



**HAL**  
open science

# Synchronisation de deux lasers DFB par réinjection décalée en fréquence, pour applications en photonique micro-onde

Aurélien Thorette, Marco Romanelli, Marc Vallet

► **To cite this version:**

Aurélien Thorette, Marco Romanelli, Marc Vallet. Synchronisation de deux lasers DFB par réinjection décalée en fréquence, pour applications en photonique micro-onde. OPTIQUE Toulouse 2018, Jul 2018, Toulouse, France. hal-02474648

**HAL Id: hal-02474648**

**<https://hal.science/hal-02474648>**

Submitted on 11 Feb 2020

**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.

# SYNCHRONISATION DE DEUX LASERS DFB PAR RÉINJECTION DÉCALÉE EN FRÉQUENCE, POUR APPLICATIONS EN PHOTONIQUE MICRO-ONDE

Aurélien Thorette, Marco Romanelli, Marc Vallet

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

aurelien.thorette@univ-rennes1.fr

## RÉSUMÉ

Nous étudions la synchronisation sur une référence externe de la différence de fréquence entre deux lasers DFB, via un schéma de réinjection décalée en fréquence, qui utilise un modulateur inséré dans une boucle de réinjection. Nous appliquons cette méthode à un composant intégré comportant deux lasers DFB et un coupleur. Des résultats numériques et expérimentaux sont comparés, et nous discuterons du comportement vis-à-vis du désaccord de fréquence, du taux d'injection et des phases optiques liées à la rétro-action.

**MOTS-CLEFS :** *injection optique ; photonique micro-onde ; dynamique des lasers*

## 1. CONTEXTE ET SYSTÈME ÉTUDIÉ

La génération de signaux radio-fréquence (RF) sur porteuse optique est un enjeu majeur pour de nombreux systèmes actuels et futurs, que ce soit dans le domaine des télécommunications, de la détection radar ou la métrologie. Les méthodes hétéodynes, c'est à dire exploitant le battement entre deux lasers de fréquences  $\nu_1$  et  $\nu_2$  différentes sont efficaces, mais nécessitent de stabiliser la différence de fréquence  $\nu_1 - \nu_2$  entre les deux lasers [1]. Une première mesure pour limiter l'influence des dérives liées à l'environnement est de placer les deux lasers sur la même puce photonique (photonic integrated component, PIC). Dans notre cas, le PIC réalisé au III-V Lab contient deux lasers DFB en InGaAsP émettant à  $1.5 \mu\text{m}$  dont les courants de pompes sont ajustables individuellement. Leurs sorties, d'une puissance d'environ 500 mW sont combinées à l'aide d'un coupleur intégré [2]. Ce système unique présente une dérive du battement limitée à 10 kHz/min.

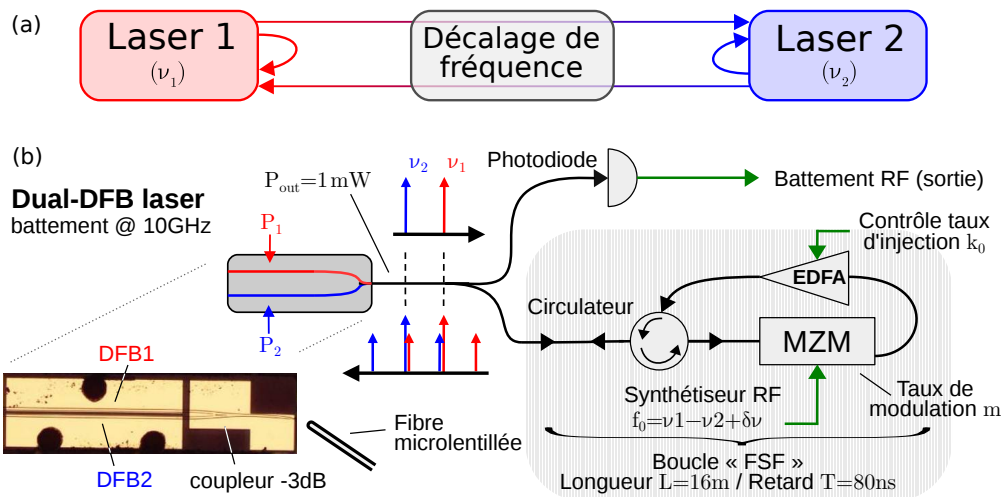


FIGURE 1 : (a) Principe du couplage entre les lasers. (b) Dispositif expérimental étudié. La différence de fréquence entre deux lasers DFB intégrés sur un composant unique est stabilisée par une boucle de réinjection avec décalage en fréquence. Celle-ci contient un modulateur d'amplitude (MZM) et un amplificateur optique (EDFA). Le signal de battement, dans le domaine RF, est observé sur une photodiode.

Le verrouillage du battement sur une référence externe utilise l'injection optique mutuelle des deux lasers. Pour cela, comme présenté sur la figure 1, une boucle de réinjection est mise en place entre les deux lasers, et celle-ci contient un modulateur d'amplitude (MZM) permettant de réaliser un décalage en fréquence [3]. Cette technique de réinjection décalée en fréquence (FSF) a déjà été démontrée expérimentalement pour les lasers solides [4], et semi-conducteurs [5], mais dans ce dernier cas l'influence des différents paramètres n'a pas été étudiée. Le cas de la synchronisation en phase de lasers semi-conducteurs n'a été étudié que partiellement, notamment sans prendre en compte un éventuel désaccord de fréquence [6]. Nous réalisons ici une étude comparant résultats numériques et expérimentaux pour un tel système de lasers soumis à injection mutuelle et réinjection propre.

## 2. STABILITÉ ET INFLUENCE DES PHASES OPTIQUES

Les lasers utilisés présentent une dynamique rapide, avec des oscillations de relaxation autour de  $f_R \approx 8$  GHz. La longueur totale de la boucle,  $L = 16$  m, induit ainsi un retard important entre les champs de sortie des lasers et les champs réinjectés. La réinjection optique agit alors comme une cavité externe, et les deux lasers peuvent se verrouiller –ou non– sur le même mode de celle-ci. Cette synchronisation est retrouvée numériquement grâce à un modèle de type *rate equations* incluant des termes de réinjection retardée. Expérimentalement, nous observons ce verrouillage de manière stable sur plusieurs heures.

Néanmoins, le modèle indique que le verrouillage est sensible aux phases optiques ajoutées lors de l'injection. Leur influence a fait l'objet d'une étude numérique. La figure 2 présente un aperçu de la sensibilité aux phases d'injection pour différents paramètres, le résultat principal étant qu'un taux de modulation important est favorable à l'état verrouillé (bleu foncé). Il est donc préférable de favoriser l'injection mutuelle entre les lasers plutôt que la réinjection de chacun sur lui-même.

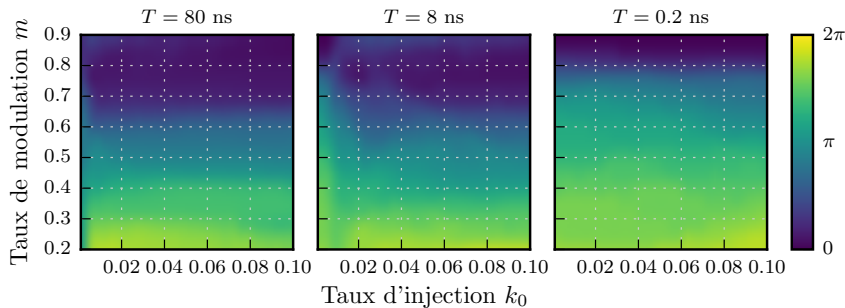


FIGURE 2 : Prévalence du régime verrouillé pour des phases optiques de réinjection aléatoires. À chaque point sont réalisées 50 intégrations numériques avec des valeurs de phase différentes. La différence entre les extrema de phase RF est calculée pour chaque intégration, et la moyenne est reportée sur la figure.  $m$  est proportionnel à l'énergie contenue dans les bandes latérales créées par le MZM.  $k_0$  représente le taux de réinjection globale.

## 3. DÉSACCORD EN FRÉQUENCE : PLAGE ET BANDES D'ACCROCHAGE

Si la fréquence de référence  $f_0$  n'est pas exactement égale à la fréquence de battement libre  $\nu_1 - \nu_2$ , la synchronisation entre les lasers peut être altérée. En effet, on observe alors numériquement et expérimentalement une certaine plage d'accrochage, c'est à dire une gamme de valeurs pour le désaccord  $\delta\nu = \nu_1 - \nu_2 - f_0$  pour lesquelles le verrouillage est possible. La largeur de cette plage d'accrochage dépend du taux d'injection, du taux de modulation, et des phases optiques.

De plus, le désaccord induit un déphasage  $-\delta\nu \times T$  entre champ intra-cavité et champ injecté. L'effet de ce déphasage induit est de segmenter la plage d'accrochage en un certain nombre de bandes d'accrochage, avec une périodicité  $1/T$ . Ceci peut être vu numériquement et expérimentalement sur la figure 3. Entre ces bandes d'accrochage, on observe des zones de déverrouillage complet de la phase, ou bien des zones de phase bornée, dans lesquelles la fréquence moyenne reste égale à  $f_0$ . Quant à

l'amplitude, elle peut présenter des oscillations de type ondes carrées avec une période  $2T$ , ou encore des variations chaotiques.

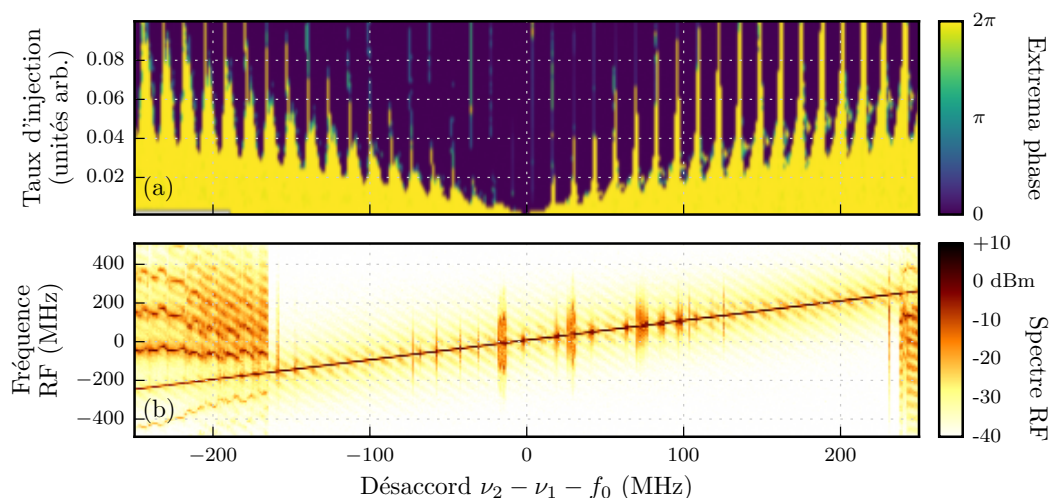


FIGURE 3 : Bandes d'accrochage. (a) Observation numérique, représentant la différence des extrema de phases. (b) Observation expérimentale, sous forme de spectrogramme obtenu lors d'un balayage du désaccord.

### CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le système présenté permet bien le verrouillage de la fréquence de battement entre deux lasers sur une référence externe. En dépit de la difficulté à contrôler certains paramètres, notamment les phases optiques, la stabilité peut être maintenue sur de longues périodes en favorisant l'injection mutuelle. Au niveau dynamique, nous avons montré l'effet d'un désaccord en fréquence, notamment l'apparition de bandes d'accrochages liées au retard. Des phénomènes d'ondes carrées, de phase bornée et de chaos sont également présents.

Nous avons appliqué cette technique à un composant PIC contenant deux lasers, et une plus forte intégration pourrait être envisagée en ajoutant directement la réinjection sur un tel composant. Cette solution a déjà été testée notamment dans des prototypes d'oscillateurs opto-électroniques hybrides produisant un battement RF stabilisé sur une ligne à retard [7], et pourrait être mise à contribution dans un grand nombre de systèmes intégrés.

### RÉFÉRENCES

- [1] J. Yao, "Microwave Photonics," *J. Light. Technol.*, vol. 27, no. 3, pp. 314–335, Feb. 2009.
- [2] F. van Dijk, A. Accard, A. Enard, O. Drisse, D. Make, and F. Lelarge, "Monolithic dual wavelength DFB lasers for narrow linewidth heterodyne beat-note generation," in *Microwave Photonics, 2011 International Topical Meeting on & Microwave Photonics Conference, 2011 Asia-Pacific, MWP/APMP*. IEEE, p. 73
- [3] A. Thorette, M. Romanelli, and M. Vallet, "Synchronization of two DFB lasers using frequency-shifted feedback for microwave photonics," *Opt. Express*, submitted, 2018.
- [4] J. Thévenin, M. Romanelli, M. Vallet, M. Brunel, and T. Erneux, "Resonance assisted synchronization of coupled oscillators : Frequency locking without phase locking," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 107, p. 104101, 2011.
- [5] L. Wang, M. Romanelli, F. Van Dijk, and M. Vallet, "Photonic microwave oscillator based on monolithic DFB lasers with frequency-shifted feedback," *Electron. Lett.*, vol. 50, p. 451, 2014.
- [6] V. Flunkert, O. D'Huys, J. Danckaert, I. Fischer, and E. Schöll, "Bubbling in delay-coupled lasers," *Phys. Rev. E*, vol. 79, 2009.
- [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.*, submitted, 2018.