



**HAL**  
open science

## Bruit de phase d'un COEO : étude analytique, optimisation et verrouillage en fréquence

Ramin Khayatzadeh, Vincent Auroux, Arnaud Fernandez, Olivier Llopis,  
Gilles Bailly

► **To cite this version:**

Ramin Khayatzadeh, Vincent Auroux, Arnaud Fernandez, Olivier Llopis, Gilles Bailly. Bruit de phase d'un COEO : étude analytique, optimisation et verrouillage en fréquence. Journée du Club Optique Micro-onde (JCOM 2017), Jul 2017, Limoges, France. 2p. hal-01568096

**HAL Id: hal-01568096**

**<https://hal.science/hal-01568096>**

Submitted on 24 Jul 2017

**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.

## Bruit de phase d'un COEO : étude analytique, optimisation et verrouillage en fréquence

R. Khayat-zadeh<sup>1</sup>, V. Auroux<sup>1</sup>, G. Bailly<sup>1</sup>, A. Fernandez<sup>1,2</sup>, O. Llopis<sup>1</sup>

<sup>1</sup>LAAS-CNRS, Université de Toulouse, 7 av. du Colonel Roche, 31031, Toulouse, France

<sup>2</sup> Univ de Toulouse, UPS, LAAS, F-31400 Toulouse, France

L'oscillateur optoélectronique couplé (COEO) représente l'une des approches les plus efficaces et les plus compactes pour générer des signaux micro-ondes à haute pureté spectrale par l'optique [1,2]. Dans cette approche, le signal micro-onde est stabilisé par la cavité optique active du laser fibré et bénéficie de coefficients de qualité très élevés (de l'ordre de  $10^6$  à 10 GHz).

Nous présentons dans cette communication un modèle simple permettant de mettre en relief les paramètres clés qui régissent le couplage des deux oscillations dans un COEO. La topologie du COEO et l'impact des différents paramètres physiques de la cavité ont été étudiés pour l'amélioration des performances du système et en particulier du bruit de phase. Le modèle est développé afin de comprendre l'allure de la courbe de bruit de phase du COEO. Dans la deuxième partie de cette communication, un verrouillage de phase du COEO sur un oscillateur de référence (synthétiseur) a été effectué afin d'augmenter la stabilité en fréquence long terme [3]. Pour finir, nous montrerons l'intérêt d'une gestion de la dispersion chromatique dans la boucle optique. Ainsi par l'utilisation de filtres de Bragg chirpés, un niveau du bruit de phase de -120 dBc/Hz à 1 kHz de la porteuse a été mesuré.

La Figure 1 (A) décrit la topologie sur laquelle se base notre modèle analytique. Le bruit de phase du COEO est issu de la transformation du bruit de phase de l'amplificateur RF et du SOA (Semiconductor Optical Amplifier) respectivement notés  $n(t)$  et  $\psi(t)$ , chacun filtré par les deux cavités couplées. Le signal  $\varphi(t)$  représente le bruit de phase à la sortie du COEO. Dans un COEO, la porteuse optique transportant le signal RF circule plusieurs fois la cavité. Ainsi, ce dernier parcourt une longueur beaucoup plus importante que le chemin optique équivalent à un tour de cavité, ce qui a pour effet d'augmenter le facteur de qualité équivalent du résonateur optique [4]. Pour modéliser ce phénomène un filtre résonant du premier ordre a alors été ajouté au système (Q). A chaque oscillateur est affecté un coefficient  $\alpha$  et  $\alpha'$  correspondant à l'injection du signal d'un oscillateur vers l'autre.

On obtient ainsi les fonctions de transfert du système vu par le bruit du SOA ( $H_{Total\psi}$ ) et par le bruit de l'amplificateur RF ( $H_{Totaln}$ ).

$$H_{Total\psi}(S) = \frac{\Phi(S)}{\Psi(S)} = \frac{1}{1 - (\alpha\alpha' H_Q e^{-S\tau_{d1}} + (1-\alpha)(1-\alpha')e^{-S\tau_{d2}})} \quad (1)$$

$$H_{Totaln}(S) = \frac{\Phi(S)}{N(S)} = \frac{1-\alpha'}{1 - (\alpha\alpha' H_Q e^{-S\tau_{d1}} + (1-\alpha)(1-\alpha')e^{-S\tau_{d2}})} \quad (2)$$

Ainsi, par superposition, connaissant la densité spectrale en puissance (DSP) du bruit de phase  $S_\psi$  du SOA et  $S_n$  de l'amplificateur RF, on peut déterminer la DSP du bruit de phase en sortie :

$$S_\varphi = S_\psi |H_{Total\psi}|^2 + S_n |H_{Totaln}|^2 \quad (3)$$

Les résultats de bruit de phase obtenus par ce modèle pour plusieurs valeurs de  $\alpha'$  sont présentés sur la Figure 1 (B). Pour un couplage nul ( $\alpha'=0$ ), le signal RF ne parcourt que l'oscillateur optoélectronique à ligne à retard et est donc considéré comme l'oscillateur « libre ». Le bruit de phase de cet oscillateur a pu être mesuré (en remplaçant la source mode-lock par un laser externe conventionnel). Par contre, le laser à blocage de mode à 10 GHz (oscillateur de référence) n'existe qu'en présence d'un signal micro-onde et donc en présence de l'oscillateur libre. Le modèle fournit néanmoins un bruit de phase pour cet oscillateur de référence, lorsque la valeur de  $\alpha'$  est égale à 1. Le bruit de phase de l'oscillateur de référence dépend uniquement du bruit de phase du SOA ainsi que de son facteur de qualité.

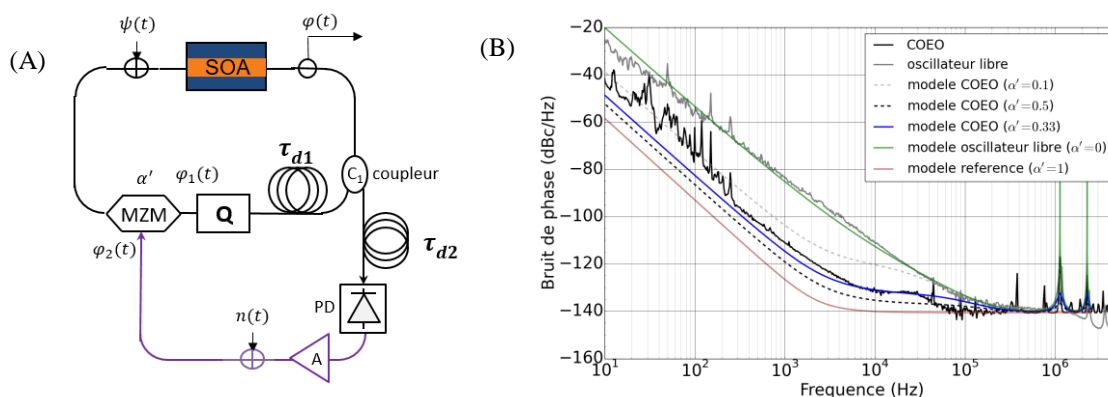


Figure 1. (A) Topologie du COEO utilisée pour le modèle analytique par fonction de transfert, MZM: Mach-Zehnder modulator. (B) Bruit de phase expérimentaux et modélisés de l'oscillateur libre.

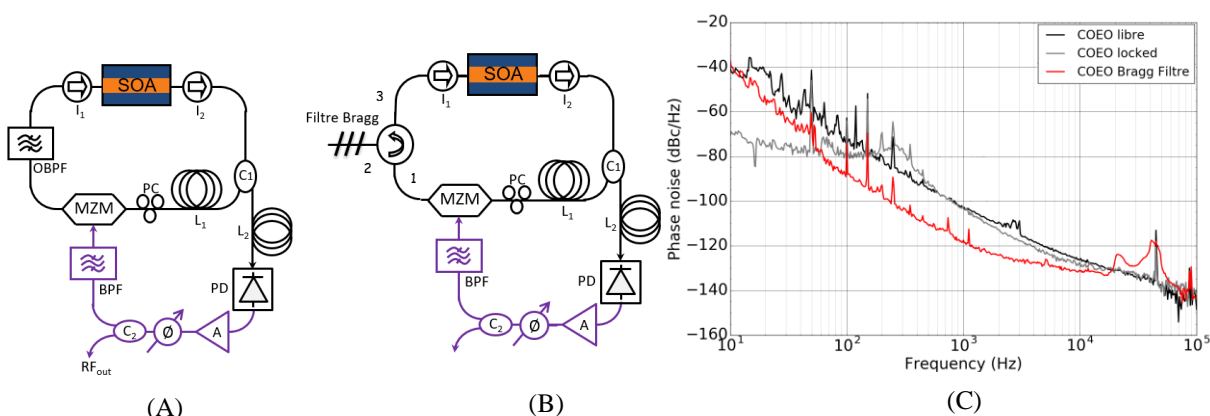


Figure 2. (A) Montage expérimental du COEO. (B) Montage expérimental du COEO avec un filtre Bragg chirpé. (C) Spectres de bruit de phase mesurés pour un COEO 10 GHz.

Dans deuxième partie de cette communication, le COEO a été verrouillé sur un synthétiseur de fréquence. La Figure 2 (A) présente le schéma de COEO et le bruit de phase mesuré pour le COEO libre (courbe noire) et verrouillé (courbe grise) sont présentés dans la Figure 2 (C). Le verrouillage a été obtenu par une rétroaction sur le courant de pompe de l'amplificateur optique. Une amélioration du bruit de phase de 30 dB a été obtenue à 10 Hz de la porteuse. La bande passante de verrouillage pour l'actionneur est d'environ 500 Hz.

Dans la dernière partie, grâce à une gestion de la dispersion chromatique utilisant un filtre de Bragg chirpé ayant une dispersion chromatique de -7 ps/nm dans la cavité optique, le niveau du bruit de phase de -120 dBc/Hz à 1 kHz de la porteuse a été mesuré (Fig. 2C courbe rouge). Pour obtenir un facteur qualité optique important, la longueur totale utilisée des fibres SMF dépasse 400 m.

#### Références :

- [1] X. S. Yao et L. Maleki, "Dual microwave and optical oscillator", Opt. Lett., vol. 22, no 24, 1997.
- [2] N. Yu, E. Salik, et L. Maleki, "Ultralow-noise mode-locked laser with coupled optoelectronic oscillator configuration", Opt. Lett., vol. 30, no 10, p. 1231-1233, 2005.
- [3] R. Khayatzaheh, V. Auroux, A. Fernandez, O. Llopis, "COEO Phase locking and performance optimization", IEEE EFTF-IFCS 2017 conference, Besançon, juillet 2017.
- [4] D. Eliyahu and L. Maleki, "Modulation response (S21) of the coupled opto-electronic oscillator," Proc. of the IEEE IFCS, 2005.