



## Propriété en modulation de laser Fabry-Perot verrouillé en longueur d'onde par injection optique

Quoc Thai Nguyen, Pascal Besnard, Olivier Vaudel, Alexandre Shen,  
Guang-Hua Duan

### ► To cite this version:

Quoc Thai Nguyen, Pascal Besnard, Olivier Vaudel, Alexandre Shen, Guang-Hua Duan. Propriété en modulation de laser Fabry-Perot verrouillé en longueur d'onde par injection optique. 28èmes Journées Nationales d'Optique Guidée (JNOG 2009), Jul 2009, Lille, France. SFO, pp.183-185, 2009, <http://optiquelille2009.univ-lille1.fr/>. <hal-00497255>

**HAL Id: hal-00497255**

**<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00497255>**

Submitted on 2 Jul 2010

**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.

# PROPRIETE EN MODULATION DE LASER FABRY-PEROT VERROUILLE EN LONGUEUR D'ONDE PAR INJECTION OPTIQUE

Q. T. Nguyen<sup>1</sup>, P. Besnard<sup>1</sup>, O. Vaudel<sup>1</sup>, A. Shen<sup>2</sup> et G.-H. Duan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire Foton, CNRS UMR 6082, Enssat, 6 rue de Kerampont, 22305 Lannion, France

<sup>2</sup> Alcatel-Thales III-V Lab, Route Départementale 128, 91767 Palaiseau, France

quochai.nguyen@enssat.fr

## RESUME

Un laser Fabry-Perot fonctionnant en régime monomode grâce au verrouillage en longueur d'onde par injection optique est caractérisé sous modulation directe. Nous démontrons expérimentalement la dépendance de la réponse en régime petit signal et du facteur de couplage phase-amplitude en fonction de la puissance optique injectée.

**MOTS-CLEFS :** *laser à semiconducteur ; verrouillage en longueur d'onde par injection optique ; modulation ; couplage phase-amplitude / chirp.*

## 1. INTRODUCTION

Le verrouillage par injection optique est un phénomène classique et bien connu dans le domaine de lasers à semi-conducteur [1]. Ce phénomène est basé sur le fait que le laser est verrouillé en fréquence et en phase à un signal optique externe. Pour un laser Fabry-Perot (FP), le fonctionnement multimode devient monomode s'il est verrouillé par un signal optique monofréquence. Dans le cadre du projet ANR ANTARES, cette caractéristique est particulièrement intéressante pour le réseau d'accès optique multiplexé en longueur d'onde, où on utilise comme émetteur achromatique [2], un laser Fabry-Perot verrouillé en longueur d'onde par injection optique (IL-FP pour Injection-Locked Fabry-Perot). Un composant achromatique peut fonctionner à différentes longueurs d'onde, fixées par exemple par injection optique d'un signal externe. Leur intérêt est de fournir un composant identique pour tout abonné.

Dans ce papier, nous présentons une caractérisation expérimentale en modulation directe de l'IL-FP. Le principe de l'injection optique est tout d'abord brièvement présenté. Nous évaluons ensuite les caractéristiques en termes de réponse électro-optique et de bruit d'intensité de l'IL-FP en fonction de la puissance optique injectée. Enfin, les résultats de caractérisation du facteur de couplage phase-amplitude (paramètre  $\alpha_H$ ) ainsi que de la gigue fréquentielle (chirp) de l'IL-FP sont également présentés.

## 2. LASER FABRY-PEROT VERROUILLE EN LONGUEUR D'ONDE PAR INJECTION OPTIQUE

La fig. 1a représente le montage expérimental d'un IL-FP. Un laser monomode accordable est utilisé comme source externe pour l'injection. Un puissance-mètre et un lambda-mètre permettent de déterminer le point d'injection, qui est défini par la puissance optique injectée et le désaccord. Le désaccord est la différence entre la longueur d'onde (ou la fréquence) du signal injecté et celle du mode à injecter du laser FP. Un atténuateur variable sert à contrôler la puissance optique injectée. La fig. 1b compare le spectre optique de l'IL-FP sans injection et celui correspondant à 0 dBm de puissance injectée. Le taux de suppression des modes latéraux (SMSR) de l'IL-FP est bien supérieur à 30 dB quand il est soumis à l'injection. Dans la fig. 1c, une cartographie en fonction de la puissance injectée et du désaccord donne la zone de verrouillage permettant un SMSR supérieur à 30 dB. Nous observons que le verrouillage commence à partir de -15 dBm de puissance injectée et que la plage spectrale d'accord s'élargit quand la puissance injectée augmente. Lorsque la puissance injectée dépasse -5 dBm, le laser est complètement verrouillé quelle que soit la longueur d'onde du signal injecté.

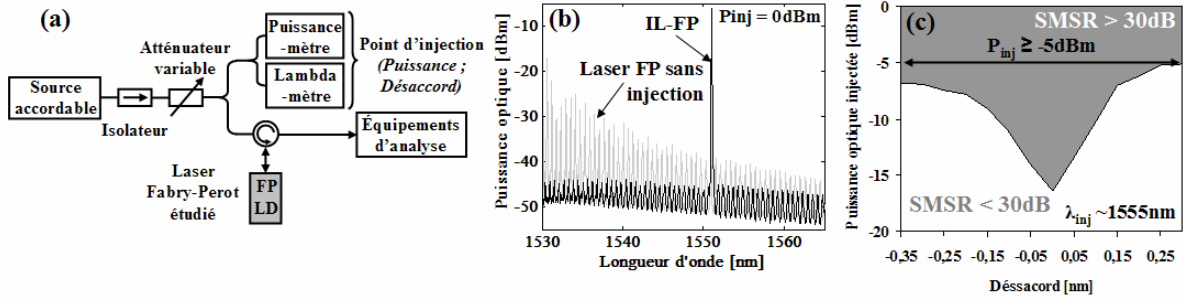


Fig. 1 : Schéma expérimental de l'injection optique (a), spectre optique du laser avec et sans injection (b), cartographie de verrouillage d'un mode donnant un SMSR supérieur à 30 dB (c)

### 3. REPONSE ELECTRO-OPTIQUE DU LASER FABRY-PEROT VERROUILLE

La fig. 2a donne la réponse électro-optique normalisée en régime petit signal (réponse O/E) du laser FP sans injection et pour différentes puissances optiques injectées. Le laser seul présente une bande-passante d'environ 5 GHz. Sous injection, la réponse O/E de l'IL-FP décroît avec la fréquence. Ces tendances s'affirment lorsque la puissance optique injectée augmente. Cette baisse de la réponse O/E est due au pôle de premier ordre dans la fonction de transfert de l'IL-FP [3]. L'apparition de ce pôle peut être expliquée par les effets de transport de porteurs [3] ainsi que par des éléments parasites liés à la capacité résiduelle de la structure du laser [4]. Ces caractéristiques à l'injection optique ont aussi été démontrées pour un laser VCSEL monomode [3].

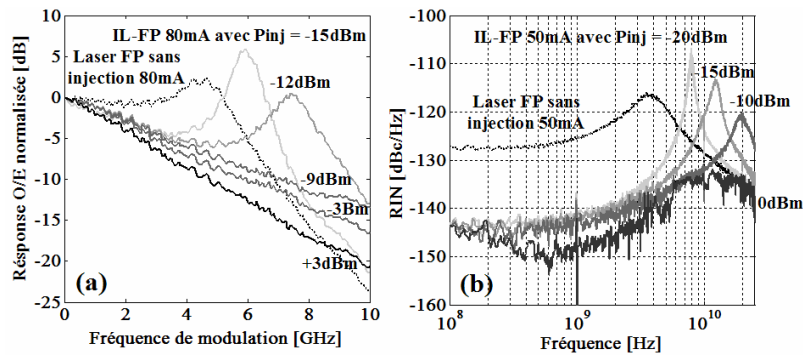


Fig. 2 : Réponse électro-optique normalisée (a) et bruit d'intensité (b)

Dans la fig. 2a, on observe également que la fréquence de résonance augmente avec la puissance optique injectée. Ceci est confirmé par les spectres de bruit d'intensité de la fig. 2b. Cette dernière figure montre une réduction très importante du bruit ( $> 10$  dB) de l'IL-FP comparativement au laser FP sans injection quand la source d'injection présente un faible niveau de bruit ( $-150$  dBc/Hz dans ce cas).

### 4. FACTEUR DE COUPLAGE PHASE-AMPLITUDE ET CHIRP DU LASER FABRY-PEROT VERROUILLE

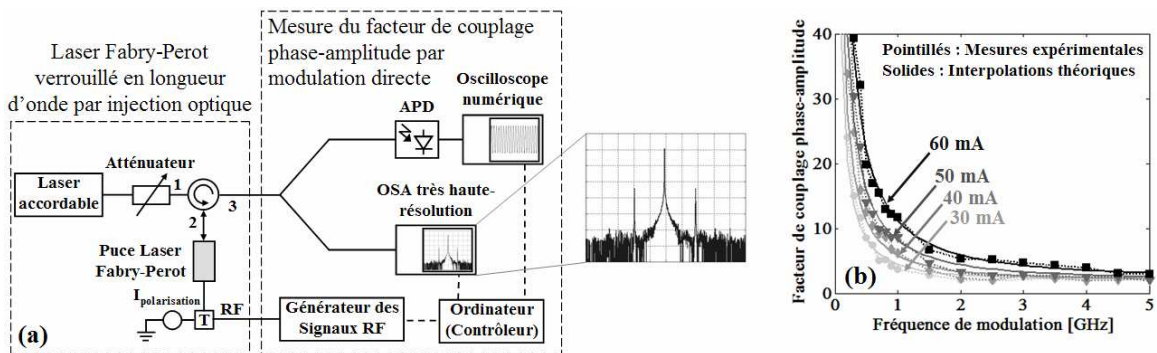


Fig. 3 : Montage expérimental pour la mesure de paramètre  $\alpha_H$  (a) et résultats de mesure de type référence pour un laser DFB à modulation directe à 2,5 Gbits/s (b)

La fig. 3a décrit le montage expérimental pour la mesure du paramètre  $\alpha_H$ . Il est obtenu par le rapport de l'indice de modulation de phase  $\beta$  sur l'indice de modulation d'amplitude  $m$  [5]. L'indice  $m$  est mesuré directement via un oscilloscope numérique. L'indice  $\beta$  est obtenu grâce à un analyseur de spectre optique de très haute résolution (1 MHz), en effectuant le rapport entre le pic de modulation (premiers pics latéraux) sur le pic central correspondant à la porteuse optique du laser (voir le spectre au centre de la fig.3). La fig. 3b liste pour différents courants et en fonction de la fréquence de modulation, les mesures du paramètre  $\alpha_H$  ainsi que leur interpolation théorique pour un laser DFB à modulation directe [6]. On en déduit respectivement le paramètre transitoire de chirp situé autour de  $2,04 \pm 0,2$  et le paramètre adiabatique de chirp autour de  $32,78 \pm 5$  GHz/mW.

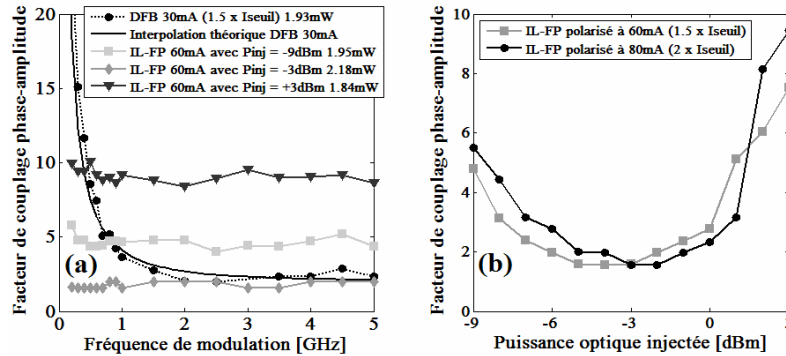


Fig. 4 : Paramètre  $\alpha_H$  de l'IL-FP : en fonction de la fréquence (a) et en fonction de la puissance injectée (b)

La fig. 4a donne le paramètre  $\alpha_H$  en fonction de la fréquence de modulation pour différentes puissances injectées. Dans cette même figure, une comparaison avec un DFB fonctionnant au même taux de pompage (1,5 x seuil) souligne une différence nette aux basses fréquences. Pour le DFB, le paramètre  $\alpha_H$  est très élevé aux faibles fréquences de modulation, alors qu'il est quasiment constant en fonction de la fréquence de modulation pour l'IL-FP, car l'injection optique réduit le chirp. Ceci indique que l'IL-FP présente un paramètre adiabatique de chirp très faible et que la valeur du paramètre transitoire de chirp approche celle du paramètre  $\alpha_H$  [6]. La variation de la puissance injectée influe grandement sur la valeur du paramètre  $\alpha_H$ . La fig. 4b montre clairement cette dépendance. Lorsque la puissance optique injectée augmente, le paramètre  $\alpha_H$  (ainsi que le paramètre transitoire du chirp dans ce cas) a tendance à diminuer. Ceci peut être expliqué par le fait que la variation de densité de porteurs et donc la variation de l'indice de réfraction diminue lorsque la puissance optique injectée augmente [7]. Par contre si la puissance optique injectée devient trop forte ( $> 0$  dBm), le paramètre  $\alpha_H$  augmente. Ce changement de tendance peut-être attribué au gain non-linéaire dû à la saturation liée à la forte puissance optique injectée dans l'IL-FP [8].

## CONCLUSION

Nous avons démontré expérimentalement la dépendance en fonction de la puissance optique injectée, de la réponse en régime petit signal et du facteur de couplage phase-amplitude d'un IL-FP. La diminution de la réponse électro-optique est un point faible de l'IL-FP, qu'il faudrait améliorer. Une réduction très importante du paramètre adiabatique de chirp a été obtenue. C'est un grand intérêt de l'IL-FP par rapport à un laser DFB monomode à modulation directe dans les applications où IL-FP est utilisé en tant qu'émetteurs pour les systèmes de transmission optique, surtout à très haut-débit où la dispersion chromatique est un facteur limitant.

Ces travaux ont été financés par l'ANR dans le cadre du projet ANTARES.

## REFERENCES

- [1] S. Blin *et al*, *Comptes Rendus Physique*, no.4, pp.687-699, 2003
- [2] Q.T. Nguyen *et al*, OFC/NFOEC, *Optical Society of America*, papier OThA3, 2009
- [3] E.K. Lau *et al*, *21<sup>st</sup> IEEE International Semiconductor Laser Conference (ISLC)*, pp.171-172, 2008
- [4] K. Petermann, "Laser diode modulation and noise", *Kluwer Academic Publishers*, 1991
- [5] C. Harder *et al*, *Apply Physic Letters*, 42, pp. 328- 330, 1983
- [6] L. Bjerkan *et al*, *Journal of Lightwave Technology*, vol.14, no.5, pp.839-850, 1996
- [7] Bo Zhang *et al*, OFC/NFOEC, *Optical Society of America*, papier OWT7, 2008
- [8] G.P. Agrawal *et al*, *Photonic Technology Letter*, vol.1, no.8, pp.212-214, 1989