



Stabilisation d'une diode laser à cavité externe émettant à 420 nm sur un anneau de fibre

Georges Perin, Dominique Mammez, Antoine Congar, Pascal Besnard, Karim Manamanni, Vincent Roncin, Frédéric Du Burck, Stéphane Trebaol

► To cite this version:

Georges Perin, Dominique Mammez, Antoine Congar, Pascal Besnard, Karim Manamanni, et al.. Stabilisation d'une diode laser à cavité externe émettant à 420 nm sur un anneau de fibre. Journée du Club Optique Micro-Ondes (JCOM 2021), Jun 2021, Paris, France. hal-04182843

HAL Id: hal-04182843

<https://hal.science/hal-04182843>

Submitted on 18 Aug 2023

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 2021
ESYCOM–Le Cnam
Paris
04 juin 2021



Stabilisation d'une diode laser à cavité externe émettant à 420 nm sur un anneau de fibre

Georges Perin¹, Dominique Mammez¹, Antoine Congar¹, Pascal Besnard¹, Karim Manamanni², Vincent Roncin², Frédéric Du Burck², Stéphane Trebaol¹

¹Institut FOTON CNRS UMR 6082, Université Rennes, F-22305 Lannion, France

²Laboratoire de Physique des Lasers UMR CNRS 7538, Université Sorbonne Paris Nord, 93430 Villetaneuse, France

Les diodes laser émettant dans le proche UV/bleu ont montré leur potentiel d'intégration dans des applications en télécommunications optiques en espace libre ou sous-marines. Leur potentiel d'utilisation va bien au-delà de ces applications et des besoins sont identifiés dans le domaine des capteurs, de la spectroscopie, du refroidissement d'atomes ou encore pour la réalisation de références de fréquence. Pour ces applications des sources laser compactes et bas coût présentant des largeurs de raie de l'ordre de quelques kHz sont nécessaires.

Actuellement, les diodes laser à base de nitrure de gallium (GaN) commercialisées ont généralement un large spectre multimode longitudinal. Par conséquent, il n'est pas possible de les utiliser directement pour la plupart des applications précédemment citées exigeant un fonctionnement monomode du laser. Le couplage d'une cavité externe à la diode laser (ECDL) [1] permet d'obtenir un comportement monomode longitudinal du laser. Néanmoins, les largeurs de raie laser obtenues par les dispositifs commerciaux sont limitées à quelques MHz pour des temps d'intégration de l'ordre de la dizaine de ms. Une solution pour réduire le bruit de fréquence, et par là même la largeur de raie, consiste à asservir la longueur d'onde d'émission sur une référence de fréquence. Diverses méthodes ont été développées dans le proche (NIR) et le moyen infrarouge (MIR) pour la stabilisation laser afin d'obtenir des largeurs de raie étroites et stables. La caractéristique commune de ces méthodes est l'utilisation d'une référence optique à faible bruit, qui peut prendre diverses formes [2, 3, 4] en fonction du niveau de stabilité à atteindre.

Dans ce travail, nous décrivons une configuration compacte et simple basée sur une stabilisation opto-électronique de type Pound-Drever-Hall (PDH) d'un laser ECDL à 420 nm sur un anneau de fibre.

Le montage expérimental est décrit par la figure 1a). Le laser à asservir est une diode laser ECDL d'une puissance de 40 mW émettant à 420 nm. La référence utilisée est fabriquée à partir d'un coupleur 60/40 dont deux des bras sont soudés pour former un anneau de fibre de 2 m. Ces paramètres ont été choisis pour assurer un fonctionnement dans un régime de couplage proche du couplage critique. La caractérisation de la fonction de transfert de cet anneau donne les paramètres suivants : une transmission normalisée minimale de 0.1, un intervalle spectral libre de 103 MHz et une largeur de résonance de 20 MHz correspondant à un facteur de qualité de 3×10^7 à 420 nm.

Pour caractériser les performances de notre système, un banc de mesure homodyne est développé et une mesure du bruit de fréquence du laser en fonctionnement libre est effectuée (cf. courbe rouge sur la figure 1b)). En utilisant la méthode de la bêta-ligne [5], la largeur de raie intégrée est estimée à 800 kHz pour un temps d'intégration de 10 ms. L'asservissement du laser sur la cavité en anneau est obtenu par la mise en œuvre d'une technique de contre réaction optoélectronique de type PDH [6]. La modulation en fréquence du laser est obtenue par une modulation directe du courant de pompe à 25 MHz. Le signal détecté à la sortie de l'anneau est démodulé par la détection synchrone. Ce signal d'erreur est ensuite envoyé au correcteur qui transmet un signal de correction au contrôleur de courant du laser pour induire finalement une correction de sa fréquence. Le résultat de la correction en fréquence est présenté sur la figure 1b) (courbe bleue). Le bruit de fréquence du laser asservi affiche un niveau constant entre 1 kHz et 300 kHz, qui correspond à une réduction de plus de 30 dB à 1 kHz de la porteuse du bruit de fréquence du laser en fonctionnement libre. Le niveau de bruit augmente ensuite progressivement jusqu'à rattraper le niveau de bruit du laser en fonctionnement libre à 800 kHz de la porteuse. Pour des fréquences inférieures à 1 kHz, les perturbations acoustiques de la cavité limitent la stabilité en fréquence de l'anneau dans cette gamme de fréquence.

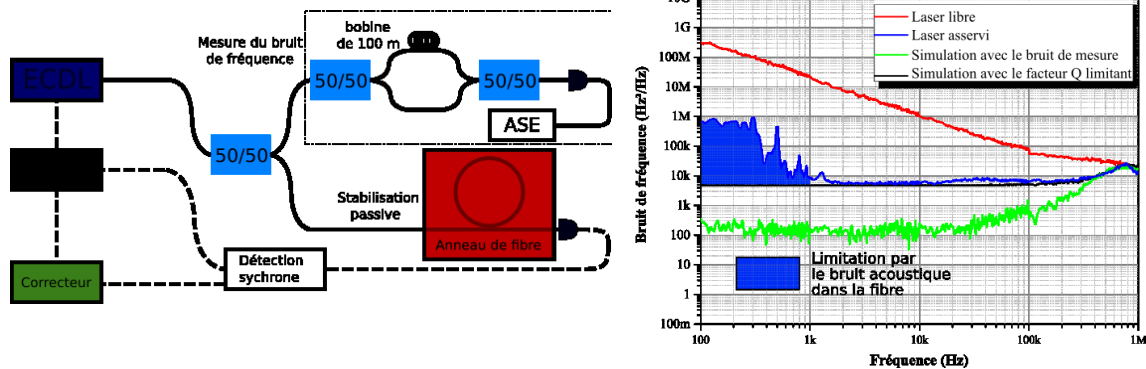


Figure 1. a) Montage expérimental pour l'asservissement d'un laser à cavité externe (ECDL). Pour réduire les perturbations acoustiques et thermiques, la cavité est placée entre deux couches de mousse à l'intérieur d'une boîte en polystyrène. b) Comparaison entre le bruit de fréquence du laser libre (courbe rouge), le laser asservi (courbe bleue), la simulation avec le bruit de mesure (courbe verte) et la simulation avec le bruit dû à la limitation du facteur de qualité (courbe noire)

Pour interpréter les performances obtenues en termes de réduction du bruit de fréquence et identifier les facteurs limitants nous avons élaboré un modèle de notre boucle d'asservissement. Les paramètres d'entrée de ce modèle sont obtenus expérimentalement. Nous démontrons que la limitation des performances est apportée par le discriminateur et notamment par le facteur de qualité de la cavité de référence (voir courbe noire, figure 1b)). En effet, les performances des composants fibrés disponibles dans cette gamme de longueurs d'onde limitent le facteur de qualité de la cavité de référence et donc du gain de transduction du bruit de fréquence en bruit d'intensité. Cette limitation technologique ne permet pas de s'affranchir du bruit de photon apporté par le détecteur ce qui réduit le rapport signal-à-bruit du signal d'erreur et par conséquent les performances de la boucle opto-électronique.

Nous avons démontré, avec une simple boucle de contre réaction, une réduction du bruit de fréquence d'un laser ECDL à 420 nm de l'ordre de 30 dB à 1 kHz de la porteuse impliquant une réduction de la largeur de raie de 800 kHz à 36 kHz pour un temps d'intégration de 10 ms. Un modèle de notre boucle d'asservissement permet de mettre en évidence une limitation des performances liée au facteur de qualité de la cavité en anneau de fibre.

Références :

- [1] A. Congar, M. Gay, G. Perin, D. Mammez, J.C. Simon, P. Besnard, J. Rouvillain, T. Georges, L. Lablonde, T. Robin, and Stéphane Trebaol, "Narrow linewidth near-UV InGaN laser diode based on external cavity fiber Bragg grating", *Opt. Lett.* 46, 1077-1080 (2021)
- [2] F. Kéfélian, H. Jiang, P. Lemonde, G. Santarelli, « Ultralow-frequency-noise stabilization of a laser by locking to an optical fiber-delay line », *Opt. Lett.* 34, p.914-916 (2009)
- [3] S. Stellmer, B. Pasquiou, R. Grimm, and F. Schreck, "Laser cooling to quantum degeneracy", *Phys. Rev. Lett.* 110 (2013).
- [4] P. Grüning, A. Chaouche-Ramdane, K. Manamanni, T. Aoudjit, V. Roncin, F. du Burck, "All-fiber ring-cavity for frequency stability transfer at 155 μm ", *Applied Optics.* 58, p.1502 (2019)
- [5] G.D. Domenico, S. Schilt, P. Thomann, "Simple approach to the relation between laser frequency noise and laser line shape", *Appl. Opt.* 49, p.4801-4807 (2010)
- [6] R.W.P Drever, J.L. Hall, F. Kowalski, J. Hough, G.M. Ford, A.J. Munley, H. Ward, "Laser Phase and Frequency Stabilization Using an Optical Resonator", *Appl. Phys. B.* 31, p.97-105 (1983)