



HAL
open science

TRANSMISSION 25 GBIT/S TEMPS R ÉEL EN MODE BURST POUR LE LIEN MONTANT DU 50G-PON

Dylan Chevalier, Gaël Simon, Jérémy Potet, Georges Gaillard, Fabienne Saliou, Sofiane Belahsene, Constant Libs, Laurent Bramerie, Philippe Chanclou, Pascal Scalart, et al.

► **To cite this version:**

Dylan Chevalier, Gaël Simon, Jérémy Potet, Georges Gaillard, Fabienne Saliou, et al.. TRANSMISSION 25 GBIT/S TEMPS R ÉEL EN MODE BURST POUR LE LIEN MONTANT DU 50G-PON. Journée Nationale de l'Optique Guidée (JNOG), Jul 2023, Lyon, France. hal-04709396

HAL Id: hal-04709396

<https://hal.science/hal-04709396v1>

Submitted on 25 Sep 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.

TRANSMISSION 25 GBIT/S TEMPS RÉEL EN MODE BURST POUR LE LIEN MONTANT DU 50G-PON

Dylan CHEVALIER^{1 2}, Gaël SIMON¹, Jérémy POTET¹, Georges GAILLARD¹, Fabienne SALIOU¹,
Sofiane BELAHSENE⁴, Constant LIBS⁴, Laurent BRAMERIE², Philippe CHANCLOU¹,
Pascal SCALART³, Monique THUAL²

¹ Orange, 2 Avenue Pierre Marzin, 22300 Lannion, France

² Univ Rennes, CNRS, Institut FOTON - UMR 6082, F-22305 Lannion, France

³ Univ Rennes, IRISA - UMR 6074, F-22305 Lannion, France

⁴ Almae Technologies, 91460 Marcoussis, France

dylan.chevalier@orange.com

RÉSUMÉ

Une transmission à 25 Gbit/s est réalisée pour le réseau d'accès FTTH en mode burst. Nous démontrons la capacité de notre système DML-APD à répondre aux besoins de la classe N1 (14-29 dB) du lien montant du standard 50G-PON.

MOTS-CLEFS : 50G-PON; mode burst; réseau d'accès; FTTH

1. INTRODUCTION

Les télécommunications optiques sont aujourd'hui incontournables. En témoignent les 752 millions de foyers raccordés en FTTH (fibre jusqu'à l'abonné) à ce jour, dont 10,3 millions en France pour l'opérateur Orange [1]. La technologie G-PON (PON : Réseau Optique Passif), constitue l'ossature des derniers kilomètres de fibre entre l'abonné et le central, séparés typiquement par 0 à 20 km de fibre optique. La demande toujours croissante en termes de débit pousse les différents acteurs du marché à développer les successeurs du G-PON. Dans ce contexte, le 50G-PON pourra proposer 50 Gbit/s dans le sens descendant (central vers client), et 25 Gbit/s dans le sens montant, soit 20 fois les capacités physiques du G-PON actuellement déployé [2]. Cependant, l'importance du marché que représentent ces technologies implique d'utiliser des solutions à la fois robustes et simples : la modulation du signal optique doit être directe (par le biais du courant appliqué au laser) de manière à simplifier le système. De plus, la réception doit pouvoir s'adapter aux variations de chemin optique (pertes optiques différentes mais aussi distance client-central différentes selon les clients, etc.) ce qui requiert des photodiodes à avalanche (APD) ou ayant une forte dynamicité [3]. Enfin, les technologies PON devant emprunter un réseau fibré ayant une topologie point-à-multipoint (en arbre) grâce à un coupleur optique, voir la figure 1, un multiplexage temporel est utilisé de manière à partager les ressources entre les différents clients du réseau de distribution (jusqu'à 64 clients).

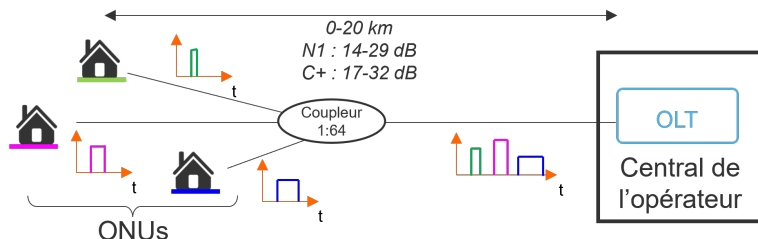


FIGURE 1 – Architecture PON à topologie point-à-multipoint.

On propose dans cet article d'étudier un système à multiplexage temporel reposant sur un laser à modulation directe (DML) fonctionnant à 25 Gbit/s, un des débits cible pour le montant du standard 50G-PON [4]. Une photodiode à avalanche de dernière génération, fabriqué en silicium-germanium (SiGe) de dernière génération permet la transformation des signaux optiques d'amplitudes variables en signaux électriques tout en laissant espérer des coûts compatibles avec ce marché de masse. L'accent est

mis sur le mode rafale qui permet de partager temporellement la topologie point-à-multipoint : chaque ONU (équipement côté client) émet une rafale de données en direction du récepteur (côté central de l'opérateur), durant son temps de parole, avant de s'éteindre (cf figure 1). Le temps de cycle entre deux émissions est de 125 μ s sur le terrain comme dans nos expérimentations. Nous comparons les résultats mesurés avec les standards en cours de finalisation. Pour correspondre à la classe N1 de budget optique, les pertes optiques acceptables par le système doivent être au plus de 29 dB et pouvoir descendre jusqu'à 14 dB sans risques pour le récepteur. On cherche à atteindre cette classe parce qu'elle correspond à l'infrastructure déjà déployée. La sensibilité doit quant à elle être de -24,5 dBm pour un taux d'erreur binaire (BER) de 10^{-2} . En ce qui concerne la classe C+ de budget optique, elle doit être comprise entre 17 et 32 dB avec une sensibilité de -27,5 dBm, [5].

2. MISE EN ŒUVRE EXPÉRIMENTALE

La figure 2 représente le banc de test ayant permis de réaliser des transmissions à 25 Gbit/s, en continu et en mode burst. On y trouve un générateur de signaux (noté PPG n°1 sur la figure 2) qui génère une séquence électrique Non Return to Zero On-Off Keying (NRZ-OOK) avec une amplitude électrique de 210 mVpp sous la forme d'une séquence pseudo aléatoire (PRBS) de longueur $2^{15} - 1$. Une égalisation électronique est ajoutée pour permettre à l'émission de compenser partiellement les limitations en bande passante de l'émetteur. À la suite du PPG n°1, se trouve un amplificateur électrique de gain 23 dB possédant une bande passante comprise entre 77 kHz et 55 GHz. Afin de convertir le signal électrique en optique, un prototype sur embase de laser à modulation directe (DML) est utilisé. Sa technologie est basée sur des puits quantiques multiples sur base d'aluminium (Al-based MQW) rigide en guide d'onde et ayant une bande passante électro-optique de l'ordre de 25 GHz, voir figure 3a. Ce dernier a une longueur d'onde en bande "O" de 1302 nm, qui correspond au standard 50G-PON. Une fois le signal modulé, il est envoyé sur une fibre optique monomode standard [6] de 0, 10 ou 20 km (distance maximale entre l'office central (CO) et l'ONU). En sortie de la fibre monomode se trouve un atténuateur optique variable (VOA). Il permet d'ajuster la puissance optique sur le récepteur et ainsi tracer des courbes de taux d'erreur binaire (BER) en fonction de la puissance reçue à la photodiode. En réception, on trouve un coupleur (1 : 2) connecté à un puissance mètre (noté "dBm" sur la figure 2) et sur l'autre branche, une photodiode à avalanche (APD, voir figure 3c) ayant 25 GHz de bande passante et alimenté avec une tension de 19 V. Intégré à l'APD, se trouve un amplificateur transimpédance (TIA) alimenté avec une tension de 3,3 V. Le TIA permet d'amplifier le signal reçu. Le calcul d'erreur est possible grâce au détecteur d'erreur (ED) connecté à la sortie du TIA.

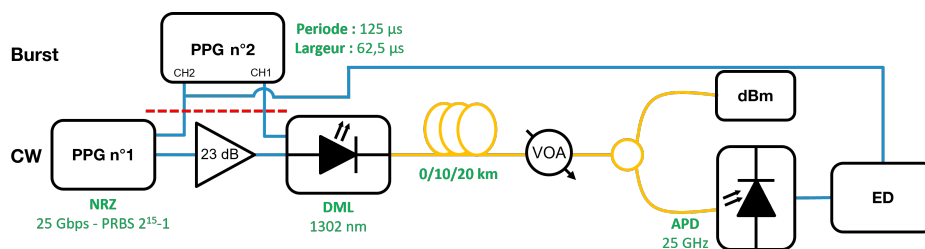


FIGURE 2 – Montage expérimental pour une transmission en continu et en mode burst.

Concernant le mode burst, à la différence du continu, on vient rajouter un autre PPG (PPG n°2 sur la figure 2) qui lui va servir à générer un créneau de 62,5 μ s sur une période de 125 μ s. Cette période est l'intervalle sur lequel les ONU sont autorisés à émettre dans les technologies PON. La durée d'émission doit être comprise entre 0 et 125 μ s. Nous avons fixé la durée d'émission à 62,5 μ s, soit la moitié du temps de cycle, voir la figure 3b. Sur le canal 1 du PPG n°2, l'amplitude est fixée à 3 V et est appliquée comme biais au DML. Le canal 2 a la même période et la même largeur d'impulsion, cependant, l'amplitude est fixée à 1,2 V et est connecté au PPG n°1 et à l'ED. Ces deux signaux vont permettre de créer l'enveloppe du signal optique et de synchroniser le PPG n°1 avec l'ED pour permettre les mesures de BER. On peut ainsi observer le burst à la sortie de l'APD, voir la figure 3b.

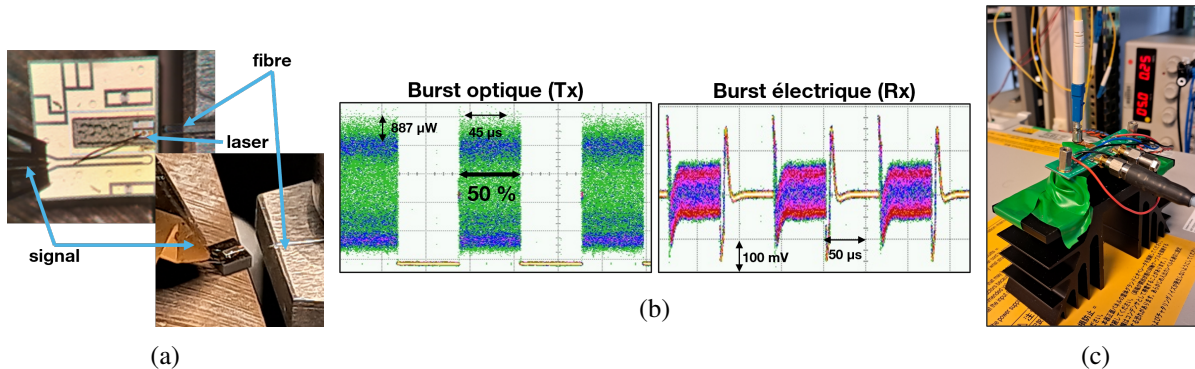


FIGURE 3 – (a) DML (b) Burst optique en émission et burst électrique en réception et (c) APD.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

L'objectif de cette expérimentation est de confronter les résultats obtenus grâce à notre système DML-APD avec le standard du 50G-PON qui est en cours de normalisation. Dans un premier temps, la transmission en configuration continu a permis d'obtenir les courbes de la figure 4a, représentant le BER en fonction de la puissance reçue à la photodiode pour une puissance émise du laser de +6,45 dBm. Un BER de 10^{-2} correspond à une erreur sur cent bits envoyés. Dans la norme, un taux d'erreur maximal de 10^{-2} est défini comme la limite de sensibilité correspondant à la limite des codes correcteurs d'erreurs (FEC) choisi pour cette technologie [2]. À ce BER, nous obtenons une sensibilité, c'est-à-dire une puissance reçue par l'APD pour avoir un BER de 10^{-2} , de l'ordre de -26,7 dBm en continu (voir figure 4a). Pour une puissance optique supérieure à -16 dBm, lorsque la puissance reçue augmente, le BER se dégrade du fait de la saturation de l'APD. Les résultats en mode burst sont très proches de ceux en continu, voir la figure 4b. On y retrouve bien une sensibilité de -26,7 dBm à un BER de 10^{-2} . Néanmoins, le régime de saturation est atteint avec légèrement moins de puissance reçue à l'entrée de l'APD. De plus, on remarque que les diagrammes de l'oeil optique sur la figure 4 après 20 km de fibre sont identiques quelque soit le mode de fonctionnement. Les diagrammes de l'oeil obtenus, voir figure 4b, sont quasiment identiques avec un taux d'extinction (ER, rapport de la puissance en watt des 1 et des 0) de 4,5 dB en continu et 4,6 dB en mode burst. Dans les deux modes, les courbes pour 0, 10 et 20 km de transmission sont similaires. Cela s'explique par la longueur d'onde du laser qui est à 1302 nm, c'est-à-dire que nous avons très peu de dispersion chromatique à cette longueur d'onde dans une fibre monomode standard. Comme évoqué précédemment, le 50G-PON impose l'utilisation de la classe N1 pour une sensibilité de -24 dBm en sens descendant et de -24,5 dBm en sens montant. Un budget optique est une plage d'atténuation que l'on s'autorise à perdre lors d'une transmission optique. La figure 4 montre que ces sensibilités sont bien atteintes que ce soit en continu (-26,6 dBm) ou en mode burst (-26,5 dBm). La figure 5 montre le BER en fonction des pertes optiques en continu et en mode burst. Elle révèle que la classe de budget optique N1 est respectée et que nous sommes à la limite de la classe C+.

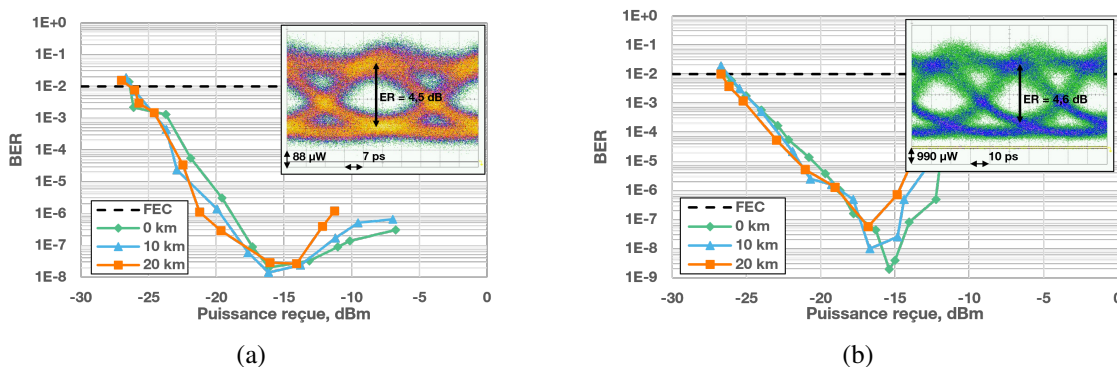


FIGURE 4 – (a) BER en continu et (b) BER en mode burst en fonction de la puissance reçue à la photodiode pour plusieurs longueurs de fibre optique monomode (0, 10 et 20 km).

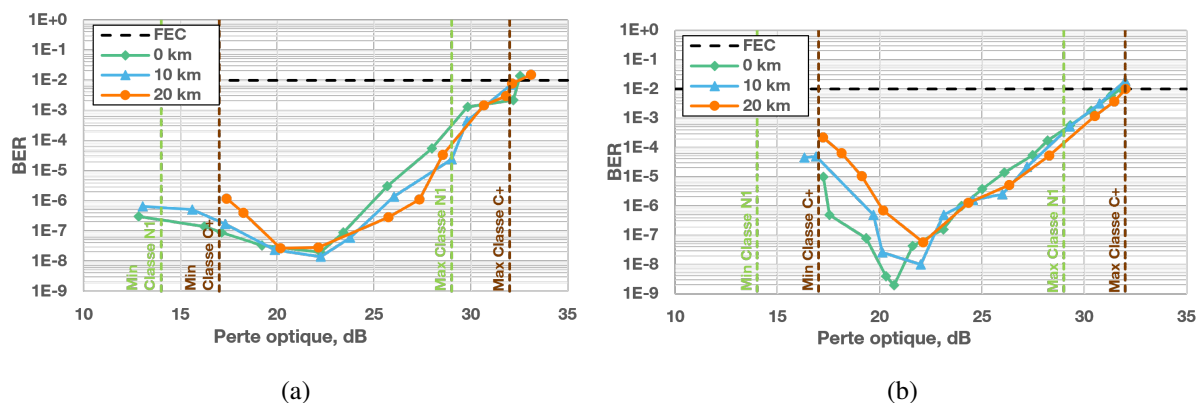


FIGURE 5 – (a) BER en continu et (b) BER en mode burst en fonction des pertes optiques pour plusieurs longueurs de fibre optique monomode (0, 10 et 20 km).

CONCLUSION

Une transmission temps réel à 25 Gbit/s a été réalisée pour le réseau d'accès FTTH en continu et en mode burst (sens montant, du client vers le central). La nouveauté est qu'elle a été réalisée avec des composants nouveaux, des prototypes, non disponibles commercialement et plus proches de ce qu'on pourra retrouver sur le terrain. Ici, nous n'avons pas utilisé de laser à modulation externe (EML) ou d'amplificateur à semi-conducteur (SOA) [7] [8]. Des mesures de BER ont été réalisées avec différentes longueurs de fibre optique monomode (0/10/20 km). Nous avons obtenu une sensibilité de -26,7 dBm. La classe N1 (14 - 29 dB) visée a été atteinte, démontrant la compatibilité avec le 50G-PON. Les résultats de cet article sont obtenus sans traitement numérique du signal en réception. L'utilisation de techniques d'égalisation pourrait permettre de repousser la sensibilité du récepteur, et ainsi atteindre des budgets optiques plus importants comme la classe C+ et d'augmenter le nombre d'ONU pour un OLT, c'est à dire le nombre de clients partageant une même infrastructure.

REMERCIEMENTS

Les auteurs souhaitent remercier Almae Technologies pour la conception du DML. Les auteurs souhaitent également remercier les projets européens 5G-COMPLETE, MARSAL et OCTAPUS.

RÉFÉRENCES

- [1] "World FTTx Markets Markets as for June 2021 & Forecasts up to 2025", Idate report, décembre 2021.
- [2] Standard ITU-T G.9804.3 recommendation on "Higher Speed PONs"
- [3] J. Potet et al., "Uncooled High Speed Ge/Si Avalanche Photodiode for 50 Gbit/s-PON with 60 km Reach," 2023 Optical Fiber Communications Conference and Exhibition (OFC), San Diego, CA, USA, 2023
- [4] R. Bonk et al., "50G-PON : The First ITU-T Higher-Speed PON System," in IEEE Communications Magazine, vol. 60, no. 3, pp. 48-54, March 2022, doi : 10.1109/MCOM.001.2100441.
- [5] R. Rosales et al., "Achieving high budget classes in the downstream link of 50G-PON," in Journal of Optical Communications and Networking, vol. 13, no. 8, pp. D13-D21, August 2021, doi : 10.1364/JOCN.426009.
- [6] Standard ITU-T G.652.D recommendation on "Characteristics of a single-mode optical fibre and cable"
- [7] J. Potet et al., "Assessment of an SOA for Burst Mode Pre-Amplification in Higher Speed PON reaching 30dB of Optical Budget," 2021 Optical Fiber Communications Conference and Exhibition (OFC), San Francisco, CA, USA, 2021, pp. 1-3.
- [8] J. Potet et al., "Expérimentation d'un amplificateur à semiconducteur et d'une amplificateur à fibre sur le lien montant du Higer Speed-PON", Optique 2021, Club JNOG, Dijon, France