



**HAL**  
open science

# SIMULATION D'UNE CHAÎNE DE TRANSMISSION DE SIGNAUX OPTIQUES OFDM AMPLIFIÉS PAR DES SOA POUR DES SYSTÈMES À RÉCEPTION COHÉRENTE

Hamidreza Khaleghi, Pascal Morel, Thierry Rampone, Ammar Sharaiha,  
Mikael Guegan

► **To cite this version:**

Hamidreza Khaleghi, Pascal Morel, Thierry Rampone, Ammar Sharaiha, Mikael Guegan. SIMULATION D'UNE CHAÎNE DE TRANSMISSION DE SIGNAUX OPTIQUES OFDM AMPLIFIÉS PAR DES SOA POUR DES SYSTÈMES À RÉCEPTION COHÉRENTE. 29èmes Journées Nationales d'Optique Guidée, Oct 2010, Besançon, France. pp.349. hal-00533569

**HAL Id: hal-00533569**

**<https://hal.univ-brest.fr/hal-00533569>**

Submitted on 7 Nov 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.

# SIMULATION D'UNE CHAÎNE DE TRANSMISSION DE SIGNAUX OPTIQUES OFDM AMPLIFIÉS PAR DES SOA POUR DES SYSTÈMES À RÉCEPTION COHÉRENTE

Hamidreza Khaleghi, Pascal Morel, Thierry Rampone, Ammar Sharaiha, Mikael Guégan

ENIB / RESO ; UEB, CS 73862, 29238 Brest cedex 3, France.

Courriel: khaleghi@enib.fr

## RÉSUMÉ

Dans cette communication, nous présentons une technique de co-simulation pour analyser l'influence des non-linéarités des SOA sur l'amplification de signaux optiques OFDM dans une chaîne de transmission à réception cohérente. Cette plateforme de simulation permet en outre d'étudier l'amplification de plusieurs formats de modulations optiques complexes de la porteuse optique.

**MOTS-CLEFS :** *Amplificateur optique à semi-conducteurs (SOA) ; OFDM Optique Cohérent ; Co-Simulation ; Non-linéarité ; Mélange à quatre ondes (FWM).*

## 1. INTRODUCTION

L'OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) a été récemment proposé comme un format de modulation sophistiqué pour la transmission optique longue distance à haut débit en raison de sa robustesse contre la dispersion du canal et de sa capacité à estimer aisément le canal [1]. La technique de détection cohérente est utilisée afin de maximiser l'efficacité spectrale. À cet égard, le CO-OFDM (*Coherent Optical OFDM*) est une technologie envisagée pour la transmission optique à haut débit. Toutefois, le CO-OFDM présente des inconvénients intrinsèques, comme un PAPR (*Peak-to-Average Power Ratio*) élevé et une sensibilité au bruit de phase.

En particulier, le PAPR élevé pose potentiellement un défi pour les éléments non linéaires qui peuvent dégrader les performances de transmission. Par conséquent, une étude complète de l'influence de chaque élément sur la ligne de transmission est essentielle. L'impact de certains éléments non-linéaires a déjà été étudié [1, 2, 3].

Dans ce qui suit, nous nous intéressons aux non-linéarités introduites par l'amplification optique à base d'amplificateur optique à semi-conducteurs (SOA) influençant les systèmes CO-OFDM. Nous présentons une technique originale de co-simulation développée pour cette étude ainsi que des résultats de simulations de transmission CO-OFDM à 100 Gb/s.

## 2. PRINCIPE ET RÉSULTATS DE SIMULATION

Pour simuler une chaîne de transmission CO-OFDM intégrant un SOA, nous utilisons un modèle de SOA développé sous le logiciel ADS<sup>TM</sup> d'Agilent Technologies au laboratoire RESO de l'ENIB [4]. Notre modèle de SOA est réalisé dans le domaine dit « en bande de base » et permet de simuler les effets des non-linéarités du SOA comme l'auto-modulation du gain (SGM), la modulation croisée du gain (XGM), l'auto-modulation de la phase (SPM), la modulation croisée de la phase (XPM) et le mélange à quatre ondes (FWM). La modélisation du système CO-OFDM est effectuée en utilisant le logiciel VPItransmissionMaker<sup>TM</sup>. Pour concevoir une plate-forme complète, nous utilisons la co-simulation entre ADS et VPI ce qui permet d'étudier d'autres architectures et divers formats de modulations. La Figure 1 présente le concept de cette co-simulation.

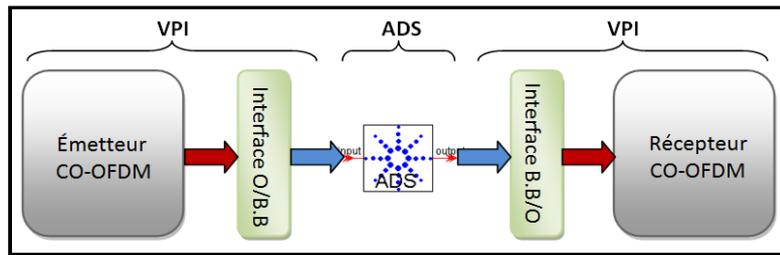


Figure 1 : Principe de Co-Simulation VPI-ADS. O/B.B : Optique-Bande de Base.

Le signal CO-OFDM, présentant un débit de données de 100 Gb/s est formé par 4, 32 ou 128 sous-porteuses ayant chacune un format de modulation QPSK. Il est émis puis détecté après avoir traversé le SOA. Le modèle de SOA simule un SOA massif de gain optique 20 dB à 1540 nm. Pour se concentrer sur l'influence du SOA sur le signal OFDM, nous supposons que le modulateur et le démodulateur sont idéaux et toutes les sources de bruit, sauf l'émission spontanée amplifiée (ASE) générée par le SOA, sont négligées. On considère en première approximation que la distribution de l'ASE est gaussienne. La densité de puissance du bruit est calculée pour chaque échantillon de signal en raison de la fluctuation importante de la puissance du signal OFDM dans le temps.

Pour évaluer les performances du signal reçu, nous étudions l'EVM (*Error Vector Magnitude*). La Figure 2 montre les tracés de l'EVM et les constellations en fonction de la puissance optique moyenne à l'entrée du SOA pour 4, 32 et 128 sous-porteuses. Nous pouvons constater la dégradation de l'EVM lorsque la puissance d'entrée est très faible. Ceci est dû à l'ASE qui est dominante pour des faibles puissances. L'influence de l'ASE est diminuée par l'augmentation de la puissance du signal ce qui induit une amélioration de l'EVM et de la qualité de la constellation. Un EVM minimal de l'ordre de 10,5 % est obtenu pour un EVM B2B (liaison directe sans amplification) de 0,7 % et une puissance optique de -31 dBm à l'entrée du SOA. L'augmentation de cette puissance participe à la dégradation de l'EVM due à la non-linéarité du SOA. Nous pouvons constater que l'EVM n'est pas dégradé de la même façon suivant le nombre de sous-porteuses employées. Ceci est lié en premier lieu à l'impact du FWM comme nous le montrerons dans la suite.

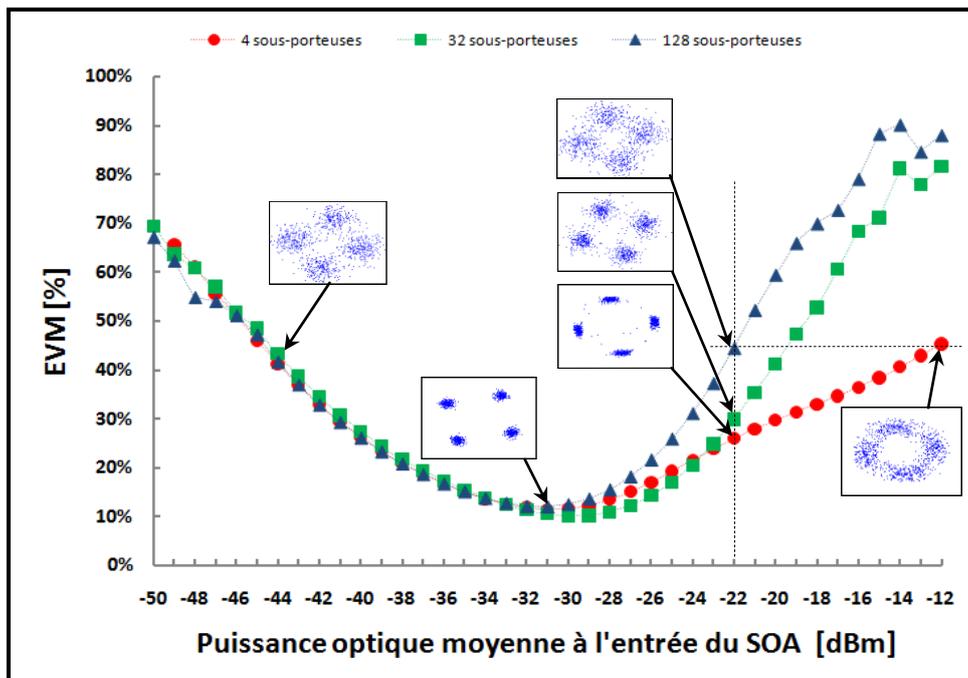


Figure 2 : EVM et constellations du signal détecté pour un signal QPSK CO-OFDM comportant 4, 32 et 128 sous-porteuses.

L'observation des constellations sur la Figure 2 nous permet de constater la dégradation du signal en fonction de l'évolution de la puissance optique moyenne à l'entrée du SOA et du nombre de sous-porteuses utilisé. Pour 4 sous-porteuses nous constatons que l'effet de l'auto-modulation et de la modulation croisée de la phase (SPM, XPM) dégradent la constellation lorsque la puissance injectée à l'entrée du SOA augmente au-delà d'un niveau de l'ordre de -30 dBm. En revanche, en augmentant le nombre de sous-porteuses, le FWM devient l'effet dominant. Pour analyser l'influence du FWM nous utilisons un signal avec 2 sous-porteuses non modulées ayant un écart fréquentiel de 12,5 GHz (Figure 3(a)), 1,6 GHz (Figure 3(b)) et 400 MHz (Figure 3(c)) qui correspondent respectivement à l'intervalle entre les deux sous-porteuses voisines d'un signal QPSK OFDM avec 4, 32 et 128 sous-porteuses à un débit de données de 100 Gb/s. La puissance optique injectée à l'entrée du SOA est égale à -22 dBm (cf. Figure 2). Les résultats obtenus montrent que l'effet et les niveaux du FWM deviennent importants lorsque l'écart entre les deux sous-porteuses diminue. Ceci impose la limite du nombre de sous-porteuses utilisées pour un signal CO-OFDM.

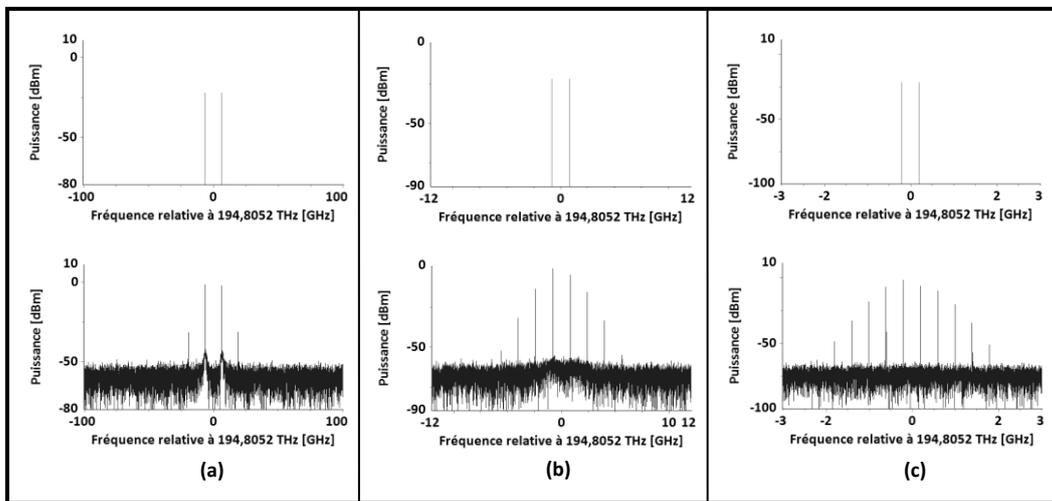


Figure 3 : Spectres du signal CO-OFDM avec 2 sous-porteuses en entrée (haut) et en sortie (bas) du SOA pour une puissance injectée égale à -22 dBm et trois écarts fréquentiels respectivement de 12,5 GHz (a), 1,6 GHz (b), 400 MHz (c). 194,8052 THz correspond à 1540 nm.

### CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Ce travail présente une introduction à l'OFDM optique. Nous avons évalué, en utilisant une nouvelle technique de co-simulation, la performance du signal CO-OFDM en présence d'un SOA utilisé comme amplificateur en ligne dans le système. Nous avons montré que l'ASE et les effets des non-linéarités du SOA (SPM, XPM et FWM), limiteront d'une part la plage de puissance injectée à l'entrée du SOA pour un EVM maximal fixé et d'autre part le nombre de sous-porteuses du signal OFDM utilisables.

### RÉFÉRENCES

- [1] W. Shieh, I. Djordjevic, "OFDM for Optical Communications", 1st ed., Academic Press, 2009.
- [2] D. J. Fernandes, B. and J. Kahn, "Optical Modulator Optimization for Orthogonal Frequency-Division Multiplexing", *Journal of Lightwave Technology*, vol. 27, no. 13, pp. 2370-2378, July 2009.
- [3] A. J. Lowery, L. Banguan Du, and J. Armstrong, "Performance of Optical OFDM in Ultralong-Haul WDM Lightwave Systems", *Journal of Lightwave Technology*, vol. 25, no. 1, pp. 131-138, January 2007.
- [4] 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.