



**HAL**  
open science

# Étude d'une source de peigne de fréquences optiques versatile généré à l'aide d'un lasers à verrouillage de modes à base de bâtonnets quantiques

Youcef Driouche, Kamel Merghem, Badr-Eddine Benkelfat

## ► To cite this version:

Youcef Driouche, Kamel Merghem, Badr-Eddine Benkelfat. Étude d'une source de peigne de fréquences optiques versatile généré à l'aide d'un lasers à verrouillage de modes à base de bâtonnets quantiques. Journées Nationales d'Optique Guidée (JNOG), Jul 2023, Lyon, France. hal-04161321

**HAL Id: hal-04161321**

**<https://hal.science/hal-04161321v1>**

Submitted on 17 Dec 2024

**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 d'une source de peigne de fréquences optiques versatile généré à l'aide de lasers à verrouillages de modes à base de bâtonnets quantiques

Youcef Driouche, Kamel Merghem, Badr-Eddine Benkelfat

<sup>1</sup>*SAMOVAR, Télécom SudParis, Institut Polytechnique de Paris, 91120 Palaiseau, France*  
*[youcef\\_driouche@telecom-sudparis.eu](mailto:youcef_driouche@telecom-sudparis.eu)*

## RESUME

Nous avons étudié expérimentalement les performances de lasers à verrouillage de modes à base de bâtonnets quantiques soumis à différents régimes de rétroaction optique cohérente et incohérente. Les effets de la rétroaction optique pour des régimes spécifiques permettent de faire évoluer les caractéristiques de cette source et réaliser un peigne de fréquences optiques agile et versatile pouvant ainsi s'adapter au mieux aux applications visées.

**MOTS-CLEFS :** *lasers semi-conducteurs, lasers à bâtonnets quantiques, lasers à verrouillage de mode, peigne de fréquences optiques, rétroaction optique.*

## 1. INTRODUCTION

Les lasers à semi-conducteurs à boîtes/bâtonnets quantiques (LBQ) à verrouillage de mode sont des sources optiques permettant de générer des peignes de fréquences optiques relativement larges, avec des espacements de plusieurs dizaines de GHz. Les lasers à verrouillage de modes (LVM) à base de BQ ont un fort potentiel en tant que dispositif pour les transmissions optiques de données à très haut débit avec des formats de modulation avancés, ainsi que pour leur utilisation en tant qu'oscillateur local pour la réalisation de récepteurs cohérents [1,2]. L'utilisation d'une rétroaction optique externe contrôlée est une méthode efficace pour réduire le bruit de phase des LVM à BQ. Plusieurs études limitées à des régimes spécifiques ont démontré l'effet bénéfique de la rétroaction optique pour ce type de sources. En revanche, ces travaux n'ont pas clairement analysé les différents régimes de rétroaction optiques dit cohérents et incohérents.

Dans cet article, nous avons étudié expérimentalement le comportement de LVM à BQ soumis à différents régimes de rétroaction optique généré à l'aide d'une cavité externe en espace libre. Nous avons démontré que dans le cas d'une rétroaction optique cohérente, la largeur du spectre RF (directement relié au bruit de phase du laser) peut être modifié en fonction de l'intensité de la rétroaction optique, et que les caractéristiques spectrales du peigne de fréquences optique peuvent être également modifiées par le type de rétroaction optique cohérente ou incohérente.

## 2. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT ET RESULTATS

Le montage expérimental utilisé pour cette étude est illustré sur la figure 1. Le laser émettant par les deux facettes, l'analyse des performances et la réalisation de la boucle de rétroaction optique sont traitées séparément. La boucle de rétroaction optique est réalisée en espace libre et consiste en une lentille de collimation pour collecter la puissance optique à la sortie de laser, un polariseur qui agit comme un atténuateur variable pour contrôler l'intensité de la rétroaction, et un miroir externe (de réflectivité  $R \sim 99\%$ ). Le couplage optique est réalisé à l'aide d'une fibre lentillée sur la deuxième facette du laser et permet d'analyser les performances dans le domaine spectral à l'aide d'un analyseur de spectre optique et dans le domaine RF à l'aide d'une photodiode rapide couplée à un analyseur de spectre électrique.

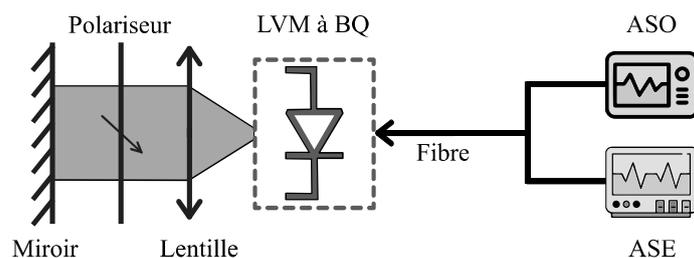


FIGURE 1 : Montage expérimental utilisé pour la rétroaction optique. LVM à BQ : laser à bâtonnets quantiques à verrouillage de modes, ASO : Analyseur de Spectre Optique, ASE : Analyseur de Spectre Electrique.

L'intensité de la rétroaction optique se définit comme le rapport entre la puissance optique réfléchiée par la cavité externe après un aller-retour et la puissance optique émise par le composant. Pour ces expériences, le laser est alimenté par un courant continu de 100 mA, équivalent à trois fois la valeur du courant de seuil, et est stabilisé à température de 25 °C à l'aide d'un élément Peltier. Tout d'abord, dans le cas d'une rétroaction optique cohérente, la longueur de la cavité externe est fixée à un multiple de la longueur de la cavité laser afin de cibler le verrouillage entre la cavité externe et la cavité laser. Ensuite, la rotation du polariseur permet de faire varier continuellement l'intensité de la rétroaction optique. L'analyse des effets de la rétroaction optique est réalisée à l'aide du signal de battement RF de l'analyseur de spectre électrique avec une résolution de 10 kHz pour une fenêtre d'observation de 10 MHz. Comme le montre la figure 2(a), la largeur du signal de battement RF augmente au fur et à mesure que l'intensité de la rétroaction optique diminue. Cela prouve qu'il existe une forte relation entre l'intensité de la rétroaction optique et le verrouillage de phase entre les modes laser. L'analyse spectrale est réalisée à l'aide d'un analyseur de spectre optique avec une résolution de 1 nm et une fenêtre d'observation de 20 nm. La figure 2(b) montre que l'enveloppe du peigne de fréquence est la même que dans le cas sans rétroaction, mais est décalée d'environ 2 nm vers les longueurs d'onde les plus grandes. L'ampleur du décalage dépend fortement de la puissance optique réinjectée dans le laser et peut atteindre jusqu'à 8 nm. Nous avons ensuite étudié le régime de rétroaction optique incohérent, lorsque la longueur de la cavité externe n'est pas ajustée à un multiple de celui du LVM. Comme le montre la figure 2(b), l'enveloppe du peigne est décalée vers les grandes longueurs d'onde en présence d'une rétroaction incohérente par rapport à l'enveloppe initiale sans rétroaction, et elle apparaît modifiée couvrant une largeur spectrale plus importante de près de 15 nm.

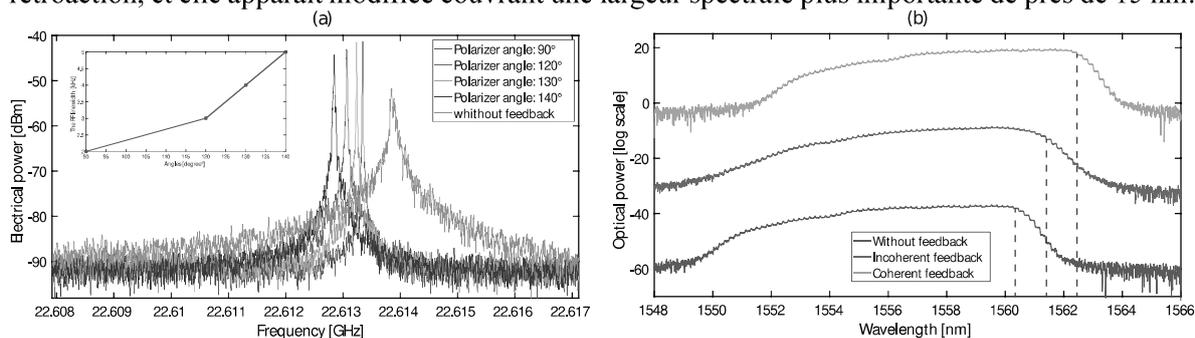


FIGURE 2 : Résultats expérimentaux. (a) Les différents régimes obtenus en fonction de l'intensité de rétroaction mesurée par l'analyseur de spectre électrique; encadré : la largeur à - 3 dB de chaque signal de battement RF. (b) L'enveloppe du spectre optique pour les rétroactions optiques cohérentes et incohérentes.

## CONCLUSION

Dans ce travail, nous avons montré expérimentalement que la rétroaction optique externe peut être utilisée pour améliorer les performances des LVM à BQ et permettre la modification de ses caractéristiques. La polyvalence de ces sources en peigne en termes de bruit de phase et de largeur de bande spectrale optique pourrait potentiellement répondre aux exigences de plusieurs applications

nécessitant une certaine adaptation des performances, comme par exemple, les transmissions optiques cohérentes à très haut débit ou la télémétrie optique de haute précision réalisée à l'aide de peignes de fréquence sur puce [3].

#### RÉFÉRENCE

- [1] J. N. Kemal, P. M-Palomo, K. Merghem, G. Aubin, F. Lelarge, A. Ramdane, S. Randel, W. Freude, and C. Koos, "32QAM WDM transmission at 12 Tbit/s using a quantum-dash mode-locked laser diode (QD-MLLD) with external-cavity feedback," *Opt. Express*, vol. 28, pp. 23594-23608, 2020.
- [2] J. N. Kemal, P. M-Palomo, V. Panapakkam, P. Trocha, S. Wolf, K. Merghem, F. Lelarge, A. Ramdane, S. Randel, W. Freude, and C. Koos, "Coherent WDM transmission using quantum-dash mode-locked laser diodes as multi-wavelength source and local oscillator," *Opt. Express*, vol. 27, pp. 31164-31175, 2019.
- [3] P. Trocha, J. N. Kemal, Q. Gaimard, G. Aubin, F. Lelarge, A. Ramdane, W. Freude, S. Randel and C. Koos, "Ultra-fast optical ranging using quantum-dash mode-locked laser diodes," *Sci Rep*, vol. 12, pp. 1076, 2022.