

OSCILLATEUR OPTO-ELECTRONIQUE HYBRIDE A LASER FIBRE BIFREQUENCE

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

Dans le contexte de la photonique microonde, nous démontrons la stabilisation du battement d'un laser à fibre DFB bifréquence à 1,5 μm . Un oscillateur opto-électronique (OEO) auto-référencé à 1 GHz est réalisé au moyen d'une boucle de réinjection optique hybride. Le bruit de phase du battement stabilisé est alors réduit d'environ 20 dB.

MOTS-CLEFS : *laser à fibre; optique microonde ; réinjection optique ; oscillateur.*

1. INTRODUCTION

Les lasers à fibres DFB peuvent émettre deux modes de polarisations orthogonales et de fréquences différentes. Le décalage en fréquence est dû à la biréfringence induite lors de la photo-inscription des réseaux de Bragg [1]. De tels lasers pourraient être des capteurs efficaces [2] et des sources hétérodynes robustes [3]. Pour cela, il est crucial de stabiliser le battement, par exemple pour les applications de distribution optique d'oscillateur local, ou de métrologie. Les méthodes de stabilisation sur une référence externe, par boucle à verrouillage de phase [4], ou par réinjection optique [5], ont déjà montré de bonnes performances sur ce type de lasers à fibres bifréquences (ou DFFL pour dual-frequency fiber laser). Cependant, afin de s'affranchir du synthétiseur de référence et ainsi réaliser un oscillateur opto-électronique auto-référencé (OEO), nous avons repris le principe de la boucle de réinjection hybride, initialement proposé pour stabiliser le battement de lasers semiconducteurs DFB monolithiques [6,7]. Cette méthode consiste à combiner le verrouillage par réinjection optique avec une boucle à retard opto-électronique. Nous l'appliquons ici à un laser à fibre DFB ayant un battement aux environs de 1 GHz.

2. METHODE

Le principe général est de synchroniser le battement entre les deux fréquences propres du laser sur lui-même, c'est-à-dire sur la valeur du battement à un instant précédent [6]. Pour cela, nous avons besoin d'une boucle à retard, d'une part, et d'une boucle de réinjection optique d'un des modes sur l'autre, d'autre part. Le montage expérimental de la boucle de réinjection optique hybride est représenté sur la Fig. 1.

Le DFFL utilisé est un DFB dopé erbium de 50 mm de long avec un réseau de Bragg photo-inscrit de 46 mm. Il est pompé à 976 nm et émet à 1532 nm deux états de polarisation orthogonaux, dont les fréquences sont notées ν_x et ν_y , avec une puissance totale de sortie maximale d'environ 100 μW . Le coupleur permet de séparer la boucle de réinjection optique de la boucle de retard. Cette dernière contient une bobine de fibre SMF de longueur L qui entraîne un retard τ_{EO} . Le signal traverse ensuite un amplificateur à fibre dopée erbium (EDFA), ainsi qu'un contrôleur de polarisation (PC2) et un polariseur (Polar) avant d'être envoyé sur une photodiode. Le signal électrique de battement vient alors piloter un modulateur d'intensité électro-optique (EOM) à la fréquence $\Delta\nu(t-\tau_{\text{EO}})$, qui fait partie de la boucle de réinjection optique. La combinaison du contrôleur de polarisation (PC1) et du 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 l'EOM. Celui-ci est piloté par le battement retardé, et produit deux bandes latérales aux fréquences

$\nu_x \pm \Delta\nu(t-\tau_{EO})$. Le couplage intracavité peut alors conduire à un verrouillage de la fréquence ν_y sur la composante de la fréquence $\nu_x + \Delta\nu(t-\tau_{EO})$ du champ réinjecté. Lorsque la boucle est fermée, le battement est alors verrouillé sur sa propre valeur à un instant $t-\tau_{EO}$, ce qui conduit à une réduction du bruit de phase associé au battement, en particulier sur la bande $[0 ; 1/\tau_{EO}]$. L'amplificateur EDFA PM est optionnel et permet de contrôler la puissance réinjectée. La boucle de réinjection a une longueur optique totale de 10 m.

La dynamique de l'oscillateur est régie par trois temps caractéristiques : la période des oscillations de relaxation τ_r qui détermine la bande passante dynamique du laser ; le retard optique τ induit par la boucle de réinjection optique qui détermine les fréquences de résonances des modes de cavité externe ; et le retard opto-électronique τ_{EO} qui détermine la réduction du niveau de bruit sur le battement.

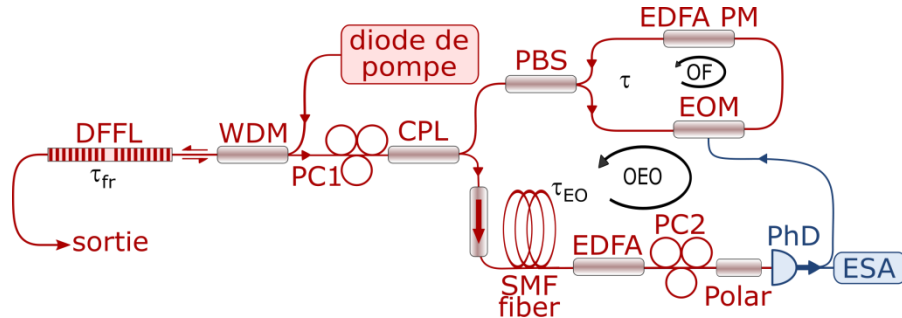


Fig. 1 : Schéma expérimental. WDM, coupleur pompe-signal ; PC, contrôleur de polarisation ; PBS, séparateur de polarisations ; EOM, modulateur électro-optique ; CPL, coupleur 10dB ; Polar, polariseur ; Phd, photodiode ; ESA, analyseur de spectre électrique.

3. RESULTATS EXPERIMENTAUX

Dans le cas de notre DFFL, 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. Les temps caractéristiques sont : $\tau_r \approx 5 \mu s$; $\tau = 50 ns$; et τ_{EO} dépend de la longueur de boucle L . Pour s'assurer que les oscillations de relaxation soient bien filtrées par la boucle opto-électronique, le retard τ_{EO} doit être supérieur à $5 \mu s$, imposant $L > 1 km$ typiquement. Par ailleurs, l'intervalle spectral libre (ISL) de la boucle optique ($1/\tau$) sera beaucoup plus grand que la bande passante du laser ($1/\tau_r$). On peut alors s'attendre à un fonctionnement sans sauts de modes associés à la boucle de réinjection optique.

Les principaux résultats de la boucle auto-référencée sont présentés sur les Figs. 2-3. Les spectres électriques du battement montrent que la largeur de raie du battement est réduite à environ 300 Hz lorsque $L = 5 km$, alors qu'elle reste de l'ordre de 3 kHz pour une longueur de boucle inférieure au km (Fig. (2)). C'est pourquoi, on choisit de conserver $L = 5 km$, induisant un temps caractéristique $\tau_{EO} = 25 \mu s$ ($1/\tau_{EO} = 40 kHz$). De plus, comme $1/\tau = 20 MHz$, on vérifie sur le spectre de la Fig. 3(a) l'absence de résonances de part et d'autre du battement (pas de saut de modes dans la cavité de réinjection).

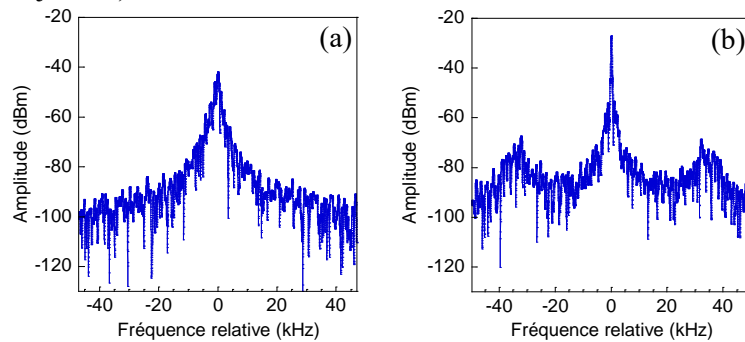


Fig. 2 : Spectre électrique pour (a) $L = 100 m$, (b) $L = 5 km$. Span 100 kHz, RBW 300 Hz

La pureté spectrale du battement est qualifiée par le bruit de phase reporté sur la Fig. 3(b). Par rapport au bruit de phase associé au battement libre, on observe une réduction d'une quinzaine de dB sur la plage basse-fréquence s'étendant jusqu'à $1/\tau_{EO}$. Sur la Fig. 3(c) est présentée l'évolution de la fréquence de battement à long terme. On peut observer quelques sauts de mode, puis des fluctuations et des dérives de l'ordre de quelques dizaines de kHz par heure. Ces dérives et sauts de modes sont probablement dus à des fluctuations de longueur optique de la bobine de fibre, celle-ci n'étant isolée ni des perturbations mécaniques ou acoustiques, ni des variations de température. Notons que l'on conserve l'excellente stabilité de la puissance de sortie des lasers fibres étudiés, même en présence de sauts de mode.

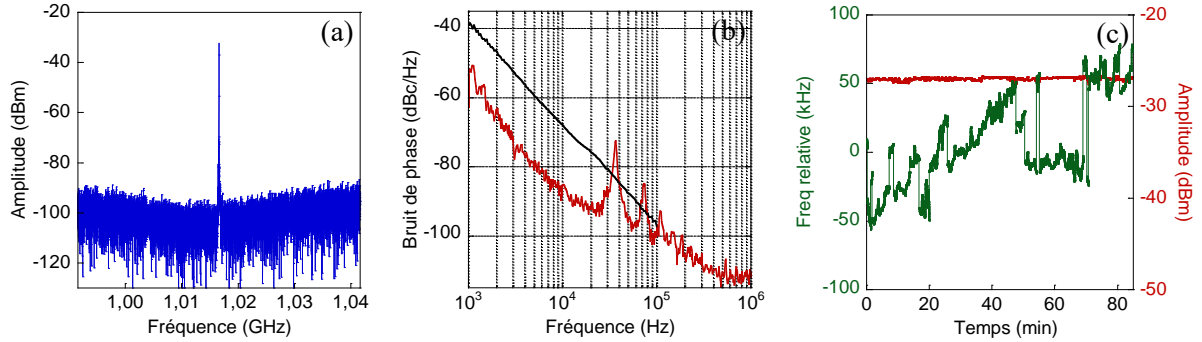


Fig. 3. $L = 5$ km. (a) Spectre électrique. Span 50 MHz, RBW 5 kHz. (b) Bruit de phase ; en rouge : laser asservi ; en noir : laser libre. (c) Evolution de la fréquence de battement (en vert) et de son amplitude (en rouge) en fonction du temps.

CONCLUSION

Nous avons ainsi démontré un OEO hybride à laser fibre bifréquence. Cette méthode de stabilisation s'avère efficace à condition que la ligne à retard soit suffisamment longue pour filtrer les fluctuations du battement autour de la fréquence de relaxation. Elle permet une réduction du bruit de phase et semble robuste vis-à-vis des perturbations extérieures. De plus, dans ce cas du laser fibre, le filtre RF présent habituellement dans les OEO à laser semi-conducteur [6] n'est pas nécessaire. Cet atout permet d'envisager une accordabilité du battement stabilisé. Enfin, cette méthode est indépendante de la fréquence porteuse, et pourra être étendue à des DFFL présentant des fréquences de battements de plusieurs dizaines de GHz pour des applications en optique microonde.

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.*, vol. 31, pp. 1440-1442, 1995.
- [2] O. Haderl, 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.*, vol. 40, pp. 3169-3175, 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.*, vol. 18, pp. 1729-1731, 2006.
- [4] M. Guionie, L. Frein, F. Bondu, A. Carré, G. Loas et al., "Beat note stabilization in dual-polarization DFB fiber lasers by an optical phase-locked loop," *Opt. Express*, vol. 26, pp. 3483-3488, 2018.
- [5] M. Guionie, A. Thorette, M. Romanelli, A. Carré, G. Loas et al., "Lasers à fibre bifréquences stabilisés par réinjection optique," *JNOG, Optique Toulouse*, 2018.
- [6] M. Vallet, M. Romanelli, G. Loas, F. van Dijk, and M. Alouini, "Self-Stabilized Optoelectronic Oscillator Using Frequency-Shifted Feedback and a Delay Line," *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 28, pp. 1088-1091, 2016.
- [7] A. Thorette, M. Romanelli, S. Bouhier, F. Van Dijk, M. Vallet, and M. Alouini, "Hybrid opto-electronic oscillator for single-sideband microwave photonics," *Electron. Lett.*, vol. 54, pp. 706-708, 2018.