

Dynamique des lasers

Cette thématique de recherche vise à comprendre différents aspects de la dynamique des lasers, avec une attention particulière portée aux lasers bifréquences. Nous nous intéressons à la réduction de bruits de phase et d'intensité de lasers à état solide ou semi-conducteurs pour le développement de sources laser faible bruit. Nous nous intéressons aussi aux propriétés spatiales du champ laser et aux comportements vectoriels des modes intracavité. Toutes ces études ont, d'une part, un intérêt fondamental, et visent d'autre part des applications concrètes (par exemple, les études sur la synchronisation et le bruit sont importants pour la réalisation d'oscillateurs ultrastables). Les sources à faible bruit d'intensité sont incontournables dans les futures architectures et systèmes optique-hyperfréquences mais aussi dans les expériences d'atomes froids et d'optique cohérente par exemple. Ces études viennent en appui des travaux de l'équipe en **Optique hyper-fréquence et TeraHertz et métrologie**.

Sources laser faible bruit

Synchronisation dans les lasers vectoriels

Les lasers bifréquences pouvant générer, par battement, un signal dans la gamme radiofréquence (RF), la question se pose naturellement de stabiliser ce signal sur un oscillateur de référence. Parmi les techniques étudiées au laboratoire, nous avons montré que la rétroaction optique décalée en fréquence donne de bons résultats aussi bien en régime pulsé qu'en régime continu, ouvrant ainsi la voie à des applications de type lidar-radar. Par ailleurs, la réinjection optique décalée en fréquence nous a permis de mettre en évidence un type de synchronisation inhabituel, dans lequel la fréquence moyenne des oscillateurs couplés est la même, sans que leur phase relative soit pour autant verrouillée [The11]. Ce régime dit de phase bornée est très générique et se manifeste au voisinage d'une bifurcation de Hopf, qui caractérise ce système dynamique non linéaire. Nous avons observé que la transition entre le régime de verrouillage de phase et celui de phase bornée n'affecte pas notablement le bruit de phase en basse fréquence, et que la synchronisation du battement laser peut être maintenue même si le laser bifréquence entre dans un régime chaotique [Tho16], ou s'il produit des impulsions excitables de grande amplitude [Rom16]. La dépendance de ces bifurcations au signe du désaccord fréquentiel révèle l'existence d'un facteur de Henry (facteur " α ") non-nul dans un laser à état solide tel que le Nd:YAG, que nous avons mesuré précisément par une technique originale [Tho17].

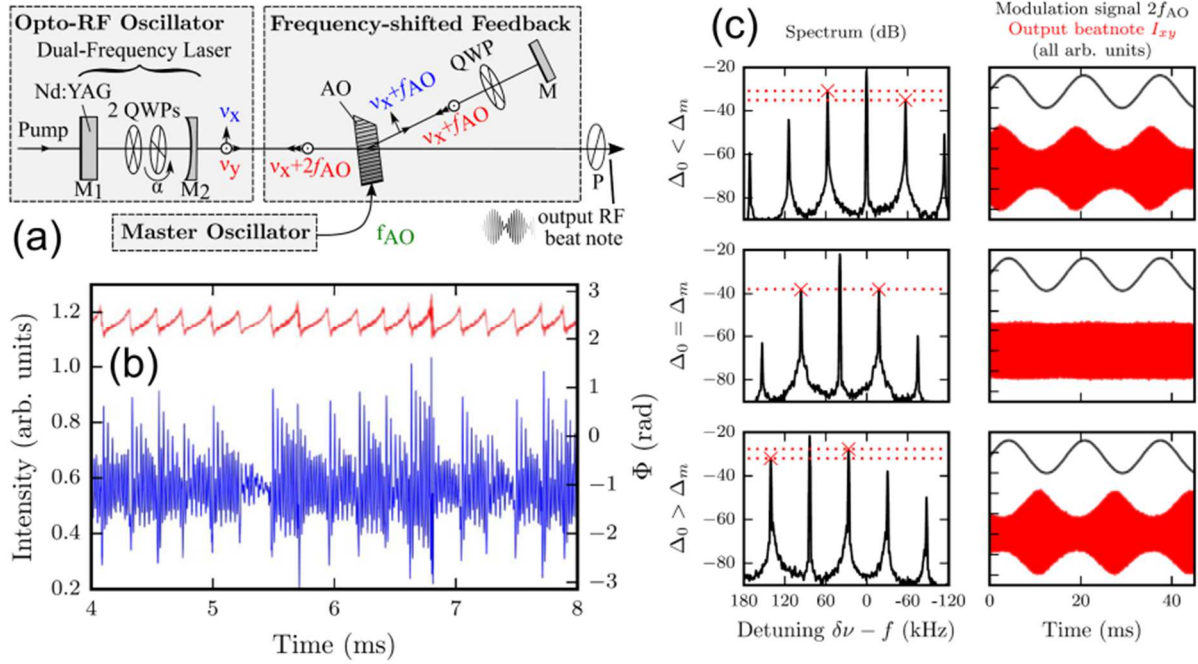


Fig. 4 : a) Montage expérimental permettant la synchronisation par réinjection optique décalée en fréquence. b) Amplitude et phase du signal de battement en régime synchronisé chaotique [Tho16]. c) Spectre et série temporelle du signal de battement pour une réinjection modulée en fréquence, permettant la mesure du facteur de Henri (facteur "α") [Tho17].

Une autre question liée à la synchronisation dans les lasers concerne la possibilité de réaliser des lasers vectoriels à modes bloqués (mode-locking), générant des impulsions courtes. En effet, dans les lasers ultra-rapides les plus courants, la polarisation est fixée par de fortes anisotropies (fenêtres de Brewster, section efficace du gain anisotrope). Nous avons montré que, en l'absence de telles anisotropies, un laser à verrouillage de modes peut émettre simultanément deux peignes de fréquences associés à deux polarisations orthogonales. Un miroir à transmission saturable (SESAM) assure la synchronisation temporelle des deux peignes. Le laser émet alors un train d'impulsions ultra-courtes dont l'état de polarisation varie d'impulsion à impulsion, comme le montre la figure ci-dessous. Les premières expériences sont effectuées avec un laser Nd:YAG délivrant des impulsions picosecondes. On observe un fonctionnement particulier lorsque le désaccord de fréquence entre les deux peignes est au voisinage de $c/4L = f_{rep}/2$: toutes les fréquences émises sont accrochées en phase, ce qui accroît encore la stabilité de l'ensemble [The12].

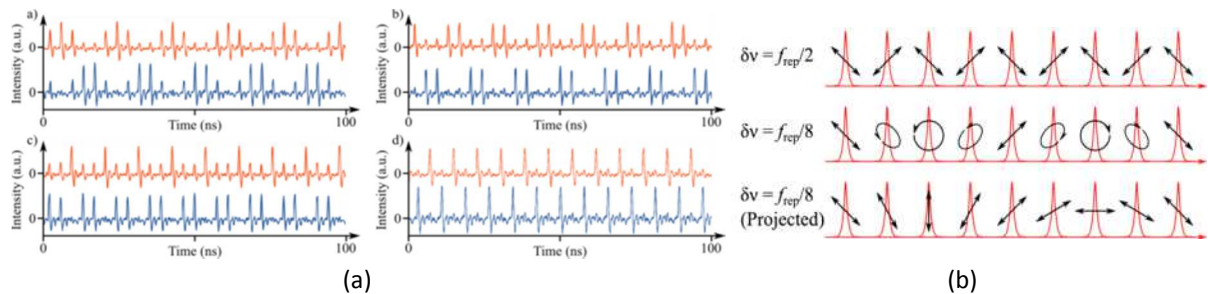


Fig. 5 : (a) Trains d'impulsions expérimentaux observés pour différents désaccords entre les deux peignes: (a) $f_{rep}/5$, (b) $f_{rep}/4$, (c) $f_{rep}/3$, et (d) $f_{rep}/2$ ($f_{rep} = 271$ MHz) L'observation est faite derrière un cube séparateur de polarisation. Les traces correspondent à des directions de polarisation à $+45^\circ$ (en rouge) et -45° (en bleu) par rapport aux directions de polarisation propres du laser. (b) Illustration du changement d'état de polarisation en sortie de laser d'une impulsion à l'autre.

Sélection de publications :

[The11] 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.* 107, 104101 (2011).

[Rom14] M. Romanelli, L. Wang, M. Brunel, and M. Vallet, "Measuring the universal synchronization properties of driven oscillators across a Hopf instability," *Optics express*, 22, 7364-7373 (2014).

[Tho16] A. Thorette, M. Romanelli, M. Brunel, and M. Vallet, "Frequency-locked chaotic opto-RF oscillator," *Optics Letters*, 41, 2839 (2016).

[Rom16] M. Romanelli, A. Thorette, M. Brunel, T. Erneux, and M. Vallet, "Excitable-like chaotic pulses in the bounded-phase regime of an opto-rf oscillator," *Phys. Rev. A*, 94, 043820 (2016).

[Tho17] A. Thorette, M. Romanelli, and M. Vallet, "Linewidth enhancement factor measurement based on FM-modulated optical injection: application to rare-earth doped active medium," *Optics Letters*, *in press*.

[The12] J. Thévenin, M. Vallet, and M. Brunel, "Dual-polarization mode-locked Nd:YAG laser," *Opt. Lett.* 37, 2859 (2012).

Effets transverses

Lasers contrôlés par injection de spin électronique

Thèses en lien avec cette thématique (passées/en cours) :

Jérémy Thévenin, « Accrochages de fréquences dans les lasers vectoriels à état solide : étude du verrouillage de modes passif et de la réinjection décalée en fréquence », 2012.

Nicolas Barré, « Étude de la sélection des structures transverses stationnaires dans les lasers », 2014.

Kevin Audo, « Lasers solides bifréquences auto-régulés en bruit d'intensité »

Aurélien Thorette, « Structures de polarisation dans les lasers et réinjection : application à la génération de faisceaux opto-hyper »

Alexandre Joly

Gaëlle Breval

Collaborations :

Institut Foton-OHM

Laboratoire CIMAP (Université de Caen)

Laboratoire Aimé Cotton (Palaiseau)

Laboratoire de Photonique et Nanostructures LPN (Marcoussis)

Thales Research and Technology (Palaiseau)

UMR CNRS/Thales

Groupe d'Optique Non Linéaire Théorique (Université Libre de Bruxelles)

Contacts :



M. Alouini



M. Brunel



G. Loas



M. Romanelli



M. Vallet

Équipe FOTON-DOP

Responsable d'équipe : François BONDU

Tel : +33 223 235 156

francois.bondu@univ-rennes1.fr

Site web : <http://foton.cnrs.fr/v2016/spip.php?rubrique111>

Institut FOTON - Équipe DOP
Université de Rennes 1 – CNRS UMR 6082
Campus de Beaulieu – Bat 11B
263 avenue du Général Leclerc
35042 RENNES CEDEX



UNIVERSITÉ DE
RENNES 1

INSA