



HAL
open science

Étude du Bruit Relatif d'un Laser Multifréquence

Julien Poette, Stéphane Blin, Laurent Bramerie, Jean-Claude Simon, Pascal Besnard, Isabelle Castonguay, Radan Slavik, Sophie Larochelle

► **To cite this version:**

Julien Poette, Stéphane Blin, Laurent Bramerie, Jean-Claude Simon, Pascal Besnard, et al.. Étude du Bruit Relatif d'un Laser Multifréquence. 22^e Journées Nationales d'Optique Guidée (JNOG 2003), Nov 2003, Valence, France. hal-02015793

HAL Id: hal-02015793

<https://hal.science/hal-02015793v1>

Submitted on 12 Feb 2019

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.

ÉTUDE DU BRUIT RELATIF D'INTENSITÉ D'UN LASER MULTIFRÉQUENCE

Julien POËTTE, Stéphane BLIN, Laurent BRAMERIE, Jean-Claude SIMON, Pascal BESNARD
École Nationale Supérieure de Sciences Appliquées et de Technologie
Laboratoire d'optronique (CNRS UMR 6082) ~ Groupement d'intérêt scientifique " FOTON "
6, rue Kerampont, BP 447, 22305 Lannion Cedex, France
pascal.besnard@enssat.fr

Isabelle CASTONGUAY, Radan SLAVIK, Sophie LAROCHELLE
Centre d'Optique Photonique et Laser ~ Département de génie électrique et de génie informatique
Université Laval, G1K 7P4, Sainte-Foy (Québec), Canada

RÉSUMÉ

La mesure du bruit relatif d'intensité d'un laser à fibre à contre-réaction répartie est présentée, et comparée à celle d'un laser à fibre multifréquence fabriqué sur une fibre identique, fibre photosensible codopée erbium-ytterbium pompée à 980 nm. La structure du laser multifréquence obtenu par photo-inscription de réseaux à pas variable spatialement décalés est détaillée, puis nous montrons que le bruit relatif en intensité est plus faible pour l'ensemble des lignes lasers que pour une seule ligne filtrée, mais plus grand que celui du laser à contre-réaction répartie. Enfin, nous observons une fréquence de relaxation par ligne laser du laser multifréquence.

MOTS CLÉS :

Bruit relatif d'intensité, laser à fibre, contre-réaction répartie, multifréquence.

1. INTRODUCTION

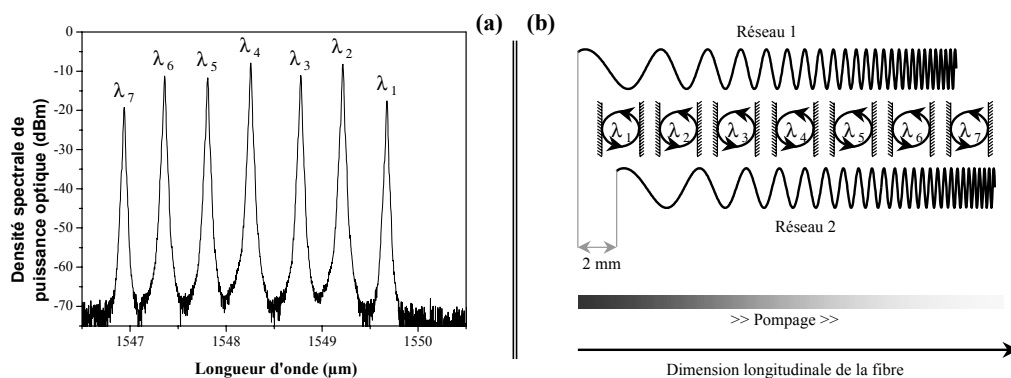
Les lasers à fibre monomodes sont attractifs par leur finesse spectrale (quelques kilohertz), leur accordabilité (plusieurs dizaines de nanomètres), leur simplicité de fabrication et leur compatibilité avec des systèmes à fibre. Les applications sont la métrologie, les capteurs, la spectroscopie et le multiplexage fréquentiel pour les télécommunications optiques. Cependant, l'utilisation de ces lasers dans le cadre d'un multiplexage en fréquence nécessite autant de sources que de canaux. Le laser multifréquence que nous présentons ici est tel que chacun de ses modes porte les mêmes caractéristiques qu'un laser monomode, mais il est à lui seul source de tous les canaux. Afin de quantifier la qualité de ce laser comme source pour un système de télécommunications, nous en étudions le bruit relatif d'intensité, défini comme le rapport de la moyenne des carrés des variations de puissance optique sur le carré de la puissance optique moyenne, et ce à différentes fréquences. Nous commencerons par présenter les caractéristiques du laser multifréquence avant d'en étudier le bruit, le tout en comparaison avec un laser monofréquence.

2. PRÉSENTATION DES LASERS À FIBRE

Le premier laser qui sera caractérisé en bruit est un laser à fibre à contre-réaction répartie fabriqué à l'Université Laval. Il est constitué d'un réseau de Bragg photo-inscrit dans une fibre photosensible copodée erbium-ytterbium pompée à 980 nm, fibre fabriquée à l'Institut National d'Optique (Québec, Canada). Le réseau de Bragg de longueur 28 mm comporte un saut de phase de $\pi/2$ rad afin d'assurer un fonctionnement monomode longitudinal, le saut de phase excentré est situé à 21 mm dans la cavité afin de privilégier la puissance de sortie d'un côté du laser. Le laser étudié a un seuil de 81 mW, une efficacité de 1,6 % et une puissance de 0,3 mW à 1542,97 nm pour 100 mW de pompe. Le second laser est un laser à fibre à contre-réaction répartie [1] commercial de Southampton Photonics. La structure générale du laser est la même que le premier, mais la fibre [1] provient de Southampton Photonics. Le laser étudié a un seuil de 30 mW, une efficacité de 12 % et une puissance de 8,5 mW à 1564,75 nm pour 100 mW de pompe. Le troisième laser est un laser multifréquence [2] du Centre d'Optique Photonique et Laser, comportant 7 lignes lasers séparées de 50 GHz avec une platitude en puissance de 11,3 dB comme le montre la figure 1 (a). Ce laser est fabriqué par photo-inscription de réseaux de Bragg à pas variable sur la même fibre [1] que celui de Southampton Photonics. Les réseaux à pas variable sont identiques : ils sont superposés mais décalés d'une longueur de 2 mm tel que le montre la figure 1 (b). Les réseaux ont une longueur de 55 mm et sont inscrits par utilisation d'un masque de phase à pas variable de 0,745 nm/cm. Le décalage spatial permet d'imposer une différence de fréquence de 50 GHz entre les lignes lasers. Les réseaux à pas variable constituent des miroirs sélectifs en longueur d'onde dont la longueur d'onde centrale dépend de la période donc de la position le long du réseau. Comme le montre la figure 1 (b), il existe ainsi un ensemble de cavités le long du réseau, à des longueurs d'ondes différentes. Comme ces cavités sont réparties dans l'espace, le laser peut avoir un comportement multifréquence à température ambiante même dans le milieu de gain homogène qu'est l'erbium. Nous comprendrons aisément que le nombre de lignes lasers est directement fonction

du taux de pompage compte tenu de la non-uniformité de la pompe le long du réseau, due à la forte absorption de la fibre à cette longueur d'onde. Ainsi, les lignes lasers côté pompe voient leur effet laser apparaître pour une puissance pompe plus faible en entrée que les lignes lasers les plus éloignées donc les moins pompées. Une solution simple serait de pomper le composant des deux côtés. Une autre plus intéressante serait de trouver un profil pour les réseaux qui compense cet effet et qui permette aussi de mieux égaliser la puissance des différentes lignes lasers.

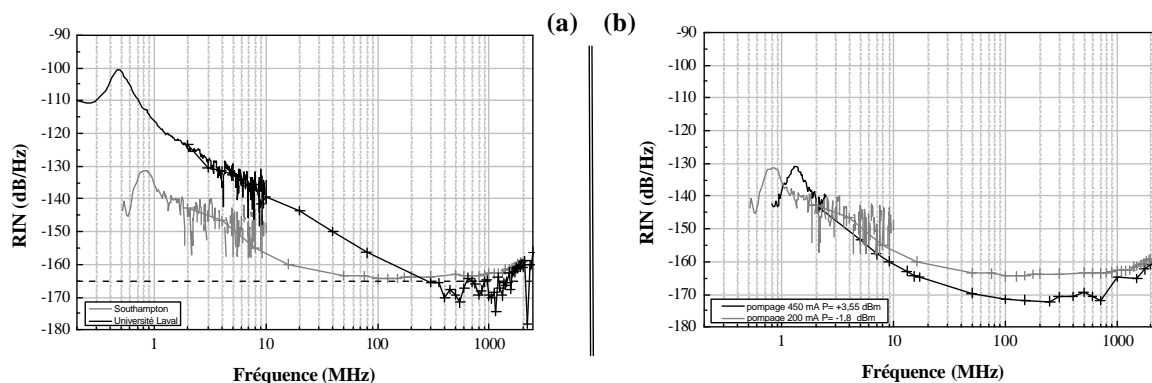
Spectre optique (a) et



principe (b) du laser à fibre multifréquence.

3. MESURES DE BRUIT RELATIF EN INTENSITÉ DES LASERS

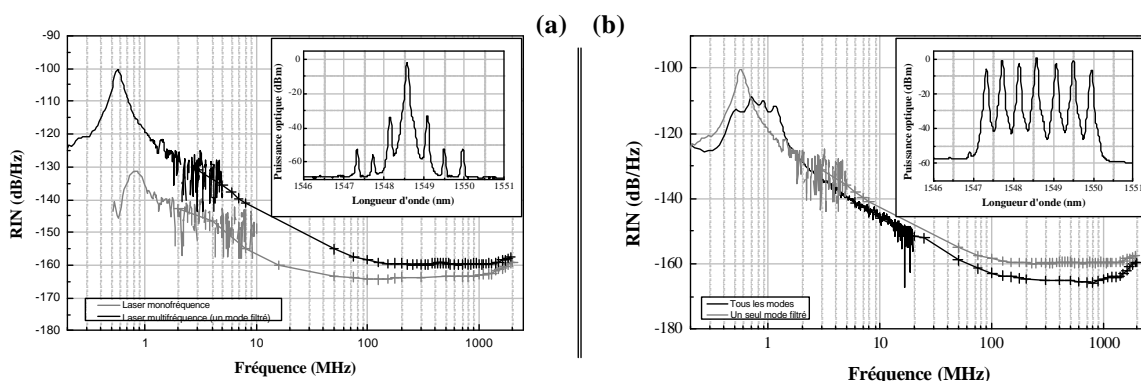
Il existe différents types de bruit dans un laser tels que les bruits d'amplitude ou de phase. Nous nous intéressons ici uniquement au bruit en intensité, communément appelé par son acronyme anglais RIN (Relative Intensity Noise). La mesure de ce dernier n'est pas immédiate car différentes contributions viennent s'ajouter au bruit propre du laser, principalement le bruit thermique et le bruit de grenaille. Le principe de mesure utilisé dans notre laboratoire s'apparente aux mesures effectuées par Cox et al. [3] en 1998. Actuellement, notre mesure de bruit relatif en intensité est matériellement limitée en fréquences sur la plage de 100 kHz à 2 GHz, à comparer à la plage de Cox allant de 100 kHz à 20 GHz. Les mesures de 0 à 100 kHz ne sont possibles du fait du bruit basses fréquences dit en $1/f$. Notre technique expérimentale permet de mesurer des niveaux de bruit beaucoup plus faibles, car notre sensibilité est de -185 dBm/Hz à comparer aux -171 dBm/Hz de Cox (nous pouvons mesurer un bruit de -170 dB/Hz pour 1 mW).



Mesures des bruits d'intensité des lasers monofréquences. Les lignes continues bruitées de gauche sont déduites de l'analyseur de spectre électrique, les lignes continues marquées de croix sont les mesures utilisant la technique de mesure évoquée. La ligne pointillée du graphe (a) est le plancher de mesure de -165 dB/Hz .

Les premières mesures de bruit en intensité des lasers présentées figure 2 (a) correspondent aux lasers monofréquences pour une même puissance de sortie. La courbe compare le bruit relatif d'intensité des deux lasers de même structures mais de fibres différentes. Considérons le laser de l'Université Laval. Nous remarquons un maximum du bruit à 500 kHz de -101 dB/Hz caractéristique des fréquences de relaxation du laser à fibre, puis le bruit chute jusqu'à des niveaux de bruit inférieurs au plancher de mesure de -165 dB/Hz . Nous pouvons enfin remarquer grâce à la sensibilité de notre mesure une remontée du bruit au delà de 1 GHz. Nous remarquons le même type d'allure pour le laser de Southampton, mais les fréquences de relaxation sont situées à 850 kHz et correspondent à un maximum de bruit de -132 dB/Hz . Nous remarquons enfin que le bruit relatif d'intensité du laser commercial est globalement plus faible que notre laser autour des fréquences de relaxation, mais plus forte pour des fréquences de l'ordre du gigahertz. Les fréquences de relaxation des deux lasers sont différentes car la relaxation dépend à la fois de la fibre et de la structure de la cavité : elles dépendent des temps de vie des niveaux énergétiques de l'erbium, donc des

constituants de la fibre, mais aussi du temps de vie des photons dans la cavité et du taux de pompage comme le montre la figure 2 (b).



Mesures

comparées des bruits d'intensité des lasers monofréquence et multifréquence. Les lignes continues bruitées de gauche sont déduites des mesures à l'analyseur de spectre électrique, les lignes continues marquées de croix sont les mesures utilisant la technique de mesure évoquée.

La figure 3 compare les bruits relatifs d'intensité des lasers monofréquence et multifréquence fabriqués sur une fibre identique. Le graphe (a) correspond à la comparaison des bruits d'intensité du laser monomode et d'une seule ligne laser du laser multifréquence, ligne filtrée par un filtre optique de largeur 0,2 nm. Le spectre optique de cette ligne filtrée est présenté dans l'encart du graphe (a). Les lasers ont été pompés par la même source et de telle sorte que la puissance de sortie du laser monomode soit la même que celle de la raie filtrée du laser multifréquence, soit une puissance de -1,8 dBm. Nous remarquons qu'en isolant avec un facteur d'au moins 30 dB une des lignes lasers du multifréquence, nous obtenons un bruit d'intensité plus grand que le laser monofréquence, avec un facteur de 30,4 dB autour des fréquences de relaxation et un facteur d'au moins 4 dB pour les planchers de bruit. Le graphe (b) correspond au bruit en intensité du laser multifréquence seulement et compare l'ensemble des lignes lasers, à la ligne laser filtrée précédente. Nous présentons le spectre optique du laser multifréquence tel qu'il a été analysé dans l'encart du graphe (b). Nous remarquons tout d'abord que le bruit avec toutes les fréquences est moins important que celui d'une seule fréquence : les bruits peuvent se compenser et ne s'ajoutent donc pas forcément comme il a été déjà montré pour les lasers à cavité verticale [4]. Le plancher avec toutes les fréquences atteint quasiment les -165 dB/Hz à comparer aux -160 dB/Hz d'une seule ligne laser. Un autre point intéressant est la structure à plusieurs pics du bruit d'ensemble : chaque ligne laser a sa propre fréquence de relaxation caractéristique du fait que chaque ligne laser a à la fois une structure de cavité et un pompage différents des lignes voisines. Nous n'en dénombrons pas sept ici car certaines d'entre-elles se superposent, mais des mesures effectuées par filtrage de chaque ligne laser nous a permis de le vérifier.

4. CONCLUSION

Nous avons montré que le laser multifréquence a un bruit relatif d'amplitude de l'ensemble des lignes lasers d'environ 5 dB sous celui d'une seule ligne, et d'environ 5 dB au dessus d'un laser monofréquence. Nous avons pu remarquer que chaque ligne laser du laser multifréquence avait sa fréquence propre de relaxation. Avec un maximum du bruit de -110 dB/Hz, le laser multifréquence peut être considéré comme source dans le cadre d'un multiplexage en fréquence.

RÉFÉRENCES

[1] L. Dong, W. H. Loh, J. E. Caplen, J. D. Minelly, " Efficient single-frequency fiber lasers with novel photosensitive Er/Yb optical fiber ", *Optics Letters*, vol. 22, n°10, pp 694-696, May 1997.
 [2] I. Castonguay, R. Slavik, S. LaRochelle, S. Doucet, " Multiwavelength miniature distributed Fabry-Perot fiber laser ", accepté à European Conference on Optical Communication (ECOC 2003), Rimini, Italie, 2003.
 [3] M. C. Cox, N. J. Copner, B. Williams, " High sensitivity precision relative intensity noise calibration standard using low noise reference laser source ", in *IEE Proc.-Sci. Meas. Technol.*, vol. 145, n°4, July 1998.
 [4] N. Boiko, E. Le Cren, G. M. Stéphan, P. Besnard, " Spectrum of vertical-cavity surface-emitting lasers : linewidth properties and non-degeneracy of relaxation oscillation frequencies ", *J. Opt. B : Quantum and Semiclass. Opt.*, Special Issue, vol. 3, n°2, pp. S166-S172, April 2001.