

# 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

L'enjeu de cette activité de recherche est de proposer des architectures de cavités laser à état solide (Nd:YAG, Er:Yb) ou à semi-conducteurs (VCSEL) présentant un niveau de bruit d'intensité et/ou de bruit de phase intrinsèquement bas. Les applications de ce type de laser naturellement régulés sont la transmission de signaux analogiques par voie optique pour les nouvelles architectures radar, ou encore la métrologie. Cette thématique de recherche a donné lieu à de nombreux travaux récents, notamment sur les sujets suivants :

- **Réalisation de lasers de classe A dans les semi-conducteurs** : Sur des architectures VECSEL (lasers à émission de surface demi-VCSEL à cavité étendue), il est possible de réaliser des lasers dits de classe A, ne présentant pas d'excès de bruit d'intensité aux fréquences propres des oscillations de relaxation [Bai09a]. Ces architectures permettent aussi d'obtenir un régime d'oscillation bifréquence stable et accordable, sur une porteuse optique faible bruit [Bai09b]. Les dynamiques originales de ce type de lasers ont par ailleurs permis d'observer des phénomènes de lumière lente [EIA10] ou encore d'accrochage de phase entre mode laser et modes d'émission spontanée amplifiée [EIA11]. Ces études ont permis très récemment de démontrer un laser dont le bruit d'intensité de  $-170$  dB/Hz est obtenu sur tout le spectre de fréquence [Bai13]. Ces études sont menées en collaboration avec Thalès-TRT, le Laboratoire Aimé Cotton (LAC) et le Laboratoire Photonique et Nanostructures (LPN).

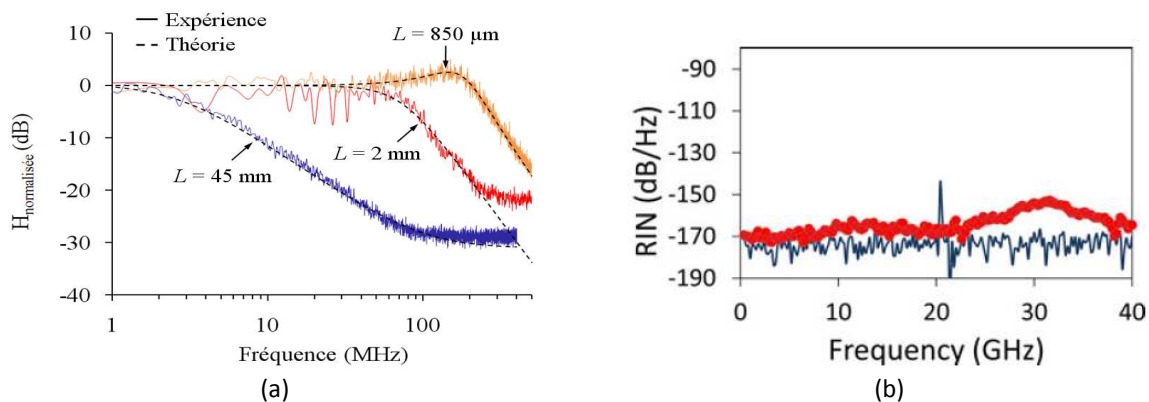


Fig. 1 : (a) Observation de la transition de phase d'un régime dynamique de classe B à un régime dynamique de classe A dans un laser à semiconducteur de type VECSEL ; (b) Exemple de laser classe-A VECSEL présentant un bruit d'intensité relatif de  $-170$  dB/Hz sur une large plage fréquentielle (300 MHz-40 GHz), sauf à l'intervalle spectral libre du laser (20.4 GHz) (courbe bleue).

- Laser Nd:YAG bi-fréquence sans bruit d'antiphase** : Sur les lasers bi-fréquence, le bruit d'antiphase apporte un excès de bruit d'intensité à une fréquence supplémentaire, traduisant l'échange d'énergie entre les deux modes de polarisation qui oscillent dans la cavité. Nous avons récemment démontré que ces bruits de partition pouvaient être supprimés en utilisant une coupe cristallographique bien particulière du milieu à gain, coupe permettant de découpler les populations du milieu à gain liées à chaque mode de polarisation [EIA12]. Ces travaux sont menés en collaboration avec le LAC.

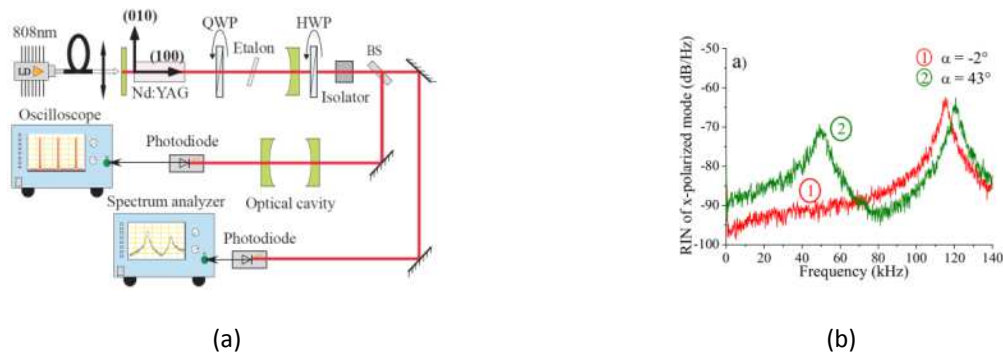


Fig. 2 : a) Schéma de la cavité laser et du montage expérimental; b) Observation de la suppression du bruit d'antiphase (courbe rouge) lorsque les modes de polarisation du laser bi-fréquence sont orientés selon les axes cristallographiques d'une coupe (100) du milieu actif (Nd:YAG).

- Laser à état-solide autorégulé en bruit d'intensité** : Ces études visent à imprimer des modifications profondes de la dynamique d'oscillation de lasers à état solide de manière à réduire naturellement leur bruit. Ceci est obtenu au travers de mécanismes d'absorption nonlinéaires (absorption à deux photons, doublage de fréquence inefficace) intra-cavité laser [EIA13]. Il a ainsi été démontré qu'un laser à état solide peut être autorégulé en bruit d'intensité sur des plages fréquentielles extrêmement élevées, ce dernier ne présentant plus d'excès de bruit à la fréquence des oscillations de relaxation mais aussi aux fréquences de battement entre le mode oscillant et les modes adjacents d'émission spontanée amplifiée [EIA14]. Ceci n'avait encore jamais été obtenu dans aucun type de laser.

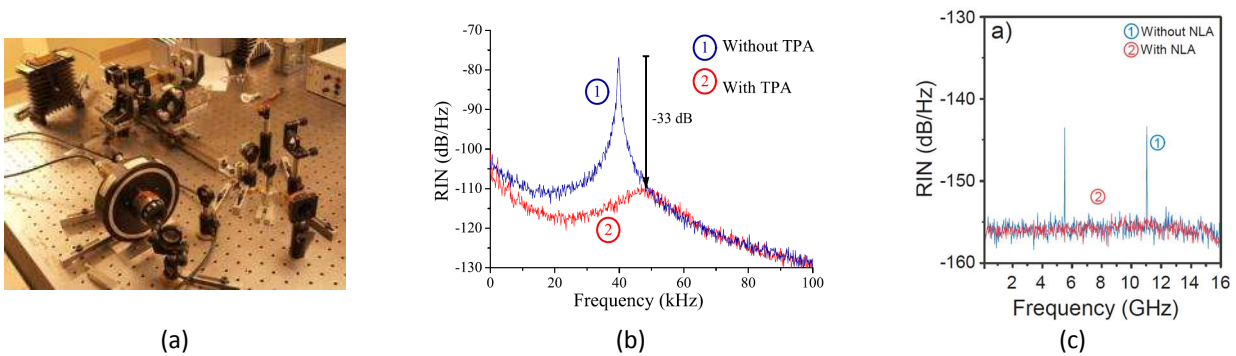


Fig. 3 : (a) Photographie du montage expérimental. (b-c) Observation de la réduction des excès de bruit d'intensité résonnants aux fréquences des oscillations de relaxation (b) ainsi qu'aux très hautes fréquences (c) dû à l'insertion d'un absorbant à deux photons (TPA) dans la cavité laser.

### **Sélection de publications :**

- [Bai09a] Baïli G., Alouini M., Malherbe T., Dolfi D., Sagnes I., Bretenaker F., "Direct observation of the class-B to class-A transition in the dynamical behavior of a semiconductor laser," *Europhysics Letters* 87, 44005 (2009).
- [Bai09b] Baïli G., Morvan L., Alouini M., Dolfi D., Bretenaker F., Sagnes I., Garnache A., "Experimental demonstration of a tunable dual-frequency semiconductor laser free of relaxation oscillations", *Optics Letters* 34, 3421 (2009).
- [EIA10] A. El Amili, B.-X. Miranda, F. Goldfarb, G. Baili, G. Beaudoin, I. Sagnes, F. Bretenaker and M. Alouini, "Observation of slow light in the noise spectrum of a vertical external cavity surface-emitting laser," *Phys. Rev. Lett.* 105, 223902 (2010).
- [EIA11] A. El Amili, V. Pal, F. Goldfarb, R. Ghosh, M. Alouini, I. Sagnes, and F. Bretenaker, "Observation of noise phase locking in a single-frequency VECSEL," *Opt. Express* 19, 17250 (2011).
- [Bai13] G. Baili, L. Morvan, G. Pillet, D. Dolfi, S. Bouchoule, Z. Zhao, J-L. Oudar, M. Alouini, L. Ménager, S. Formont, F. Bretenaker, "High power and ultra-low noise VECSEL for high dynamic range and wideband microwave optical links," *International Topical Meeting on Microwave Photonics (MWP)*, Alexandria, Virginia USA (2013).
- [EIA12] A. El Amili, G. Loas, S. De, S. Schwartz, G. Feugnet, J. P. Pocholle, F. Bretenaker, and M. Alouini, "Experimental demonstration of a dual-frequency laser free from antiphase noise, " *Optics Letters* 37, 4901 (2012)
- [EIA13] A. El Amili, G. Kervalla and M. Alouini, "Experimental evidence and theoretical modeling of two-photon absorption dynamics in the reduction of intensity noise of solid-state Er:Yb lasers, " *Optics Express* 21 (7), 8773-8780 (2013).
- [EIA14] A. El Amili, G. Loas, L. Pouget, and M. Alouini, "Buffer reservoir approach for cancellation of laser resonant noises," *Optics Letters*, Vol. 39, 5014-5017 (2014)

## **Synchronisation dans les lasers vectoriels**

### **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)

UMP 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](mailto: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

