HAL
open science

Effets de désynchronisation sur le comportement déterministe, en bruit de phase et chaotique d'un oscillateur opto-électronique couplé

Alexis Bougaud, Olivier Llopis, Arnaud Fernandez

To cite this version:

Alexis Bougaud, Olivier Llopis, Arnaud Fernandez. Effets de désynchronisation sur le comportement déterministe, en bruit de phase et chaotique d'un oscillateur opto-électronique couplé. Journée du Club Optique Micro-onde - JCOM 2022, Jun 2022, Besançon, France. hal-03736483

HAL Id: hal-03736483

https://laas.hal.science/hal-03736483

Submitted on 22 Jul 2022

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.

JCOM 2022
FEMTO-ST–ENSMM
Besançon
13 juin 2022

Effets de désynchronisation sur le comportement déterministe, en bruit de phase et chaotique d'un oscillateur opto-électronique couplé

Alexis Bougaud, Olivier Llopis, Arnaud Fernandez
LAAS-CNRS, Université de Toulouse, CNRS, UPS, 7 avenue du Colonel Roche, 31400 Toulouse

L'oscillateur opto-électronique couplé est une architecture basée sur le principe d'un laser à verrouillage de mode régénératif en vue de faire osciller un signal RF porté optiquement. Ce dispositif peut aussi être considéré comme résultant du couplage entre un laser à verrouillage de modes actif et un oscillateur opto-électronique. De ce fait, les effets de synchronisation (habituellement observés dans le cas d'oscillateurs RF couplés) se retrouvent dans le cas du COEO et affectent non seulement son comportement déterministe mais aussi ses performances en bruit de phase. Dans ce papier nous présentons les principaux effets de la synchronisation sur le facteur de qualité et le bruit de phase du COEO, ainsi que les différents régimes de synchronisation accessibles.

I] Effet du detuning sur le facteur de qualité et sur les performances en bruit de phase du COEO

Les résultats de simulations présentées sont basés sur l'intégration numérique d'équations aux dérivées partielles [1]. Elles permettent notamment de déterminer le facteur de qualité du COEO qui conditionne les performances en bruit de phase proche porteuse. Numériquement comme expérimentalement, le detuning entre l'OEO et le MLL est modifié au moyen d'un déphaseur dans la boucle de contre-réaction RF, permettant d'ajuster la fréquence d'oscillation de l'OEO. Dans le cas d'un verrouillage de phase entre les deux oscillateurs, l'onde RF portée optiquement dans la cavité optique (MLL), suit fidèlement le décalage en fréquence de l'OEO. On obtient alors un régime stationnaire stable permettant l'étude du facteur de qualité de l'oscillateur et de ses performances en bruit de phase. Les résultats numériques présentés Fig.1a) donnent l'évolution du facteur de qualité sur l'ensemble de la bande de verrouillage, dépendant de nombreux paramètres dont notamment la dispersion chromatique. On observe alors un comportement différent suivant le régime de dispersion (normal/anormal). Dans le cas d'une dispersion anormale, le facteur de qualité s'accentue au bord de la bande de verrouillage, impactant directement les performances en bruit de phase proche porteuse de l'oscillateur (Fig.1b). Le detuning affectant le niveau de puissance RF à l'état stationnaire, le plancher de bruit se voit aussi impacté menant à une dépendance de l'ensemble de la courbe de bruit de phase au detuning (Fig.1c).

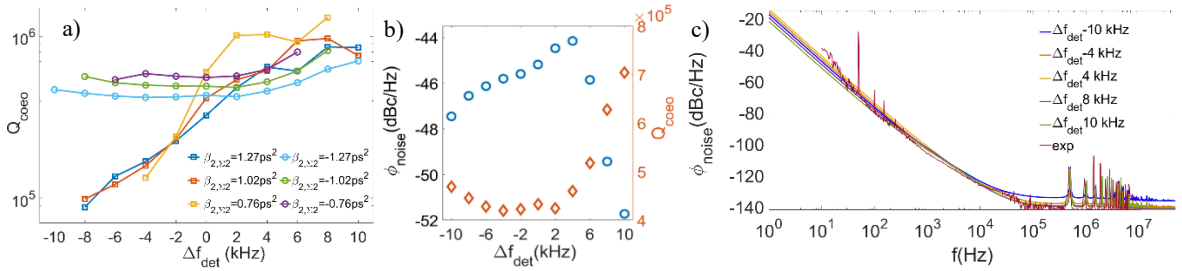

Fig1. a) Evolution du facteur de qualité du COEO suivant le detuning et pour différentes valeurs de dispersion chromatiques ($\beta_{2\Sigma,2}$). b) Dépendance du bruit de phase proche porteuse ($f = 10Hz$) suivant le detuning. c) Evolution du spectre de bruit de phase global du COEO suivant le detuning, comparé aux mesures expérimentales (courbes vertes et bordeaux).

Ces résultats numériques nous indiquent donc qu'un detuning suffisamment important permet une amélioration des performances de l'oscillateur. Reste qu'une valeur trop prononcée peut mener le COEO en dehors de conditions de verrouillage de phase. On arrive alors dans des régimes d'entrainement de phase, voire à des régimes chaotiques.

II] Régime d'entrainement de phase et chaotique

Nous présentons ici un cas de régime d'entrainement de phase et un cas chaotique. La synchronisation entre les oscillateurs est ici représentée dans l'espace des phases (Fig.3), dont le plan est défini par l'amplitude complexe du signal RF oscillant dans l'OEO. Le régime d'entrainement de phase se caractérise donc par un état cyclo-stationnaire et est représenté dans le plan par un cycle limite. Le régime chaotique est quant à lui observable dans le plan de phase par des trajectoires quasi-périodiques, restreintes dans un périmètre bien défini et est caractérisé par un coefficient de Lyapunov positif.

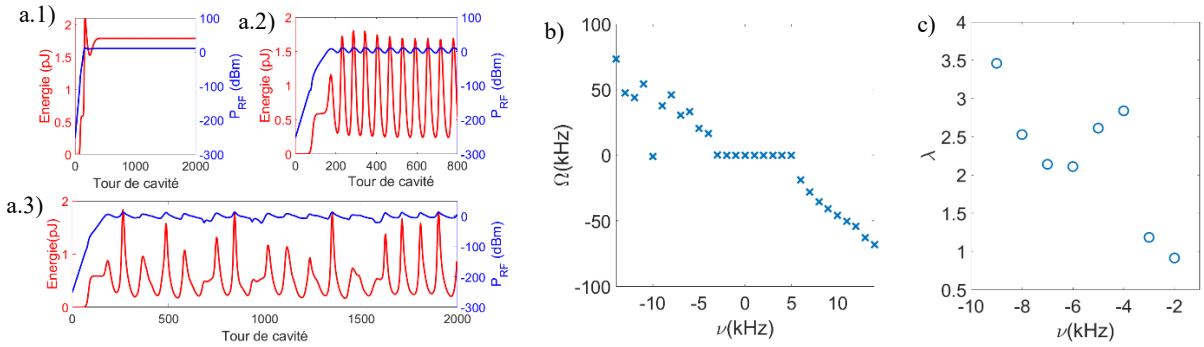

Fig2. a) Evolution temporelle de l'énergie d'une impulsion optique dans la cavité (MLL) ainsi que la puissance RF porté par l'OEO. Les trois régimes du COEO sont représentés : a.1) : verrouillage de phase, a.2) : entrainement de phase, a.3) : régime chaotique. b) Detuning appliqué (υ) pour obtenir ces trois régimes que l'on caractérise par la différence de fréquence entre le signal RF du MLL et de l'OEO ($\Omega = \omega_{RF,MLL} - \omega_{RF,OEO}$). c) Représentation de l'évolution du coefficient de Lyapunov (λ) calculé dans la zone de régime chaotique ($\upsilon < 0$).

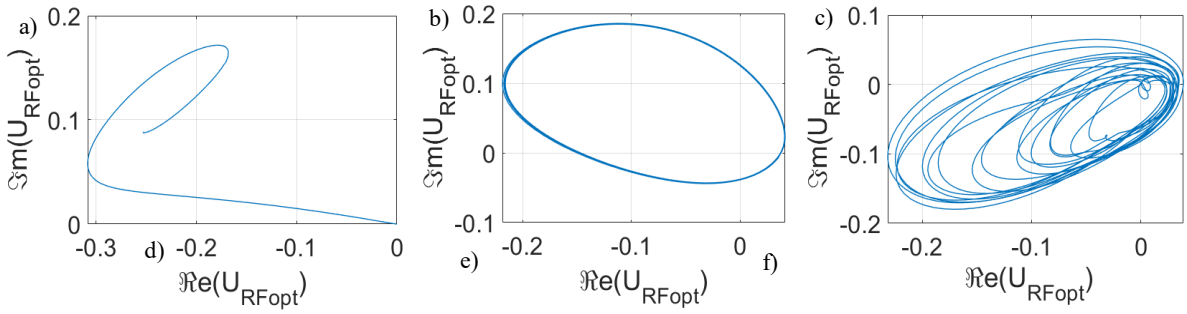

Fig3. Espace des phases de l'amplitude complexe du signal RF oscillant dans l'OEO. Les trois régimes de synchronisation y sont représentés : a) verrouillage de phase, b) entrainement de phase, c) chaos.

III] Conclusion

Le detuning est un paramètre déterminant sur le comportement du COEO. Les résultats de simulations tendent à favoriser un detuning au bord de la bande de verrouillage. Cependant, une valeur trop importante peut mener au régime d'entrainement de phase et par conséquent sort le système des conditions de verrouillage de phase recherchées en vue d'optimiser le bruit de phase de l'oscillateur. Ce paramètre peut aussi conduire le COEO vers un comportement chaotique, exploitable dans le cadre des télécommunications sécurisés.

Références :

[1] Alexis Bougaud, Olivier Llopis, Arnaud Fernandez, "Numerical study of a COEO device versus loop chromatic dispersion and detuning", EFTF/IFCS Paris 2022.