



**HAL**  
open science

## Architecture WDM-PON achromatique utilisant des lasers Fabry-Perot verrouillés en longueur d'onde par injection optique

Quoc Thai Nguyen, Pascal Besnard, Laurent Bramerie, Alexandre Shen, Guang-Hua Duan, Christophe Kazmierski, Jean-Claude Simon

► **To cite this version:**

Quoc Thai Nguyen, Pascal Besnard, Laurent Bramerie, Alexandre Shen, Guang-Hua Duan, et al.. Architecture WDM-PON achromatique utilisant des lasers Fabry-Perot verrouillés en longueur d'onde par injection optique. 28èmes Journées Nationales d'Optique Guidée (JNOG 2009), Jul 2009, Lille, France. pp.104-106. hal-00497256

**HAL Id: hal-00497256**

**<https://hal.science/hal-00497256>**

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.

# ARCHITECTURE WDM-PON ACHROMATIQUE UTILISANT DES LASERS FABRY-PEROT VERROUILLES EN LONGUEUR D'ONDE PAR INJECTION OPTIQUE

Q.T. Nguyen<sup>1</sup>, P. Besnard<sup>1</sup>, L. Bramerie<sup>1</sup>, A. Shen<sup>2</sup>, G.H. Duan<sup>2</sup>, C. Kazmierski<sup>2</sup> et J.-C. Simon<sup>1</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

quothai.nguyen@enssat.fr

## RESUME

Une architecture de réseau d'accès optique multiplexé en longueur d'onde (WDM-PON) utilisant des émetteurs achromatiques à base de lasers Fabry-Perot verrouillés en longueur d'onde par injection optique est proposée. Une source multi-longueur d'onde composée d'un seul laser à modes bloqués à bâtonnets quantiques est utilisée pour verrouiller les lasers Fabry-Perot. La transmission bidirectionnelle de 8 canaux sur 20 km de fibre dans une telle architecture a été réalisée à 2,5 Gb/s par canal et un bilan optique total de 23 dB a été obtenu.

**MOTS-CLEFS :** *réseau d'accès optique ; WDM-PON ; verrouillage en longueur d'onde par injection optique ; laser à semiconducteur.*

## 1. INTRODUCTION

Grâce aux nouveaux services de communication, la demande en bande-passante pour le réseau d'accès optique devient de plus en plus importante. Parmi plusieurs solutions d'accès optique, l'architecture WDM-PON (Wavelength-Division-Multiplexed Passive Optical Network) est considérée comme la meilleure solution en termes de bande-passante [1].

Afin de rendre le réseau WDM-PON plus économique et plus flexible, des émetteurs achromatiques seront nécessaires, c'est-à-dire des émetteurs identiques pour chaque abonné quelque soit la longueur d'onde émise [2], qui peut-être contrôlée par injection optique via une source externe. Au cours de ces dernières années, beaucoup de travaux de recherche ont été consacrés pour proposer des émetteurs achromatiques bas-coûts pour les systèmes WDM-PON. Ces solutions sont typiquement basées sur un amplificateur optique à semi-conducteur réfléchif (RSOA) [3] ou un laser Fabry-Perot verrouillé par injection optique (IL-FP pour Injection-Locked Fabry-Perot) [4]. Le peigne de longueur d'ondes est généré par découpage spectrale d'une source large bande de type émission spontanée amplifiée (ASE) ou super-continuum. Mais ces techniques sont limitées en terme de débit à 1,25 Gb/s à cause du bruit d'intensité important de la source d'injection ( $\sim -105$  dBc/Hz), ceci même si la bande-passante de l'émetteur achromatique est plus élevée.

Pour surmonter cette limitation due au bruit d'intensité, nous proposons l'association d'émetteurs achromatiques insensibles à la polarisation à base d'IL-FP et d'un générateur cohérent de peigne de longueurs d'onde de faible bruit pour le système WDM-PON, constitué d'un laser à modes bloqués à bâtonnets quantiques (QD-MLL pour Quantum Dash Mode-Locked Laser). Nous avons démontré récemment la transmission, uniquement dans le sens descendant, de 16 canaux en employant cette technique [5]. Dans ce papier, nous présentons la faisabilité d'une telle solution pour une transmission bidirectionnelle, c'est-à-dire à la fois dans le sens descendant et remontant pour une architecture WDM-PON de 8 canaux avec un espacement entre canaux de 42,7 GHz dans la bande C.

## 2. EMETTEUR ACHROMATIQUE ET GENERATEUR DE PEIGNE DE LONGUEURS D'ONDE

Compte tenu des caractéristiques attractives des QD-MLL [6], nous proposons de combiner le peigne de longueurs d'onde généré par un QD-MLL avec un multiplexeur de type AWG (Array Waveguide Grating) accordable pour fournir un ensemble de longueurs d'onde, utilisées individuellement afin de fixer la longueur d'onde par injection optique du composant achromatique laser IL-FP. L'AWG accordable est ajusté en longueur d'onde et en espacement de telle façon à ce que ses canaux coïncident exactement avec les modes du QD-MLL. La fig. 1a montre le spectre optique quasi-plat sur 10 nm du QD-MLL. Ce laser présente un intervalle spectral libre de 42,7 GHz. 8 modes

sont choisis de 1556,65 nm à 1559,07 nm pour les 8 canaux descendants et 8 modes de 1562,18 nm à 1564,62 nm pour les 8 canaux remontants. La fig. 1b donne le spectre optique d'un mode du QD-MLL, sélectionné par l'AWG ainsi que celui de l'IL-FP. On remarque le fonctionnement monomode de l'IL-FP avec un taux de suppression des modes latéraux (SMSR) supérieur à 30 dB. La fig. 1c présente l'allocation des longueurs d'onde pour les 8 canaux dans le sens descendant et les 8 canaux dans le sens remontant. Le SMSR de chaque canal est d'environ 40 dB grâce au re-filtrage par l'AWG réalisant le multiplexage en longueur d'onde.

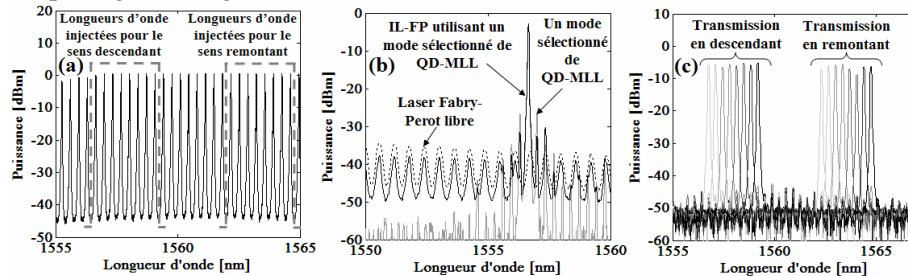


Fig. 1 : Spectres optiques : du QD-MLL (a), du verrouillage du laser FP injecté par un mode du QD-MLL (b), des 8 canaux pour la transmission en descendant et en remontant (c).

Comme la source d'injection est cohérente, le verrouillage dans les lasers FP classiques dépend fortement de la polarisation du signal injecté. Pour éviter cette contrainte, le laser FP utilisé dans cette expérience est constitué de deux sections [7] : une section de gain ayant un gain effectif insensible à la polarisation et une deuxième section à base d'InGaAsP servant à compenser la biréfringence. Par conséquent, ce laser FP fonctionne à la fois sur les modes TE et TM, mais les deux familles de mode TE et TM sont superposées en fréquence grâce à la compensation de la biréfringence. Lorsque la deuxième section est polarisée à un courant supérieur à une valeur de seuil (autour de 10 mA), nous obtenons la quasi-superposition des deux familles de mode TE et TM dans la bande spectrale de 1545 nm à 1565 nm. Par suite, le verrouillage en longueur d'onde ne dépend pas de l'état de polarisation du signal injecté [7].

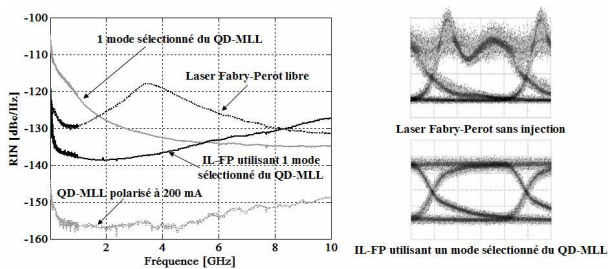


Fig. 2 : Bruit d'intensité

Les mesures de bruit d'intensité sont représentées dans la fig. 2. Le QD-MLL présente un niveau de bruit très faible ( $< -150$  dBc/Hz) pour l'intensité totale. Cependant, un mode individuel de ce laser a un niveau de bruit assez important, surtout aux basses fréquences du fait du bruit de partition. Néanmoins, nous obtenons une réduction de bruit très significative pour le QD-MLL grâce au mécanisme de verrouillage ( $< -130$  dBc/Hz). Ces résultats de mesure de bruit

sont confirmés par la mesure de diagrammes de l'œil représentée dans la fig. 2 de laser FP sans injection et du QD-MLL modulés à 2,5 Gb/s (dans ce cas, -3 dBm de puissance injectée).

### 3. MONTAGE EXPERIMENTAL D'UNE ARCHITECTURE WDM-PON ET PERFORMANCES EN TRANSMISSION BIDIRECTIONNELLE

La fig. 3 décrit le montage expérimental d'un système WDM-PON pour la transmission dans le sens descendant. Au central, un QD-MLL amplifié par un EDFA haute-puissance (23 dBm) est utilisé comme la source d'injection optique. Comme cela a été dit, les 8 canaux des AWG accordables doivent être alignés pour coïncider avec 8 modes du QD-MLL. La section de gain de l'IL-FP est polarisée à 75 mA et modulée directement par une séquence binaire PRBS de longueur  $2^7-1$ , d'amplitude 2 Vpp à 2,5 Gb/s. La deuxième section est polarisée à un courant qui peut être ajusté jusqu'à 100 mA afin d'obtenir le meilleur régime de verrouillage. La puissance injectée dans le laser FP est autour de -2 dBm pour chaque canal et la puissance d'émission de l'IL-FP est de +3 dBm. Le signal optique descendant est détecté par une photodiode PIN 2,5 Gb/s à l'ONU.

Les mesures de taux d'erreur binaire (TEB) en fonction de la puissance optique reçue sont représentées dans la fig. 3 pour les 8 canaux en descendant. Ces résultats sont comparés à une courbe de référence mesurée en utilisant un laser accordable à cavité externe de faible bruit et un modulateur externe LiNbO<sub>3</sub> à 2,5 Gb/s. La sensibilité de -21,5 dBm à -21 dBm et la faible pénalité ( $\sim 0,25$  dB) ont

été obtenues après transmission sur 20km pour les 8 canaux avec un TEB de  $10^{-9}$ . Comme la puissance d'émission de l'IL-FP est de +3 dBm, le bilan optique pour la transmission en descendant est donc 24 dB.

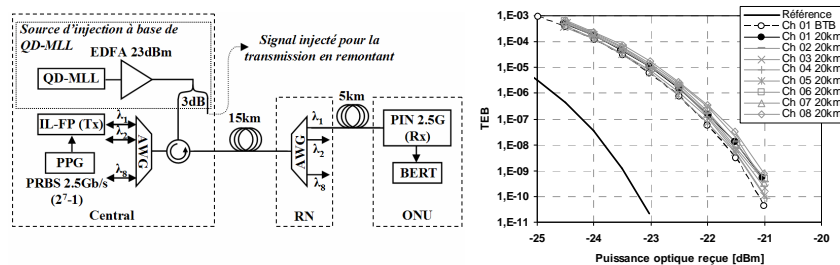


Fig. 3 : Montage expérimental WDM-PON pour la transmission en descendant et performances obtenues

La fig. 4 donne le montage expérimental pour la transmission en remontant. Dans ce sens, la rétrodiffusion de Rayleigh est la limite principale des systèmes WDM-PON pour une source d'injection au central [8]. Pour éviter cette dégradation tout en conservant la simplicité, nous proposons d'utiliser dans cette expérience une architecture bi-fibre entre le central et le RN (Remote Node) : une fibre pour la transmission en remontant et une fibre pour l'injection. Dans ce cas, la rétrodiffusion de Rayleigh est seulement générée sur 5 km de fibre de distribution, ce qui est négligeable. À cause de l'atténuation due à la propagation sur 20 km, la puissance injectée dans le laser FP à l'ONU est seulement de -7 dBm, mais le verrouillage est toujours obtenu.

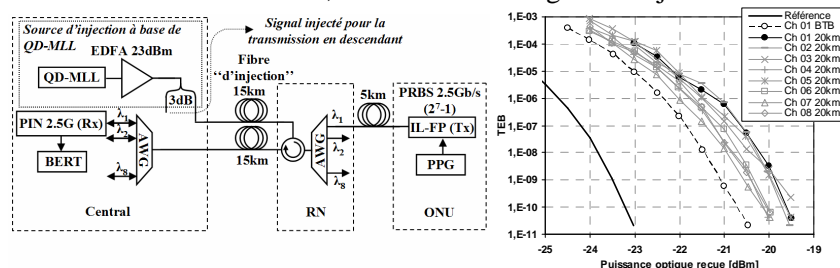


Fig. 4 : Montage expérimental WDM-PON pour la transmission en remontant de et performances associées

Les mesures de TEB en fonction de la puissance optique reçue sont données dans la fig. 4 pour les 8 canaux en remontant. La sensibilité est située entre -20,5 dBm et -19,5 dBm ; la pénalité est d'environ 1,2 dB après transmission sur 20 km pour les 8 canaux pour un TEB de  $10^{-9}$ . Cette pénalité est plus importante comparativement à celle du sens descendant. Cela peut être expliqué par la faible efficacité de verrouillage de l'IL-FP, liée à la faible puissance optique injectée dans le cas remontant bien que la contribution de la rétrodiffusion de Rayleigh soit moindre sur 5 km. Le bilan optique calculé est donc 23 dB pour la transmission en remontant.

## CONCLUSION

Nous avons démontré la faisabilité d'une architecture WDM-PON utilisant des émetteurs achromatiques bas-coût à base de lasers IL-FP insensibles à la polarisation et d'un QD-MLL comme générateur de peigne de longueurs d'onde et source d'injection. La transmission bidirectionnelle de 8 canaux espacés de 42,7 GHz à 2,5 Gb/s sur 20 km a été réalisée avec une pénalité de 0,25 dB pour le sens descendant et de 1,2 dB pour le sens remontant pour un TEB de  $10^{-9}$ . Le bilan optique total donne une marge de 23 dB. Ces résultats sont très encourageants et prometteurs pour la nouvelle génération du réseau d'accès optique.

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

## REFERENCES

- [1] K. Grobe *et al*, OFC/NFOEC, *Optical Society of America*, papier NThD6, 2008
- [2] F. Payoux *et al*, OFC/NFOEC, *Optical Society of America*, papier OTuG5, 2007
- [3] H.H. Lee *et al*, OFC/NFOEC, *Optical Society of America*, papier PDPD9, 2009
- [4] J.H. Lee *et al*, *IEEE Journal of Lightwave Technologies*, vol. 25, no. 10, 2007
- [5] Q.T. Nguyen *et al*, OFC/NFOEC, *Optical Society of America*, papier OThA3, 2009
- [6] F. Lelarge *et al*, *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, vol. 13, no. 1, 2007
- [7] A. Shen *et al*, ECOC, papier Th3D1, 2008
- [8] G. Talli *et al*, *Electronics Letters*, vol. 42, no. 15, 2006.