



**HAL**  
open science

# Modélisation numérique et mesure expérimentale du bruit de phase de l'oscillateur optoélectronique couplé

Alexis Bougaud, Olivier Llopis, Arnaud Fernandez

## ► To cite this version:

Alexis Bougaud, Olivier Llopis, Arnaud Fernandez. Modélisation numérique et mesure expérimentale du bruit de phase de l'oscillateur optoélectronique couplé. Journée du Club Optique Micro-onde (JCOM) 2021, SFO, Jun 2021, Paris, France. hal-03288421

**HAL Id: hal-03288421**

**<https://laas.hal.science/hal-03288421v1>**

Submitted on 16 Jul 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.



## Modélisation numérique et mesure expérimentale du bruit de phase de l'oscillateur optoélectronique couplé

Alexis Bougaud, Olivier Llopis, Arnaud Fernandez

LAAS-CNRS, Université de Toulouse, CNRS, UPS, 7 avenue du Colonel Roche, 31400 Toulouse

L'oscillateur optoélectronique couplé (COEO) améliore le bruit de phase d'un oscillateur optoélectronique grâce à son verrouillage avec un laser à blocage de modes. Cette approche a été théorisée par A. Matsko suivant un modèle temporel basé sur une approximation gaussienne [1,2]. Notre approche numérique est une généralisation de ce modèle gaussien, incluant un traitement de la boucle de contre-réaction RF basé sur une approche temporelle afin de prendre en compte plus facilement les effets de saturation de l'amplificateur RF (génération d'harmoniques). De plus, les bruits de "flicker" de phase associés aux amplificateurs optiques et RF sont eux aussi pris en compte.

### I] modèle numérique

Le régime stationnaire de la boucle optique est obtenu par intégration numérique de la master équation d'un laser à verrouillage de modes (1), couplée à l'équation régissant l'évolution du signal modulant associée à la boucle de contre-réaction RF (2), auxquelles on associe la dynamique du gain optique et RF (3). Le comportement stochastique des signaux RF et optiques du COEO est alors déterminé en introduisant les forces de Langevin dans chacune de ces équations. Les coefficients de diffusion associés à ces forces [2] et leur couplage permettent alors de relier le bruit de phase RF du COEO aux grandeurs macroscopiques de la cavité optique.

$$\frac{\partial A(T, t)}{\partial T} = -\frac{i}{2} \left( \beta_2 + \frac{i}{\Omega_f^2} \right) \frac{\partial^2 A}{\partial t^2} + i\gamma |A|^2 A + \frac{1}{2} (g - \alpha) A - T_{MZM}(u_{rf}) A + F_A \quad 1$$

$$\frac{\partial u_{rf}(T, t)}{\partial T} = \hat{G}_{rf} \cdot \hat{M}_{rf} \cdot i_{pd} + F_u \quad 2$$

$$\frac{\partial g}{\partial t} = \frac{(g_0 - g)}{\tau_c} - g \frac{P_{opt}}{E_{sat}} + F_g \quad 3$$

### II] Modélisation du COEO AM et $\Phi$ M

Deux configurations de COEO ont été simulées suivant ce modèle, se différenciant par le type de modulateur utilisé pour le verrouillage de modes optiques : modulateur d'amplitude (AM) ou modulateur de phase ( $\Phi$ M). Le régime stationnaire est considéré comme étant atteint lorsque l'énergie des impulsions optiques et la puissance RF sont maintenues constantes à chaque tour de cavité et pour une forme d'enveloppe optique inchangée.

### III] Résultats expérimentaux

Les configurations simulées ont été testées expérimentalement afin de valider les tendances obtenues par le modèle numérique. Le peigne de raies optique a donc été obtenu à l'analyseur de spectre optique et le bruit de phase mesuré par un analyseur de signal RF (E5052B) pour les deux configurations. Une mesure hétérodyne a aussi été réalisée pour le COEO AM, visant à mesurer la relation de phase entre les modes optiques verrouillés et permettant la reconstitution du profil impulsif expérimental.

### IV] Conclusion

Un modèle numérique basé sur l'intégration de master équations a été mis en place permettant la simulation du bruit de phase du COEO et une estimation de son facteur de qualité pour deux types de verrouillages de modes optiques (AM et  $\Phi$ M). Les tendances obtenues numériquement ont ensuite été validées expérimentalement par la mesure du spectre optique et du bruit de phase RF.

Remerciements : cette étude a reçu le soutien du CNES, de la région Occitanie et de la DGA

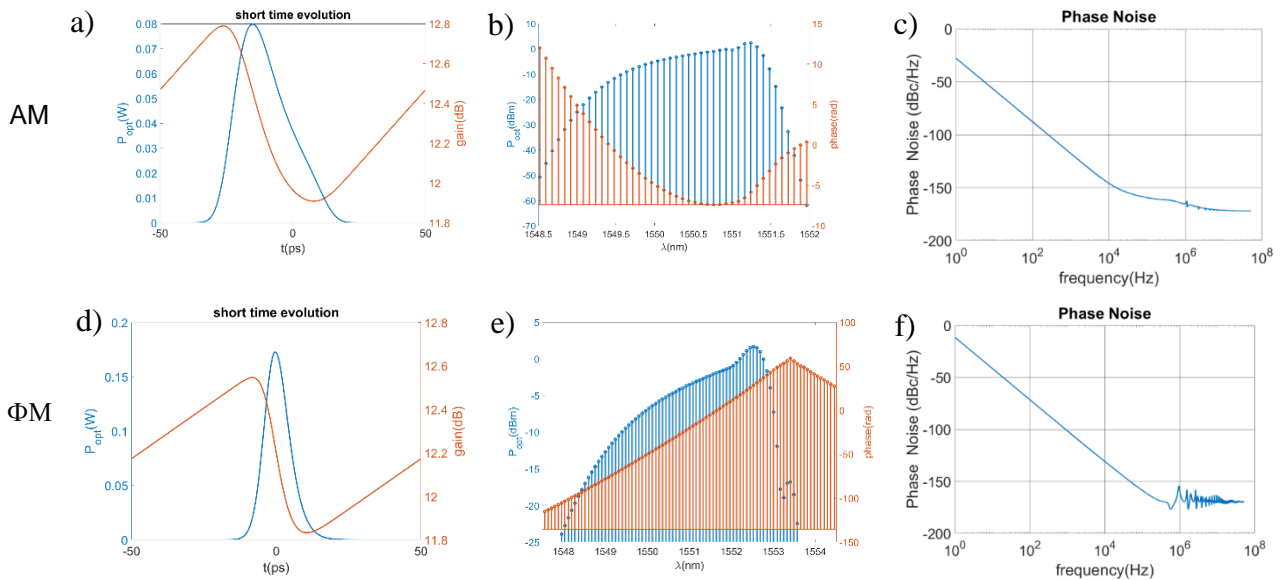


Figure 1 : *Simulations* ; a,d) profil impulsionnel optique (bleu), dynamique du gain (orange) ; b,e) spectre de puissance optique (bleu) et phase modale associée (orange) ; c,f) bruit de phase RF

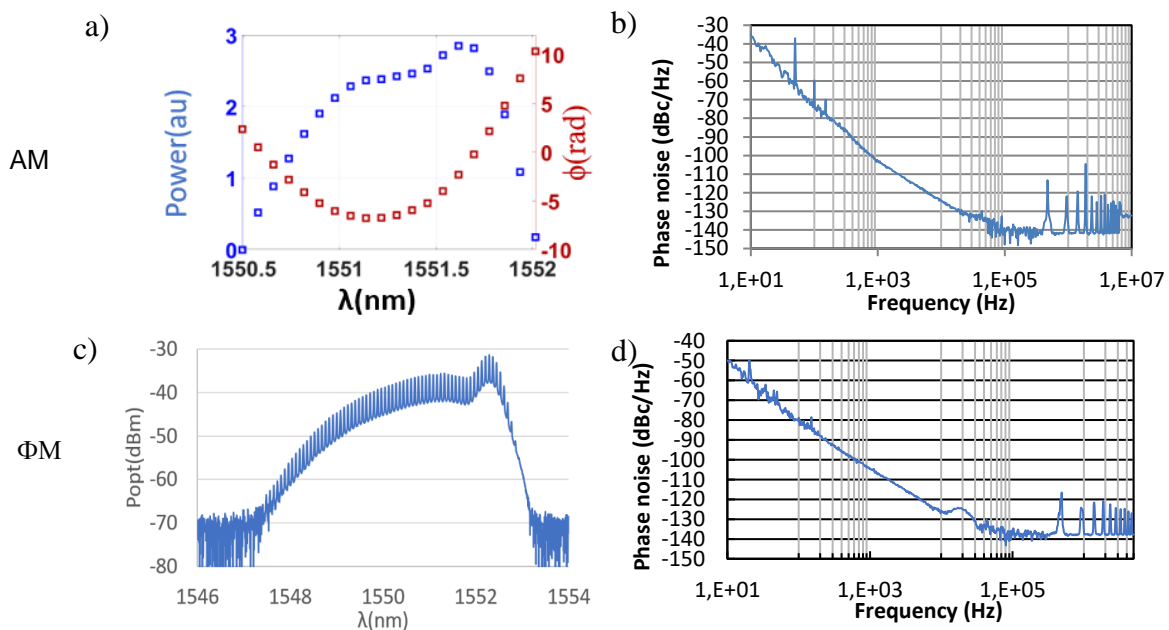


Figure 2 : *Mesures* ; a) mesure hétérodyne du spectre de puissance optique et de la phase associée dans le cas du modulateur AM ; b) bruit de phase RF mesuré à 10 GHz pour le COEO AM ; c) spectre de puissance optique mesuré à l'analyseur de spectre optique dans le cas modulateur  $\Phi M$  ; d) bruit de phase RF mesuré à 10 GHz pour le COEO  $\Phi M$

### Références :

- [1] Matsko, A.B., Eliyahu, D., Koonath, P., Seidel, D. and Maleki, L., 2009. Theory of coupled optoelectronic microwave oscillator I: expectation values. JOSA B, 26(5), pp.1023-1031
- [2] Matsko, A.B., Eliyahu, D. and Maleki, L., 2013. Theory of coupled optoelectronic microwave oscillator II: phase noise. JOSA B, 30(12), pp.3316-3323