SIMULATION ET MESURE D'UN SYSTÈME DE TRANSMISSION CO-OFDM EMPLOYANT DES AMPLIFICATEURS OPTIQUES À SEMI-CONDUCTEURS

Hamidreza Khaleghi, Pascal Morel, Ammar Sharaiha, Thierry Rampone

▶ **To cite this version:**

Hamidreza Khaleghi, Pascal Morel, Ammar Sharaiha, Thierry Rampone. SIMULATION ET MESURE D'UN SYSTÈME DE TRANSMISSION CO-OFDM EMPLOYANT DES AMPLIFICATEURS OPTIQUES À SEMI-CONDUCTEURS. 32-èmes Journées Nationales d'Optique Guidée (JNOG), Jul 2012, Lyon, France. pp.999. hal-00750485

HAL Id: hal-00750485

https://hal.univ-brest.fr/hal-00750485

Submitted on 10 Nov 2012

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.

SIMULATION ET MESURE D'UN SYSTÈME DE TRANSMISSION CO-OFDM EMPLOYANT DES AMPLIFICATEURS OPTIQUES À SEMI-CONDUCTEURS

Hamidreza Khaleghi, Pascal Morel, Ammar Sharaiha, Thierry Rampone

UEB, École Nationale d'Ingénieurs de Brest (ENIB), Lab-STICC, UMR CNRS 6285, CS 73862, 29238 Brest Cedex 3, France
khaleghi@enib.fr

RÉSUMÉ

Dans cette communication, un modèle numérique d'amplificateurs optiques à semi-conducteurs (SOA) est validé expérimentalement en termes de non-linéarités des SOA, en particulier le facteur de couplage phase-amplitude α_H et le mélange à quatre ondes (FWM). Ce modèle a été utilisé ensuite dans une chaîne de simulation d'un système OFDM Optique Cohérent (CO-OFDM) en présence d'un signal amplifié par un SOA ayant un débit efficace des données de 10,94 Gb/s. Les valeurs de l'amplitude du vecteur d'erreur (EVM : *Error Vector Magnitude*) obtenues par la simulation ont été validées expérimentalement pour une large plage de puissances et de longueurs d'onde.

MOTS-CLEFS : *Amplificateur optique à semi-conducteur (SOA) ; Couplage phase-amplitude ; OFDM Optique Cohérent ; Mélange à quatre ondes (FWM)*

1. INTRODUCTION

Avec l'augmentation du débit de données, les systèmes de transmission optique ont tendance à utiliser des amplificateurs optiques ayant une large bande passante optique, comme l'amplificateur optique à semi-conducteurs (SOA), et également à employer des techniques de transmission avancés, telle que la technique CO-OFDM (*Coherent Optical-Orthogonal Frequency Division Multiplexing)* pour s'affranchir de la dispersion du canal optique et aussi pour améliorer l'efficacité spectrale.

Cependant, le comportement fortement non linéaire des SOA peut avoir un impact défavorable sur la qualité de réception des signaux amplifiés. Cet impact devient plus important lorsque de nouveaux formats de modulation tels que le CO-OFDM sont utilisés [1].

Dans cette communication, nous présentons un modèle de SOA intégré dans une plate-forme de simulation CO-OFDM qui a été validé expérimentalement du niveau du composant jusqu'au niveau du système. Nous montrons d'abord la capacité de notre modèle du SOA à simuler les principales non-linéarités des SOA affectant les modulations à multi-porteuses, en particulier le facteur de couplage phase-amplitude (facteur α_H) et le mélange à quatre ondes (FWM). Puis, nous comparons les performances du système en présence d'un signal CO-OFDM amplifié, par mesure et par simulation, en fonction de l'amplitude du vecteur d'erreur (EVM : *Error Vector Magnitude*) sur une large plage de puissances et de longueurs d'onde.

2. VALIDATION EXPÉRIMENTALE DES PRINCIPAUX PARAMÈTRES DU SOA

Le modèle de SOA utilisé dans cette étude est un modèle temporel large bande [2]. Il a été validé pour un SOA commercial massif (INPHENIX-IPSAD1501), ayant un gain optique de 19 dB à 1510 nm. Les Figures 1(a) et 1(b) représentent, à la fois par simulation et par mesure, le gain optique, le facteur de bruit NF (Figure 1(a)), la puissance de saturation à la sortie et le facteur α_H (Figure 1(b)) en fonction de la longueur d'onde sur une large bande passante optique.

Le FWM dans le SOA est un paramètre crucial à prendre en compte pour l'OFDM. Les résultats de mesure et les simulations numériques en fonctions de l'intervalle de fréquence et la puissance d'entrée du SOA sont présentés respectivement sur les Figures 1(c) et 1(d). Nous trouvons

aussi un bon accord entre les résultats de mesure et de simulation. La modélisation du facteur α_H et du FWM est décrite en détail dans [2-4].

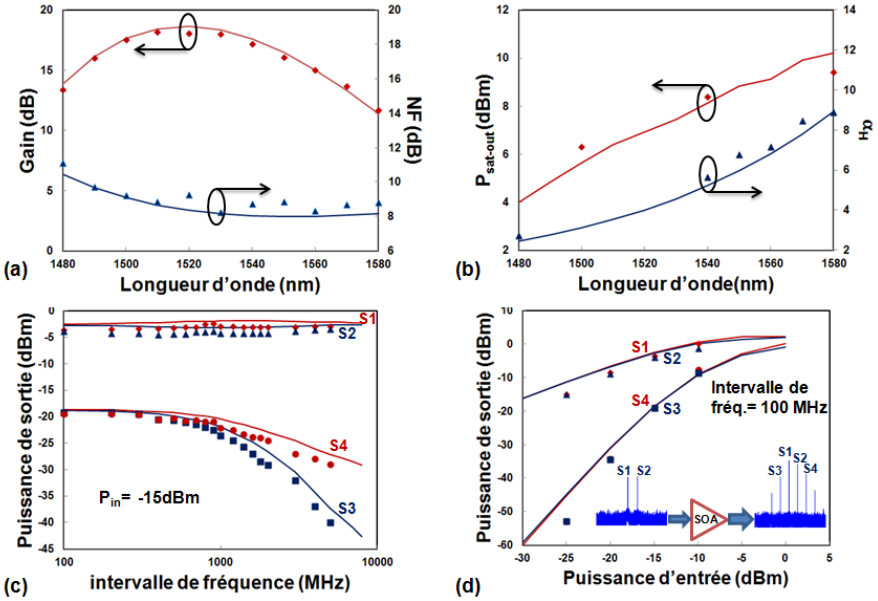

Figure 1 : Mesures (points) et simulations (traits continus) (a) Gain optique et NF ; (b) Facteur de couplage phase-amplitude (α_H) et Puissance de saturation à la sortie du SOA en fonction de la longueur d'onde. (c) et (d) FWM en fonction de l'intervalle de fréquence (c) et de la puissance d'entrée (d) à la longueur d'onde de 1540 nm. Le courant de polarisation est de 200 mA.

3. RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX ET SIMULATIONS D'UN SYSTÈME CO-OFDM

Le banc de mesure expérimental réalisé pour un système de transmission CO-OFDM est montré sur la Figure 2. Il a la même configuration que pour la simulation. Les signaux OFDM sont émis à l'aide d'un générateur des signaux arbitraires (AWG) à 2 canaux, I et Q. Le signal OFDM comporte 128 sous-porteuses, dont 80 sous-porteuses sont utilisées pour le transport de l'information des données, 4 pilotes pour l'estimation de canal et les sous-porteuses restantes sont mises à zéro en vue d'établir une bande de garde. En outre, un huitième de la durée du symbole est défini comme un intervalle de garde (CP : *Cyclic Prefix*) dans le domaine temporel pour éviter l'interférence entre symboles (ISI) et aider à la synchronisation. Le débit efficace des données est de 10,94 Gb/s, contenu dans une bande passante de 6,25 GHz. Le format de modulation QPSK est utilisé pour mapper les données sur les sous-porteuses. Les sorties I et Q de l'AWG sont appliquées à un modulateur IQ optique. Le signal CO-OFDM est amplifié par un SOA et est détecté par un récepteur cohérent suivi d'un analyseur de modulation optique d'Agilent Technologies. Dans cette étude, la liaison de transmission ne comprend qu'un SOA afin de se concentrer sur l'influence de ce dernier sur le signal OFDM.

Sur la Figure 3(a) les EVM mesurés et simulés sont représentés en fonction de la puissance d'entrée du SOA pour les signaux QPSK mono-porteuse et QPSK CO-OFDM à une longueur d'onde de 1540 nm. En outre, leurs constellations calculées et expérimentales sont données pour une puissance moyenne d'entrée optique de -10 dBm. À faible puissance, l'EVM est dégradée à cause du bruit de l'ASE, tandis qu'à forte puissance, l'EVM est dégradé en raison des effets non linéaires, en particulier l'auto-modulation de la phase (SPM) pour le signal QPSK et le FWM pour le signal QPSK CO-OFDM. L'EVM égal à 32% correspond à un taux d'erreur binaire (BER) de 10^{-3} en supposant une modulation QPSK et une distribution gaussienne [3].

Nous avons validé aussi notre modèle en fonction de la longueur d'onde (Figure 3(b)). Les figures 3(a) et 3(b) montrent la pertinence de notre plate-forme de simulation pour simuler sur une large bande-passante et une grande plage de puissance d'entrée. L'analyse détaillée des données obtenues a été donné en [4] et [5].

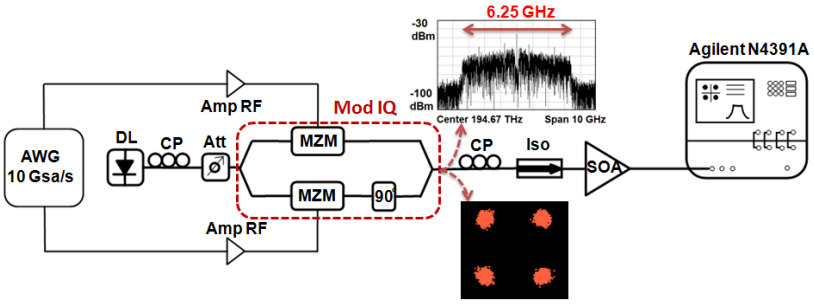

Figure 2 : Banc de mesure expérimental de notre système CO-OFDM. DL : Diode laser, CP: contrôleur de polarisation, Att: Atténuateur, MZM: modulateur Mach-Zehnder, Iso: Isolateur.

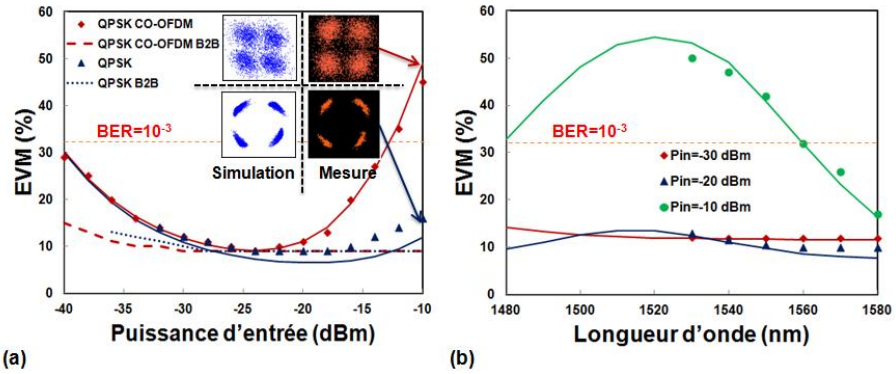

Figure 3 : (a) EVM simulée (ligne continu) et mesurée (points) et constellations du signal reçu en fonction de la puissance d'entrée SOA pour des signaux QPSK et QPSK CO-OFDM à la longueur d'onde de 1540 nm (b) EVM d'un signal QPSK CO-OFDM simulé (ligne continu) et mesuré (points) en fonction de la longueur d'onde pour trois puissances injectées dans le SOA (-30, -20, -10 dBm). Le courant de polarisation est de 200 mA. B2B: Back-to-Back (même chaîne de transmission mais sans le SOA).

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans ce travail, nous avons numériquement et expérimentalement étudié la possibilité d'utiliser un SOA pour amplifier un signal CO-OFDM. La capacité de notre modèle SOA à simuler les principaux paramètres d'un SOA, en particulier le facteur de couplage phase-amplitude et le mélange à quatre ondes, est présenté avec une comparaison avec les résultats expérimentaux. Un bon accord a également été obtenu entre les résultats simulés et mesurés du système par l'évaluation de l'EVM d'un signal CO-OFDM optique amplifié, avec un débit de données de 10,94 Gb/s, en fonction de la puissance d'entrée du SOA et de la longueur d'onde du signal.

Ce travail est soutenu par le CPER PONANT, le FEDER et partiellement par l'ANR dans le cadre du projet UltraWIDE (ANR 2010 VERS 011 06)

RÉFÉRENCES

[1] W. Shieh, I. Djordjevic, "OFDM for Optical Communications", 1st ed., Academic Press, 2009.

[2] P. Morel, A. Sharaiha, "Wideband Time-Domain Transfer Matrix Model Equivalent Circuit for Short Pulse Propagation in Semiconductor Optical Amplifiers", *Journal of Quantum Electronics*, vol. 45, no. 2, pp. 103-116, February 2009.

[3] R. Schmogrow, *et al.*, "Error Vector Magnitude as a Performance Measure for Advanced Modulation Formats," *IEEE Photon. Tech. Lett.*, vol. 24, no. 1, pp. 61-63, Jan. 2012.

[4] H. Khaleghi, P. Morel, A. Sharaiha, T. Rampone, and M. Guégan, "Numerical analysis of SOA performance over a wide optical bandwidth in a CO-OFDM transmission system," *J. Optical and Quantum Electronics*, Dec. 2011, DOI: 10.1007/s11082-011-9520-5.

[5] H. Khaleghi, A. Sharaiha, T. Rampone, P. Morel, and M. Guégan, "Semiconductor Optical Amplifiers in Coherent Optical-OFDM Systems," *IEEE Photon. Tech. Lett.*, vol. 24, no. 7, pp. 560-562, April 2012.