

# Mesure de la largeur spectrale d'un laser cohérent par injection optique

**S. BLIN\*, O. VAUDEL\*, G. STÉPHAN\*, P. BESNARD\*, T.T. TAM\*\* et S. LAROCHELLE\*\*\*.**

\* Laboratoire d'optique de l'ENSSAT, GIS FOTON, CNRS UMR 6082,  
6, rue Kerampont, BP 447, 22305 Lannion Cedex, FRANCE.  
[pascal.besnard@enssat.fr](mailto:pascal.besnard@enssat.fr)

\*\* Faculty of Technology, Vietnam National University of Hanoi, Cau Giay, Hanoi, VIETNAM.

\*\*\* COPL, Université Laval, Sainte-Foy, G1K 7P4, Québec, CANADA.

Commissions des auteurs : A, D.

## Résumé

Nous proposons une nouvelle méthode pour la mesure de faibles largeurs spectrales pour des lasers métrologiques. La mesure est comparative et repose sur l'injection optique d'un laser à semi-conducteurs. Nous présentons la mesure expérimentale en bande C d'un laser de pleine largeur spectrale à mi-hauteur 50 kHz en comparaison à une référence de largeur 125 kHz. Un modèle théorique reposant sur la fonction d'Airy généralisée est aussi présenté. Ce modèle tient compte des outils d'analyse expérimentaux utilisés.

**Mots clés :** injection optique, cohérence, lasers, métrologie.

## Introduction

Des domaines tels la métrologie ou la spectroscopie utilisent des sources lasers très cohérentes dont les pleines largeurs spectrales à mi-hauteur (FWHM pour full width half maximum) peuvent être inférieures au kHz. Deux méthodes existent pour mesurer de telles largeurs spectrales, à savoir une mesure auto-hétérodyne [1] et une mesure déduite de la densité spectrale de bruit de phase du laser. Puisque ces mesures ne sont pas toujours très précises, nous proposons une méthode alternative qui repose sur une expérience d'injection optique.

## 1. Résultats expérimentaux

L'injection optique consiste en l'injection de la puissance d'un premier laser dit *maître*, dans un second dénommé *esclave*. Le laser esclave est un laser à semi-conducteurs (InGaAsP) massif à double hétérojonction et ruban enterré, et à contre-réaction répartie, qui est polarisé au dessus du seuil. Nous avons pu montrer [2] [3] que le laser esclave faiblement injecté (puissance injectée inférieure au  $\mu\text{W}$ ) agit comme un amplificateur pour le signal injecté, ce qui reste la seule démonstration expérimentale de l'utilisation d'un laser polarisé au dessus du seuil comme amplificateur (les études similaires effectuées utilisent un laser polarisé sous le seuil, ou encore un MOPA polarisé au-dessus du seuil). La figure 1-a présente un spectre optique du laser esclave injecté : le piédestal correspond au spectre de l'esclave libre, le pic étroit qui le surmonte est le maître amplifié. Nous avons pu montrer [2] que le laser esclave faiblement injecté acquiert progressivement les caractéristiques spectrales du laser maître (fréquence et largeur spectrale) lorsque nous augmentons la puissance injectée : la puissance esclave (constante puisque la puissance injectée est environ 1000 fois moindre) se répartit progressivement dans la bande spectrale maître, impliquant l'augmentation du maximum du spectre esclave injecté jusqu'à ce que toute la puissance esclave soit concentrée dans la bande spectrale maître comme le montre la figure 1-b. Nous y observons un régime d'amplification linéaire, puis un régime de saturation (accrochage total). Nous remarquons aussi que l'injection est plus efficace pour un laser maître plus cohérent : les deux courbes sont décalées, en terme de puissance injectée, de 3,4 dB (2,2 en linéaire), ce qui est en accord avec le rapport de cohérence (2,5) entre les sources maîtres essayées. Nous pouvons donc déterminer la largeur spectrale d'un laser en comparaison à une source maître de largeur connue.

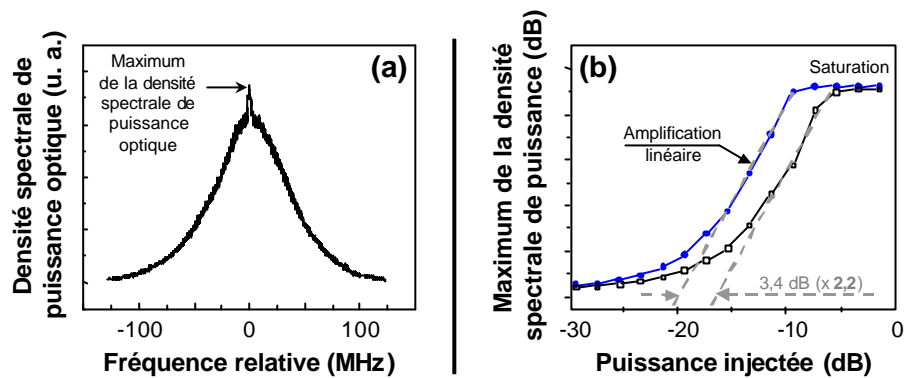


Fig. 1. Faible injection cohérente. (a) Spectre optique du laser esclave injecté. (b) Influence de la cohérence maître sur le maximum de la composante maître du spectre esclave injecté. Les points correspondent à un laser maître de largeur spectrale (FWHM) 50 kHz, les carrés à un laser de largeur spectrale (FWHM) 125 kHz. Le rapport des cohérences est donc de 2,5.

## 2. Modèle théorique

Nous utilisons un modèle théorique précédemment développé [4] pour l'étude de l'injection optique d'un laser Fabry-Perot à semi-conducteurs. La figure 2-a montre l'évolution des maxima du spectre optique du laser esclave injecté avec la puissance injectée, pour différentes cohérences du laser maître. L'allure de ces courbes diffère de la courbe expérimentale présentée sur la figure 1-b par des niveaux de saturation différents. Cette différence provient de l'analyseur Fabry-Perot utilisé expérimentalement, ce que nous pouvons vérifier théoriquement en incluant son effet de filtrage tel que présenté sur la figure 2b. Nous vérifions sur cette figure que le décalage entre les différentes courbes (3,9 et 15,7) est en bon accord avec les rapports des cohérences des différents lasers maîtres utilisés (4 et 14).

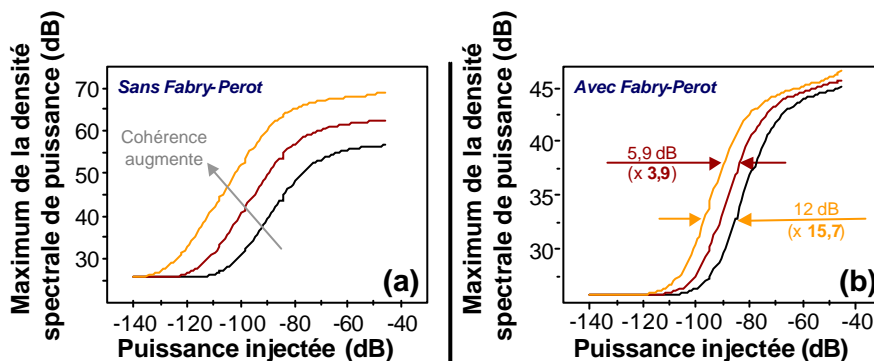


Fig. 2. Influence théorique de la cohérence maître sur le maximum du spectre esclave injecté, sans (a) ou avec (b) l'effet de filtrage de l'analyseur Fabry-Perot. La courbe de gauche correspond à une largeur spectrale (FWHM) normalisée de 1, celle du milieu à 4, celle de droite à 14.

## Conclusion

Nous avons présenté une méthode originale pour la mesure de largeurs spectrales, dont la faisabilité a été démontrée expérimentalement et théoriquement. Les performances de détection de très faibles puissances optiques par injection optique [5] devrait nous permettre de mesurer des largeurs spectrales aussi fines que le Hz avec une référence de 100 kHz.

## Références bibliographiques

- [1] T. Okoshi, K. Kikuchi and A. Nakayama, "Novel method for high resolution measurement of laser output spectrum," Electron. Lett. **16**, 630-631 (1980).
- [2] S. Blin, G. M. Stéphan, R. Gabet and P. Besnard, "Amplification process in a laser injected by a narrow-band weak signal," Europhys. Lett. **52**, 60-65 (2000).
- [3] S. Blin, C. Guignard, P. Besnard, R. Gabet, G. M. Stéphan and M. Bondiou, "Phase and spectral properties of optically injected semiconductor lasers", C. R. Physique **4**, 687-699 (2003).
- [4] G. M. Stéphan, "Spectral properties of an injected laser," Phys. Rev. A **58**, 2467-2471 (1998).
- [5] R. Gabet, G. M. Stéphan, M. Bondiou, P. Besnard and D. Kilper, "Ultrahigh sensitivity detector for coherent light: the laser," Opt. Comm. **185**, 109-114 (2000).