PREMIERS RÉSULTATS SUR LA RÉDUCTION DE LA LARGEUR DE RAIE DES MODES DE LASERS AUTO-IMPULSIONNELS À BASE DE SEMI-CONDUCTEURS À $1,55\ \mu m$

Amine Chaouche Ramdane[1], Vincent Roncin[1], Fabrice Senotier[2], Alexandre Shen[3] et Fréderic Du Burck [1]

[1] *Laboratoire de Physique des Lasers, UMR CNRS 7538, Université Paris 13, Sorbonne-Paris-Cité, 99 av. J.B. Clément, 93430 VILLETANEUSE CEDEX, France*
[2] *Laserslabs, 43 rue Van Loo, 91150 ETAMPES*
[3] *III-V Lab, Route de Nozay, 91461 MARCOUSSIS CEDEX*

vincent.roncin@univ-paris13.fr

RÉSUMÉ

Nous présentons des premiers résultats sur la réduction de la largeur de raie des modes de lasers à semiconducteurs auto-pulsants. Deux voies ont été étudiées : la réduction du bruit des sources de courant alimentant le laser, et l'injection optique avec un laser monofréquence de plus faible largeur. La largeur des modes est ainsi réduite d'un facteur 200, passant de quelques gigahertz à 10 MHz.

MOTS-CLEFS : *lasers à semiconducteurs ; lasers auto-impulsionnels ; métrologie des fréquences.*

1. INTRODUCTION

Les sources auto-impulsionnelles à semiconducteurs que nous étudions, lorsqu'elles sont alimentées avec un courant continu, peuvent générer des impulsions courtes (picoseconde) avec une fréquence de répétition supérieure au gigahertz et une jigue temporelle particulièrement faible. Elles ont initialement été dévelopées par III-V Lab pour des applications de récupération d'horloge optique dans les systèmes de télécommunications optiques à très haut débit [1]. Ces sources compactes et robustes pourraient être utilisées pour la métrologie des peignes de fréquences, ainsi que pour diverses applications industrielles (spatiale, défence, télécommunications, etc...). Dans cette étude préliminaire, nous explorons pour la première fois à notre connaissance, la réduction de la largeur de raie des modes de ces sources en réduisant le bruit de la source d'alimentation en courant. La sensibilité au bruit de courant dans les lasers à semiconducteurs est bien connue [2] mais varie considérablement suivant les structures. Dans un premier temps, nous présentons une première réduction de la largeur des modes de quelques gigahertz à 150 MHz avec une source de courant bas-bruit. Ensuite, nous présentons des premiers résultats d'injection optique par un laser maître monofréquence de quelques mégahertz de largeur, qui a permis de réduire la largeur de raie des modes jusqu'à 10 MHz.

2. CARACTÉRISATION DU BRUIT DES SOURCES DE COURANTS

Les spectres de densité de bruit de courant des deux sources de courant utilisées pour l'alimentation du laser auto-impulsionnel sont en figure 1. La première est une source de courant commerciale standard sans aucune optimisation sur la réduction du bruit ("source commerciale"). La seconde est une source réalisée par la société LaserLabs dont le bruit a été optimisé ("source bas-bruit"). Afin de caractériser les niveaux de bruit, nous avons utilisé un circuit de préamplification permettant de filtrer la composante continue du courant de la source et d'amplifier les fluctuations avec un gain de 230. Les mesures sont exploitables de 10 Hz (fréquence de coupure du filtre passe bas) jusqu'à 40 kHz (fréquence de coupure de l'amplificateur). On observe que jusqu'à 1 KHz, le bruit de la source bas-bruit possède un niveau de bruit de 3 décades en dessous de celui de la source commerciale.

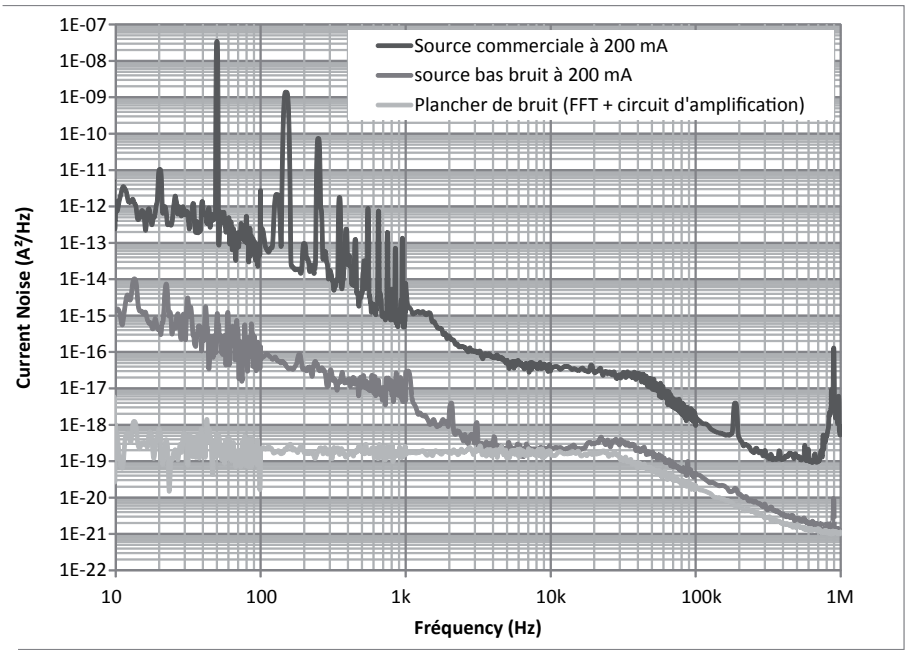

FIGURE 1 : Densité spectrale de bruit de courant des sources à 200 mA.

3. IMPACT DU BRUIT DE COURANT SUR LA LARGEUR DE RAIE DES MODES

Le laser auto-impulsionnel de type DBR présente une dizaine de modes longitudinaux dans une bande de 3.5 nm environ [3]. Les modes sont distants d'un ISL de 40 GHz. Le laser est polarisé avec les deux sources de courant. La figure 2-A présente les spectres de battement d'un des modes du laser auto-impulsionnel avec un laser de référence autour de 1550 nm, stabilisé, et de largeur 10 KHz. Le mode caractérisé correspondant au mode le plus proche du laser de référence. Le battement est filtré optiquement dans 1 nm (3 modes transmis) puis détecté par une photodiode de bande passante 15 GHz, suivie d'un amplificateur RF de bande 3-10 GHz. Ce dernier limite la bande d'analyse du battement. Nous observons que la largeur du mode, pour la source commerciale est supérieure à 2 GHz. Cette largeur importante des modes est caractéristique des lasers auto-impulsionnels, dont la dynamique de recombinaison des porteurs produisant une modulation importante du spectre, est à l'origine du mécanisme d'auto-pulsation [4]. L'utilisation de la source de courant bas-bruit conduit à une réduction de la largeur du mode jusqu'à 150 MHz à 3 dB du maximum (soit environ 300 MHz à 10 dB). Ce résultat permet d'envisager la seconde étape de réduction de la largeur des modes par injection optique [5], présentée dans la section suivante. A titre de comparaison, nous avons effectué les mêmes mesures pour un laser DFB standard. Dans ce cas, la largeur passe de 6 MHz à 3 dB pour la source de bruit commerciale, à 1.8 MHz pour la source bas-bruit. Ces mesures mettent en évidence la grande sensibilité des lasers auto-impulsionnels au bruit de courant d'alimentation.

4. RÉDUCTION DE LA LARGEUR DE RAIE DES MODES PAR INJECTION OPTIQUE

Nous avons testé la possibilité de réduction de la raie d'un mode du laser auto-impulsionnel par injection optique avec un laser monofréquence de type DFB commercial ayant une largeur de raie de 2 MHz environ et des fluctuations de la fréquence inférieure à 10 MHz sur quelques minutes. Dans le cas d'une alimentation du laser auto-impulsionnel par la source de courant commerciale, l'injection n'a pas conduit à un affinement détectable de la raie du mode. En revanche, l'alimentation par la source de courant bas bruit, a conduit à une reduction de la largeur de raie du mode jusqu'à environ 10 MHz, largeur de l'ordre de grandeur de celle du laser d'injection (figure 2-B).

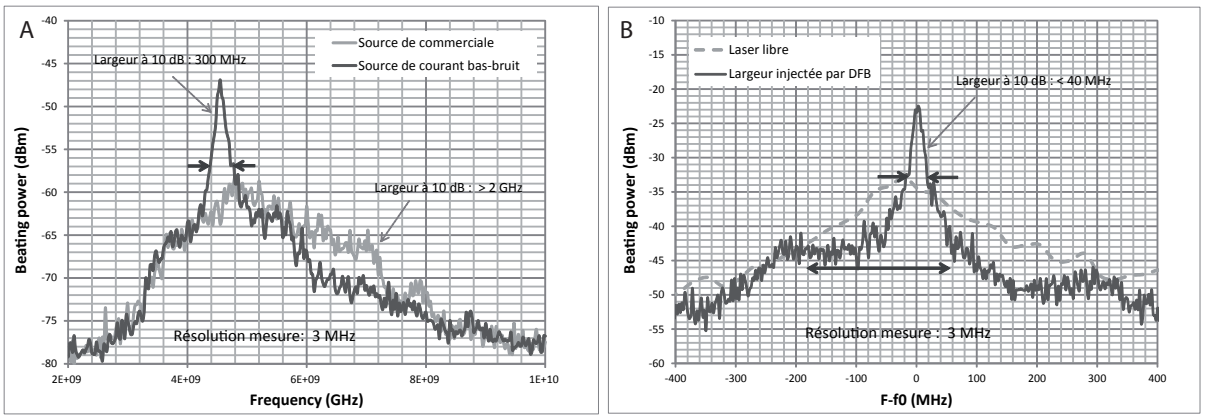

FIGURE 2 : Spectre de battement d'un mode filtré du laser auto-impulsionnel avec un laser stabilisé. Impact de la largeur de la raie laser en fonction de la source de courant utilisée (A). Spectre de battement d'un mode du laser DBR injecté par un DFB de largeur de raie inférieure 2 MHz (B).

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Nous avons montré une réduction importante de la largeur de raie des modes d'un laser auto-impulsionnel grâce à la réduction du bruit sur la source de courant et à l'injection optique par un laser maître plus fin spectralement. Nous avons ainsi réduit la largeur d'un facteur 200, de 2 GHz à 10 MHz. Dans la suite de l'étude, nous envisageons la caractérisation de lasers du type Fabry-Pérot à îlots quantiques, présentant un spectre plus large (10 nm) et des caractéristiques en bruit plus favorables (largeur de raie des modes, gigue temporelle des impulsions).

BIBLIOGRAPHIE

[1] V. Roncin *et al.*, "Multi-data-rate system performance of a 40-ghz all-optical clock recovery based on a quantum-dot fabry–pérot laser," *Photonics Technology Letters, IEEE*, vol. 19, no. 19, pp. 1409–1411, 2007.

[2] G. P. Agrawal and R. Roy, "Effect of injection-current fluctuations on the spectral linewidth of semiconductor lasers," *Physical Review A*, vol. 37, no. 7, p. 2495, 1988.

[3] J. Renaudier *et al.*, "Phase correlation and linewidth reduction of 40 ghz self-pulsation in distributed bragg reflector semiconductor lasers," *Quantum Electronics, IEEE Journal of*, vol. 43, no. 2, pp. 147–156, 2007.

[4] G. P. Agrawal and N. K. Dutta, *Infrared and Visible Semiconductor Lasers*. Springer, 1993. Paragraph 6.5.3.

[5] S. Blin *et al.*, "Phase and spectral properties of optically injected semiconductor lasers," *Comptes Rendus Physique*, vol. 4, no. 6, pp. 687–699, 2003.