



HAL
open science

Lasers à fibre bifréquences stabilisés par réinjection optique

M. Guionie, Aurélien Thorette, Marco Romanelli, Anthony Carré, Goulc'Hen Loas, Emmanuel Pinsard, Laurent Lablonde, Benoit Cadier, Mehdi Alouini, Marc Vallet, et al.

► **To cite this version:**

M. Guionie, Aurélien Thorette, Marco Romanelli, Anthony Carré, Goulc'Hen Loas, et al.. Lasers à fibre bifréquences stabilisés par réinjection optique. Optique Toulouse 2018 - 38è Journées Nationales d'Optique Guidée (JNOG'38), Jul 2018, Toulouse, France. hal-01846270

HAL Id: hal-01846270

<https://hal.science/hal-01846270>

Submitted on 21 Jul 2018

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.

LASERS A FIBRE BIFREQUENCES STABILISES PAR REINJECTION OPTIQUE

M. Guionie¹, A. Thorette¹, M. Romanelli¹, A. Carré¹, G. Loas¹, E. Pinsard², L. Lablonde²,
B. Cadier², M. Alouini¹, M. Vallet¹ et M. Brunel¹

¹Univ Rennes, CNRS, Institut FOTON - UMR 6082, F-35000 Rennes, France

²iXblue Photonics, rue Paul Sabatier, 22300 Lannion, France

marie.guionie@univ-rennes1.fr

RÉSUMÉ

Les lasers à fibre DFB bi-polarisation sont des sources hétérodynes de choix pour les senseurs ou la photonique microonde. Dans ce cadre, nous démontrons et étudions la stabilisation du battement à 1 GHz d'un laser DFB bifréquence au moyen d'une boucle de réinjection optique décalée en fréquence. La largeur de la plage d'accrochage du battement sur un synthétiseur est proportionnelle au taux de réinjection. Le bruit de phase du battement stabilisé est de -104 dBc/Hz à 1 kHz. Des simulations numériques indiquent que la forte dissymétrie de la plage d'accrochage, observée expérimentalement, peut s'expliquer par un couplage phase-amplitude important ($\alpha > 1$).

MOTS-CLEFS : *laser à fibre, optique microonde, réinjection optique*

1. INTRODUCTION

Bien que les lasers à fibre DFB soient connus pour leur émission mono-fréquence, il a été montré que ces structures peuvent entretenir l'émission de deux polarisations orthogonales dont le décalage en fréquence est dû à la biréfringence de la fibre [1]. Dans le contexte de la photonique microonde, de tels lasers à fibres bifréquences (ou DFFL pour dual-frequency fiber laser) sont potentiellement des capteurs efficaces [2] et des sources hétérodynes robustes [3]. Pour le transport de référence RF ou microonde, stabiliser le battement de tels lasers DFFL est primordial. Pour cela on peut utiliser une boucle à verrouillage de phase du type OPLL [4]. Cependant, ce schéma utilise la puissance de pompe comme actuateur, et la stabilisation de fréquence se fait donc au détriment de la stabilité de puissance. Par ailleurs, la méthode du frequency-shifted feedback (FSF) pour l'accrochage de phase d'un laser bifréquence sur une référence externe a été mise en œuvre sur des lasers à solides [5] ou des structures à semi-conducteurs bimodes [6], avec de très bonnes performances. Nous étendons ici cette méthode tout-optique au laser à fibre DFB et mettons en évidence des caractéristiques originales.

2. METHODE

Le montage expérimental de la stabilisation par FSF est décrit sur la Figure 1. Le DFFL est une fibre dopée erbium de 50 mm de long avec un réseau de Bragg photoinscrit de 46 mm. Les coefficients de transmissions en intensité des miroirs valent respectivement -35 dB et -51 dB. Le laser est pompé à 976 nm et émet à 1532 nm deux états de polarisation orthogonaux (fréquences ν_x et ν_y) avec une puissance totale de sortie maximale d'environ $100 \mu\text{W}$. La combinaison d'un contrôleur de polarisation (PC) et d'un séparateur de polarisation (PBS) permet de sélectionner un des états de polarisation, par exemple ν_x , qui sera réinjecté dans le laser après un passage dans un modulateur d'intensité électro-optique (EOM). Celui-ci est piloté par un synthétiseur à la fréquence f_{LO} , il génère deux bandes latérales à $\nu_x \pm f_{LO}$. Ainsi, pour un désaccord $\Delta\nu = f_{LO} - |\nu_y - \nu_x|$ petit, le champ réinjecté contient une bande latérale résonante avec ν_y . Le couplage peut alors conduire à un verrouillage de la fréquence ν_y sur la composante de la fréquence $\nu_x + f_{LO}$ du champ réinjecté, et donc à un transfert de la stabilité du synthétiseur f_{LO} sur la fréquence de battement $|\nu_y - \nu_x|$. La boucle de

réinjection a une longueur optique totale de 8 m. La boucle FSF est constituée de fibres PM. L'amplificateur EDFA optionnel permet de contrôler la puissance réinjectée.

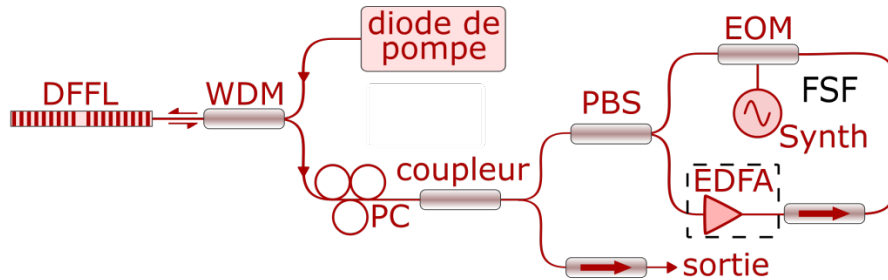


Fig. 1: Schéma du montage. WDM, coupleur signal/pompe ; PC : contrôleur de polarisation ; PBS : séparateur de polarisation ; EOM : modulateur électro-optique.

3. RESULTATS

La fréquence de battement libre est de l'ordre de 1 GHz, sa largeur de raie naturelle est de 3 kHz et la dérive est de quelques MHz par heure [4]. Nous étudions l'effet de la réinjection optique décalée en fréquence en observant à l'analyseur de spectre électrique les signaux de battement recueillis par une photodiode. Nous effectuons un balayage par pas de la fréquence du synthétiseur f_{LO} autour de la fréquence de battement du laser. A chaque pas un spectre est acquis et l'amplitude des pics de battement est codée en fausses couleurs. On peut ainsi tracer le spectrogramme de la Figure 2(a) qui combine 400 spectres successifs. La fréquence de battement du laser (au centre) ainsi que la fréquence du synthétiseur (balayée) sont bien visibles. Deux caractéristiques principales sont à relever : premièrement, on observe bien un accrochage de fréquence du battement sur le synthétiseur (dans la zone centrale, ici sur une plage d'environ 1 MHz) ; deuxièmement, cette plage d'accrochage est dissymétrique et la dynamique d'accrochage est différente de part et d'autre (il apparaît une zone de chaos lorsque $\Delta\nu < 0$, mais pas lorsque $\Delta\nu > 0$).

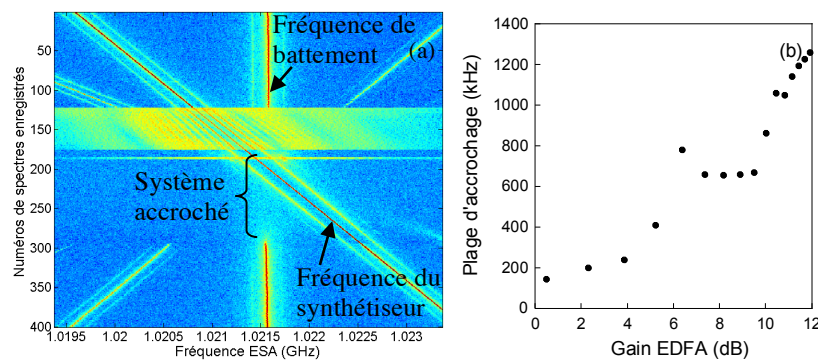


Fig. 2 : $i_{pompe} = 60$ mA. (a) Spectrogramme enregistré pour un gain EDFA de 10,4 dB. (b) Largeur de la plage d'accrochage en fonction du gain de l'EDFA.

Dans le cas le plus simple où la boucle FSF ne contient pas l'EDFA, la plage d'accrochage mesurée est de 100 kHz à 400 kHz suivant le taux de pompage. Pour mesurer la largeur de la plage d'accrochage en fonction du taux de réinjection, nous nous plaçons à courant de pompe fixe et, pour différents gains de l'EDFA, nous effectuons un balayage de la fréquence du synthétiseur. La Figure 2(b) montre l'accroissement de la largeur de la plage d'accrochage en fonction du gain de l'EDFA. On constate qu'à fort gain, on peut dépasser 1,2 MHz de plage d'accrochage.

Lorsque le battement du DFFL est stabilisé, on obtient un signal d'une grande pureté spectrale [Figure 3(a)]. La largeur de raie est limitée par la résolution de l'analyseur de spectre, soit 1 Hz. Dans cette situation, on peut mesurer le bruit de phase du battement. Sur la Figure 3(b), on compare le bruit de phase du laser asservi avec et sans EDFA dans la boucle optique. On constate que le plancher de bruit est réduit en présence d'un taux de réinjection plus fort. Par exemple, avec

l'amplificateur optique dans la boucle, le bruit est réduit à environ -104 dBc/Hz à 1 kHz. De plus, il apparaît que le plancher de bruit est limité par le bruit du synthétiseur aux basses fréquences.

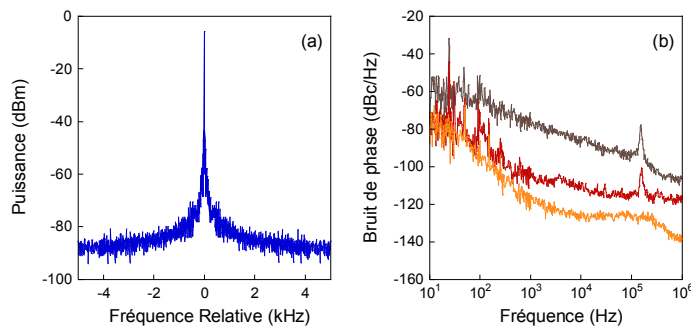


Fig. 3 : DFFL asservi. (a) Spectre électrique. Span 1 kHz, RBW 1 Hz, VBW 1 Hz. (b) Spectres de bruits de phase enregistrés à $i_{pompe} = 60$ mA (sans EDFA, courbe marron ; avec EDFA, courbe rouge ; synthétiseur, courbe jaune).

DISCUSSION

La dynamique du laser réinjecté est simulée numériquement à partir d'un modèle d'équations-bilan réduites [7], les paramètres pertinents du laser à fibre étant déduits de mesure expérimentales, notamment la constante de couplage entre les états de polarisation ($\beta = 0,65$). On retrouve la dépendance de la largeur de la plage d'accrochage avec le taux de réinjection, ainsi que la dissymétrie dans l'hypothèse où le paramètre de couplage phase-amplitude (facteur de Henry) $\alpha > 1$. Ces premières estimations de α doivent être confirmées par d'autres mesures et tests de simulation. Nous serons alors en mesure de prédire quantitativement la dynamique du système ainsi que les paramètres expérimentaux optimaux (longueur de boucle et taux de réinjection) permettant d'accroître la plage d'accrochage et de réduire le bruit de phase.

En conclusion, nous avons démontré la stabilisation du battement d'un laser à fibre DFB par une méthode de réinjection optique, avec une plage d'accrochage de l'ordre du MHz. Le bruit de phase du battement stabilisé est de -104 dBc/Hz à 1 kHz. Cette méthode peut être étendue à d'autres lasers à fibre bifréquences (fréquence de battement à 10 GHz par exemple [4]) et comparée à d'autres architectures de stabilisation.

Ce travail est financé en partie par la DGA dans le cadre du contrat ANR-16-ASTR-0016.

RÉFÉRENCES

- [1] W. H. Loh and R. I. Laming, "1.55 μ m phase-shifted distributed feedback fibre laser," *Electron. Lett.* **31**, 1440 (1995).
- [2] O. Hadeler, M. Ibsen, and M. N. Zervas, "Distributed-feedback fiber laser sensor for simultaneous strain and temperature measurements operating in the radio-frequency domain," *Appl. Opt.* **40**, 3169 (2001).
- [3] J. S. Leng, Y. C. Lai, W. Zhang, and J. A. R. Williams, "A new method for microwave generation and data transmission using DFB laser based on fiber Bragg gratings," *IEEE Photonics Technol. Lett.* **18**, 1729 (2006).
- [4] M. Guionie, L. Frein, A. Carré, G. Loas, F. Bondu, E. Pinsard, L. Lablonde, B. Cadier, M. Alouini, M. Romanelli, M. Vallet, and M. Brunel, "Beat note stabilization in dual-polarization DFB fiber lasers by an optical phase-locked loop," *Opt. Express* **26**, 3483 (2018).
- [5] L. Kervecan, H. Gilles, S. Girard, and M. Laroche, "Beat-note jitter suppression in a dual-frequency laser using optical feed-back," *Opt. Lett.* **32**, 1099 (2006).
- [6] L. Wang, M. Romanelli, F. Van Dijk, and M. Vallet, "Photonic microwave oscillator based on monolithic DFB lasers with frequency-shifted feedback," *Electron. Lett.* **50**, 451 (2014)
- [7] A. Thorette, M. Romanelli, M. Brunel, and M. Vallet, "Frequency-locked chaotic opto-RF oscillator," *Opt. Lett.* **41**, 2839 (2016).