice recouvrant la fibre. Dans ce cas, une solution consiste à utiliser une fibre dopée dite « triple gainé » (3CF), dans laquelle la gaine de pompage à 1940 nm est entourée par une deuxième gaine optique fluorée à bas indice.

La montée en puissance d'une source laser à fibre triple gainé dopée Ho^{3+} , pompée à 1940 nm et présentant une forte efficacité, est étudiée dans le cadre du projet « AMFITRIHIUM » (Amplificateur à fibre triple gainé dopée holmium) porté par la société iXblue Photonics, en partenariat avec l'ISL et l'ONERA. L'objectif de ce projet est de réaliser une fibre triple gainé dopée holmium et pompée par la gaine à 1940 nm dans une configuration en oscillateur unique. Pour

atteindre une forte efficacité, la géométrie de cette fibre 3CF nouvelle génération comprend une première gaine de faible diamètre dans laquelle se propagera la pompe.

Dans cette communication, nous présentons ce projet, démarré en 2020. En particulier, notre présentation se concentrera sur les résultats issus du développement de la source de pompe monolithique à 1940 nm destinée à pomper la fibre triple gaine dopée Ho^{3+} développée au cours de ce projet.

2. POMPAGE D'UNE FIBRE TRIPLE GAINE DOPÉE HOLMIUM EN OSCILLATEUR UNIQUE

La collaboration des partenaires du projet permet la mise en commun de deux sources commerciales à 1940 nm disponibles à l'ONERA dont la sortie est en espace libre et d'une source laser entièrement fibrée à 1940 nm, développée spécifiquement à l'ISL, pour pomper une fibre active dopée Ho^{3+} . L'addition des puissances de pompe issue de chacune des sources sera réalisée grâce à un combineur fibré à triple gaine qui sera également développé par l'ISL au cours du projet.

Le dispositif expérimental du laser monolithique visé au cours de ce projet, émettant à 2,12 μm en régime continu, est illustré sur la Fig. 1. Un tronçon de fibre dopée Ho^{3+} (HDF) 3CF développée par iXblue Photonics sera placé dans une cavité formée par deux réseaux de Bragg fibrés (FBG) centrés à 2,12 μm . Cette fibre possède un cœur dopé aux ions Ho^{3+} . Son cœur est entouré d'un piédestal dopé germanium, d'une première gaine de forme octogonale dans laquelle se propagera la pompe, d'une deuxième gaine en silice fluorée et d'une troisième gaine de protection composée de polymère bas indice.

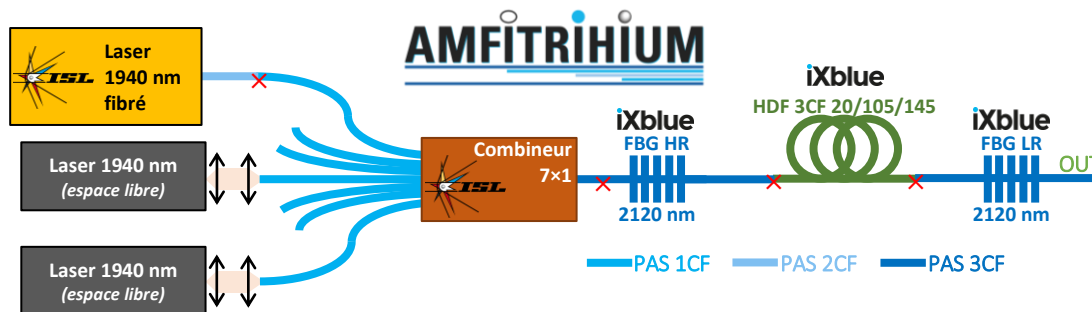


Figure 1 : Représentation schématique du dispositif expérimental monolithique de pompage d'une fibre triple gaine dopée holmium par plusieurs sources de pompe à sortie fibrée ou à sortie en espace libre. PAS nCF : Fibre passive à n gaines.

L'utilisation de cette fibre active 3CF impose que l'ensemble des composants fibrés passifs respectent eux aussi une architecture triple gaine. Ainsi, les FBG seront inscrits sur une fibre 3CF passive dont la géométrie est adaptée à celle de la fibre active. De la même façon, la fibre de sortie du combineur de pompe doit être la même fibre 3CF passive. Ce type de composant n'étant pas disponible commercialement, l'ISL va développer dans le cadre de ce projet un combineur 7x1 fibré à triple gaine. Les ports d'entrée du combineurs devront quant à eux s'adapter à une injection de la pompe en espace libre ou par soudure de fibres et celui-ci devra être capable de supporter jusqu'à 400 W de pompe à 1940 nm délivrés par l'ensemble des sources. Avec une telle architecture, une efficacité de la source laser Ho^{3+} de l'ordre de 70 % est visée, en s'appuyant sur les simulations menées par l'ONERA sur ce type de systèmes [10].

3. DÉVELOPPEMENT DE LA SOURCE DE POMPE À 1940 NM

La mise en œuvre d'un système entièrement fibré nécessite la fabrication d'une source monolithique émettant à 1940 nm en régime continu. Le dispositif expérimental de ce laser de pompe à 1940 nm est illustré sur la Fig. 2. Une fibre en silice à double gaine a été développée par iXblue Photonics. Cette fibre possède un cœur de 20 μm dopé aux ions Tm^{3+} . Il est entouré d'un piédestal dopé germanium, et d'une gaine octogonale de diamètre 250 μm . Cette fibre est soudée de part et d'autre à deux combineurs de pompe fibrés (PC) 2+1x1, chacun étant soudé à deux diodes laser fibrées émettant 135 W à 793 nm, portant à 540 W la puissance totale de pompe à 793 nm.

L'ensemble est placé dans une cavité composée d'un premier FBG à haute réflectivité (HR) réfléchissant la lumière intracavité à 1940 nm et d'un second FBG de faible réflectivité, agissant comme coupleur de sortie. Tous les composants fibrés ont été soudés entre eux par une machine de fusion-étirage par électrode (FSM-100P+, Fujikura). La fibre active est refroidie avec les FBG par immersion dans une eau déminéralisée maintenue à température constante. Cette source a été montée dans un boîtier de manière à être facilement transportable (dimensions : $50 \times 25 \times 8$ cm³). Une analyse complète des performances de cette source sera présentée dans cette communication.

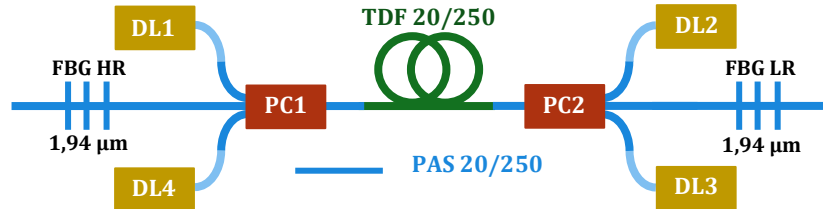


Figure 2 : Représentation schématique du montage expérimental de la source laser de pompe monolithique à fibre dopée Tm^{3+} en oscillateur unique. Les fibres passives et actives sont représentées par des traits bleus et verts, respectivement.

CONCLUSION

En conclusion, le besoin de sources laser émettant au-delà de 2 μ m à forte puissance pousse à réfléchir à de nouvelles voies de recherche de manière à dépasser les limitations physiques rencontrées. Ainsi, le développement d'une fibre triple gaine doit permettre d'atteindre de meilleures performances par la suppression des phénomènes d'absorption de la pompe à 1940 nm par le polymère qui entoure la fibre. Cette nouvelle génération de fibre 3CF dopée holmium, avec une gaine de faible diamètre de manière à augmenter l'efficacité laser d'une telle fibre pompée par un laser à fibre dopée thulium, permet d'envisager une efficacité de près de 70 %. Le développement d'une source de pompe à 1940 nm monolithique, entièrement fibrée, suivant une architecture d'oscillateur unique est une première étape vers une source compacte et monolithique émettant à 2120 nm en régime continu.

REMERCIEMENTS

Nous remercions la Direction Générale de l'Armement (DGA) pour le soutien au projet AMFITRIHIUM dans le cadre d'un financement RAPID.

RÉFÉRENCES

- [1] T. Ehrenreich *et al.*, "1-kW, all-glass Tm: fiber laser," presented at SPIE Photonics West: LASE, San Francisco, USA (2010).
- [2] W. Yao *et al.*, "790 W incoherent beam combination of a Tm-doped fiber laser at 1941 nm using a 3×1 signal combiner," *Appl. Opt.* **57**, 5574 (2018).
- [3] A. Hemming *et al.*, "A monolithic cladding pumped holmium-doped fiber laser," Conference on Lasers and Electro-Optics (Optical Society of America, 2013), paper CW1M.1.
- [4] A. Motard *et al.*, "Diffraction limited 195-W continuous Wave laser emission at 2.09 μ m from a Tm^{3+} , Ho^{3+} -codoped single-oscillator monolithic fiber laser," *Opt. Express* **29**, 6599-6607 (2021)
- [5] E. J. Friebele *et al.*, "Ho-doped fiber for high energy laser applications," in *Proc. SPIE*, p. 896120 (2014).
- [6] J. Aubrecht *et al.*, "Characterization of holmium fibers with various concentrations for fiber laser applications around 2.1 μ m," in *Proc. SPIE*, p. 988607 (2016).
- [7] A. M. Sincore *et al.*, "Comparison of in-band pumped Tm: fiber and Ho: fiber," in *Proc. SPIE*, p. 972830 (2016).
- [8] P. C. Shardlow *et al.*, "Holmium doped fibre optimised for resonant cladding pumping," in *European CLEO/EQEC*, CJ_11_4 (2017).
- [9] L. G. Holmen and G. Rustad, "Linearly polarized holmium-doped fiber amplifier at 2.11 μ m," in *EuroPhoton*, ThP.9 (2018).
- [10] J. Le Gouët *et al.*, "Realization and simulation of high-power holmium doped fiber lasers for long-range transmission," *Opt. Express* **28**, 22307-22320 (2020)