



**HAL**  
open science

## Régime chaotique verrouillé en fréquence d'un oscillateur opto-hyper.

Aurélien Thorette, Marco Romanelli, Marc Brunel, Marc Vallet

► **To cite this version:**

Aurélien Thorette, Marco Romanelli, Marc Brunel, Marc Vallet. Régime chaotique verrouillé en fréquence d'un oscillateur opto-hyper.. 19ème Rencontres du Non-Linéaire (RNL) 2016, Mar 2016, Paris, France. . hal-01333407

**HAL Id: hal-01333407**

**<https://hal.science/hal-01333407>**

Submitted on 30 Jun 2016

**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.

# Régime chaotique verrouillé en fréquence d'un oscillateur opto-RF

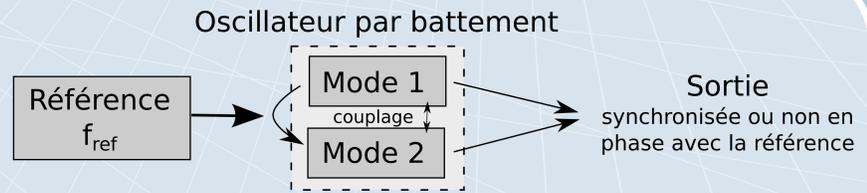
Aurélien Thorette, Marco Romanelli, Marc Brunel, Marc Vallet

Département Optique et Photonique, Institut de Physique de Rennes  
UMR Université de Rennes 1 – CNRS 6251, Campus de Beaulieu, Rennes,

## Introduction

Synchronisation d'oscillateurs : phénomène présent dans de nombreux domaines.  
ex : électronique, hydrodynamique, optique, biologie, etc.

Dans le cas d'un oscillateur synchronisé sur une référence externe : accrochage de phase ou accrochage de fréquence sans accrochage de phase (*phase bornée*).



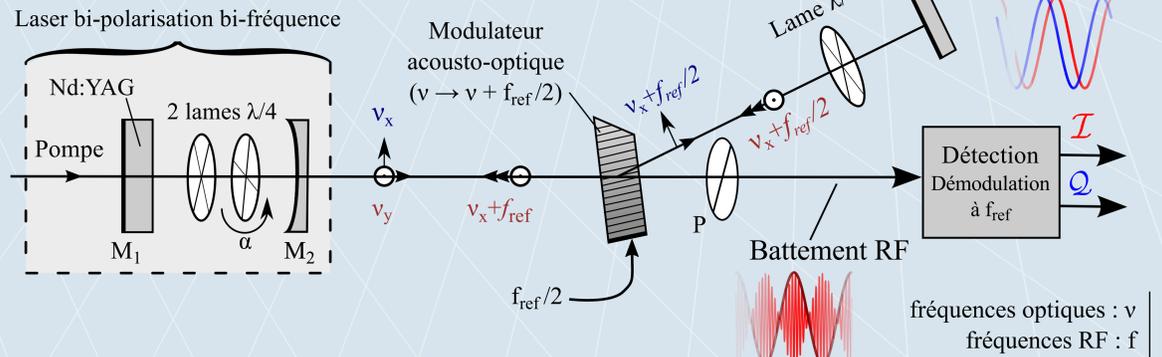
## Système modèle étudié : oscillateur opto-RF synchronisé sur référence externe.

= signal RF sur porteuse optique

Laser solide Nd:YAG avec biréfringence réglable dans la cavité.  
→ laser bi-polarisation bi-fréquence.  
→ génération d'un battement RF accordable  $\delta\nu = \nu_y - \nu_x$

Réinjection optique décalée en fréquence (RDF).  
→ couplage entre les modes via forçage externe à  $f_{ref}$  d'intensité  $\Gamma$  et de **désaccord de fréquence**  $\delta\nu - f_{ref}$ .

Mesure de la phase relative : démodulation IQ du battement, par rapport à la référence à  $f_{ref}$ .  
→ mesure directe de la phase relative entre l'oscillateur et la référence.



Travaux antérieurs sur le même système :

- Thévenin et al., "Phase and intensity dynamics of a two-frequency laser submitted to resonant frequency-shifted feedback," *PRA* **86**, 33815 (2012).
- Romanelli et al., "Measuring the universal synchronization properties of driven oscillators across a Hopf instability," *Optics Express* **22**, 7364 (2014).

## Simulation numérique et observation expérimentale

Modèle de « rate equations » normalisées pour les deux modes de polarisation :

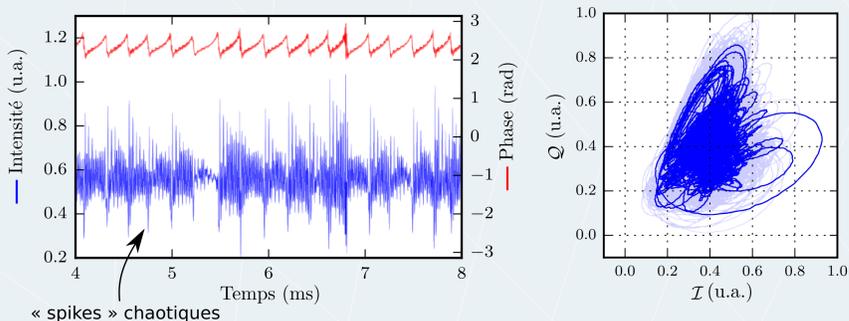
$$\begin{cases} \frac{de_x}{ds} = \frac{m_x + \beta m_y}{1 + \beta} \frac{e_x}{2} \\ \frac{de_y}{ds} = \frac{m_y + \beta m_x}{1 + \beta} \frac{e_y}{2} + i\Delta e_y + \Gamma e_x \end{cases} \quad \text{Couplage par réinjection } e_x \rightarrow e_y$$

$$\frac{dm_{x,y}}{ds} = 1 - (|e_{x,y}|^2 + \beta|e_{y,x}|^2) - \varepsilon[1 + (\eta - 1)(|e_{x,y}|^2 + \beta|e_{y,x}|^2)]$$

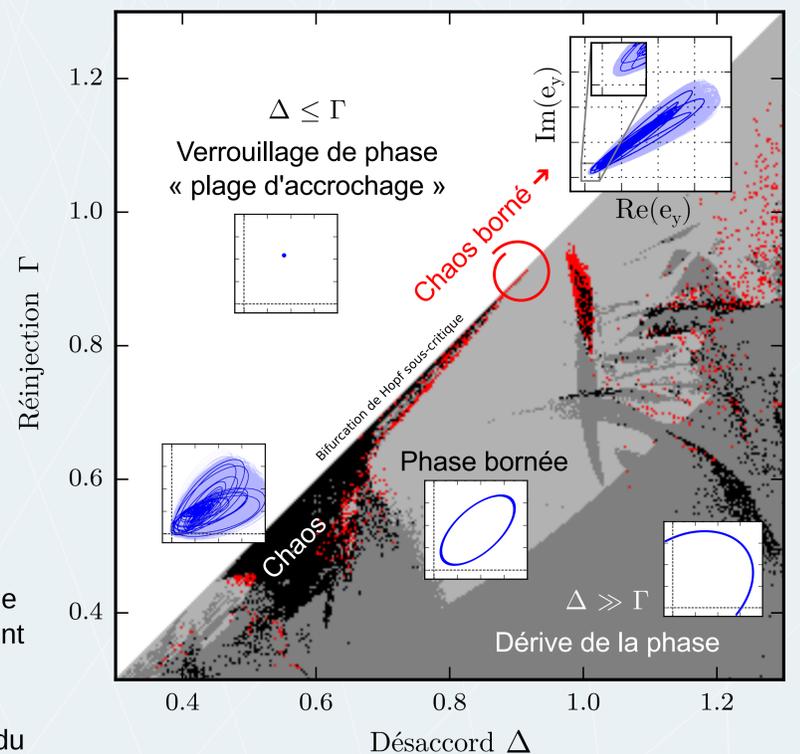
différents régimes prévus

$s = 2\pi f_{ref} t$  : temps caractéristique du système, basé sur la fréquence des oscillations de relaxation  
 $\Delta = (\delta\nu - f_{ref})/f_{ref}$  : désaccord en fréquence.  
 $\Gamma$  : intensité de la réinjection.

$e_x = E_x e^{-2i\pi\nu_x t}$ ,  $e_y = E_y e^{-2i\pi(\nu_y + f_{ref})t}$  : champs électriques démodulés à  $f_{ref}$ .  
 $\beta = 0,6$  : couplage dans le milieu actif.  
 $\varepsilon = 0,096$  : rapport pertes de cavité/pertes du milieu actif.  
 $\eta = 1,2$  : paramètre de pompe.



observation expérimentale de l'amplitude du battement  $|e_x + e_y|^2$   
La démodulation IQ à  $f_{ref}$  du battement permet de remonter à  $Re(e_y)$ ,  $Im(e_y)$ .



Légende  
□ verrouillage (point fixe stable)  
■ existence d'au moins un attracteur chaotique.  
■ existence d'un attracteur chaotique avec phase bornée.  
■ phase bornée (existence d'un cycle limite avec phase bornée)  
■ dérive de la phase (cycle limite avec phase non bornée)

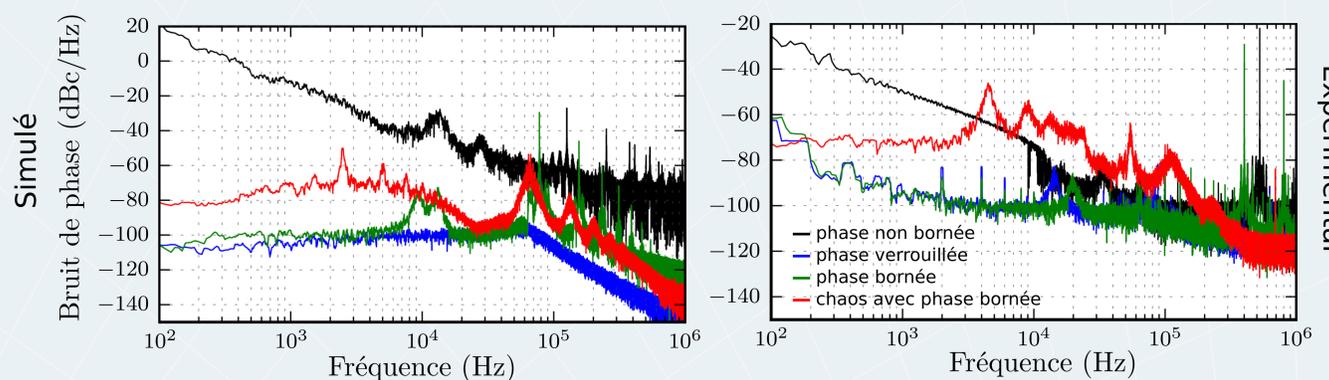
## Stabilité (bruit de phase)

Ce régime permet-il de conserver la stabilité à long terme de la référence ?

→ Calcul du bruit de phase.  
(= densité de puissance de la phase)

$$S_\varphi = 10\log[\text{PSD}(\varphi)].$$

De la même façon que le régime de phase bornée conserve très bien la pureté spectrale de la référence, le régime chaotique borné parvient à conserver la stabilité à long-terme en fréquence.



## Conclusion

- Nouveau mécanisme de synchronisation : on contraint la phase d'un oscillateur chaotique sans la verrouiller totalement.
- Mise en évidence expérimentale du régime de phase bornée chaotique (accrochage de fréquence avec fluctuations chaotiques de la phase).
- Pureté spectrale de la référence transférée partiellement à l'oscillateur.
- Étude réalisée dans le but d'une meilleure compréhension des systèmes réinjectés avec décalage en fréquence.  
→ Prochaine étape : effet du retard ; lasers semi-conducteurs.