



**HAL**  
open science

# ANALYSE THÉORIQUE DE L'INFLUENCE DES SOA EN PRÉSENCE DE SIGNAUX OPTIQUES OFDM DANS LES SYSTÈMES DE TRANSMISSION A RÉCEPTION COHÉRENTE

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

► **To cite this version:**

Hamidreza Khaleghi, Pascal Morel, Thierry Rampone, Mikael Guegan, Ammar Sharaiha. ANALYSE THÉORIQUE DE L'INFLUENCE DES SOA EN PRÉSENCE DE SIGNAUX OPTIQUES OFDM DANS LES SYSTÈMES DE TRANSMISSION A RÉCEPTION COHÉRENTE. Séminaire PONANT 2010, Jul 2010, RENNES, France. pp.55. hal-00503266

**HAL Id: hal-00503266**

**<https://hal.univ-brest.fr/hal-00503266>**

Submitted on 18 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.

# ANALYSE THEORIQUE DE L'INFLUENCE DES SOA EN PRESENCE DE SIGNAUX OPTIQUES OFDM DANS LES SYSTEMES DE TRANSMISSION A RECEPTION COHERENTE

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

ENIB / RESO ; UEB, CS 73862, 29238 Brest cedex 3, France.  
Tel: +33 2 98 05 66 37, courriel: sharaiha@enib.fr

## RÉSUMÉ

Dans ce travail, nous étudions théoriquement et par simulation l'influence des non-linéarités des SOA sur l'amplification de signaux optiques OFDM dans le cadre des systèmes de transmission à réception cohérente. Nous présentons l'environnement logiciel de co-simulation développé pour cette étude à la fois pour l'émission et pour la réception. 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.*

## 1. INTRODUCTION

La modulation OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) est un format spécial de modulation multi-porteuses où les données sont reportées sur de nombreuses sous-porteuses orthogonales. Depuis plus d'une décennie, l'OFDM s'emploie comme une technique de modulation de premier plan dans le domaine radiofréquence (RF) [1]. Récemment, un équivalent optique de RF-OFDM a été proposé pour s'affranchir de la dispersion du canal optique [2]. L'intérêt d'utiliser l'OFDM optique s'avère important pour des applications à longue distance. Les deux architectures proposées sont DDO-OFDM (*Direct-Detection Optical - OFDM*) et CO-OFDM (*Coherent Optical - OFDM*). Le CO-OFDM présente de bonnes performances vu la sensibilité du récepteur, l'efficacité spectrale et la robustesse contre la dispersion de polarisation, mais induit une plus grande complexité dans la conception des émetteurs-récepteurs que l'architecture DDO-OFDM [2].

Dans ce qui suit, nous nous intéressons à l'influence des non-linéarités de l'amplificateur optique à semi-conducteurs (SOA) sur les systèmes CO-OFDM. Nous montrons tout d'abord le principe de transmission CO-OFDM, nous présentons ensuite un outil original de co-simulation développé pour cette étude et les résultats de simulations de transmission CO-OFDM à 100 Gb/s.

## 2. RESULTATS 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 [3]. Notre modèle de SOA est réalisé dans le domaine dit « en bande de base » et simule 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.

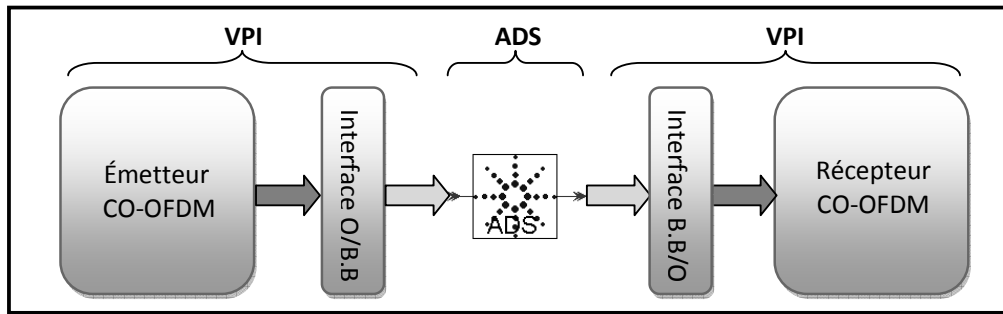


Figure 1 : Principe de Co-Simulation VPI-ADS. O/B.B : Optique-Bande de Base.

Le signal CO-OFDM, généré sous VPI, est transféré automatiquement au simulateur ADS, via une interface optique-bande de base développée dans le cadre de ce travail et une interface de co-simulation de VPI. Ce signal est injecté à l'entrée du SOA. Après avoir simulé le SOA sous ADS, le signal obtenu à sa sortie est envoyé vers VPI avec une procédure inverse à celle mise en œuvre à l'entrée. Ce signal est détecté et analysé par un récepteur cohérent et des outils d'analyse de signaux proposés par VPI.

Le signal CO-OFDM, présentant un débit de données de 100 Gb/s est formé par 128 sous-porteuses ayant chacune un format de modulation QPSK. Il est émis puis détecté après avoir traversé le SOA. 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 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.

La Figure 2 montre les spectres optiques et les constellations du signal CO-OFDM avant et après avoir traversé le SOA et ceci pour trois puissances optiques injectées (-44 dBm, -31 dBm, -22 dBm). Nous pouvons constater que la dégradation du spectre et la déformation de la constellation sont dues d'une part à l'ASE pour des faibles puissances injectées, -44 dBm, et d'autre part à la non linéarité du SOA pour des fortes puissances injectées, -22 dBm.

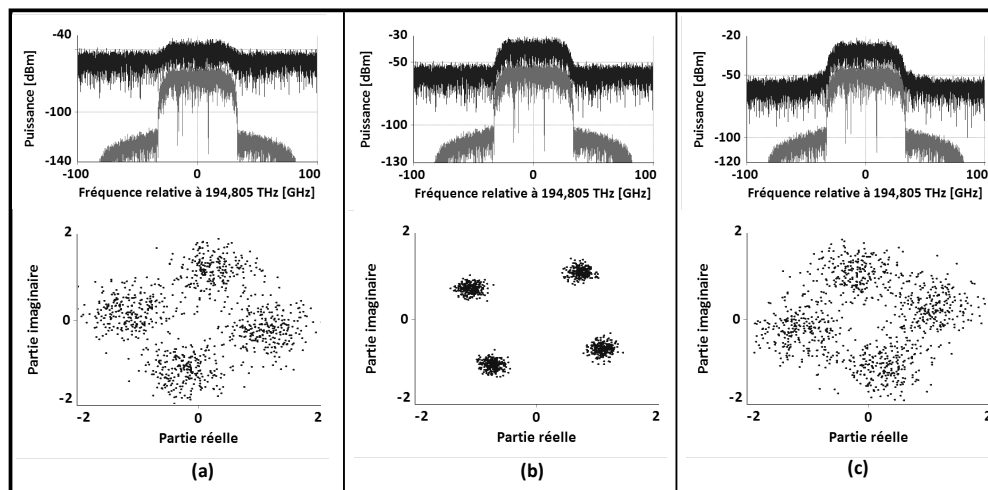


Figure 2 : Spectres du signal QPSK CO-OFDM en entrée (gris) et en sortie (noir) du SOA et constellations du signal détecté pour trois puissances injectées de : (a) -44 dBm (b) -31 dBm (c) -22 dBm.

Le FWM est l'une des non-linéarités importantes qui peut dégrader les performances des signaux multi-porteuses. La Figure 3(a) montre un signal avec 2 sous-porteuses non modulées ayant un écart fréquentiel de 12,5 GHz (correspondant à l'intervalle entre les deux sous-porteuses voisines d'un signal QPSK OFDM avec un débit de données de 100 Gb/s et 4 sous-porteuses) et une puissance optique injectée à l'entrée du SOA égale à -31 dBm (cas de la Figure 2(b)). Pour ce point de fonctionnement, l'effet du FWM à la sortie du SOA n'a pas pu être identifié. Pour un écart fréquentiel identique (12,5 GHz), l'augmentation de la puissance optique injectée (-22 dBm cas de la Figure 2(c)) fait apparaître des raies dues à l'effet du FWM (cf. Figure 3(b)). Cet effet apparaît également avec la réduction de l'écart entre les deux sous-porteuses (400 MHz correspondant à l'intervalle entre les deux sous-porteuses voisines d'un signal QPSK OFDM avec un débit de données de 100 Gb/s et 128 sous-porteuses) pour une puissance de -31 dBm comme le montre la Figure 3(c). Nous pouvons constater que le FWM limitera d'une part la plage de la puissance injectée à l'entrée du SOA et d'autre part le nombre de sous-porteuses du signal OFDM.

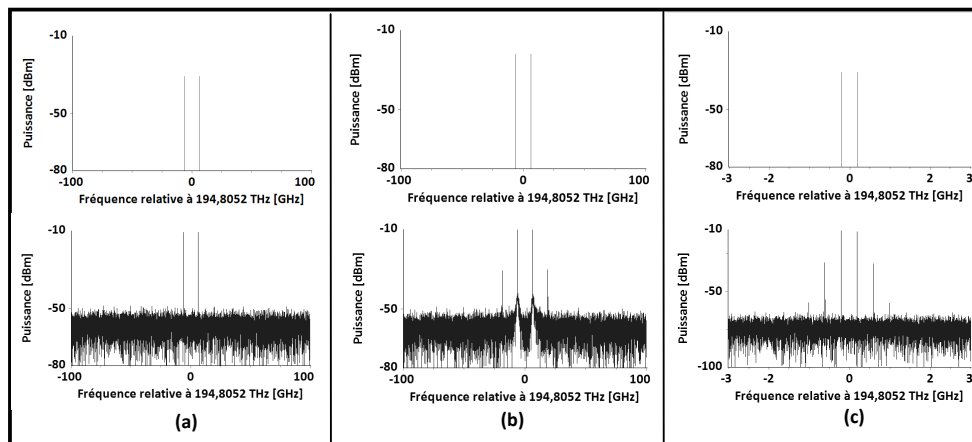


Figure 3 : Spectres du signal OFDM avec 2 sous-porteuses en entrée (haut) et en sortie (bas) du SOA pour une puissance injectée et un écart fréquentiel respectivement de : (a) -31 dBm et 12,5 GHz, (b) -22 dBm et 12,5 GHz, (c) -31 dBm et 400 MHz.

### CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Nous avons évalué dans ce travail la dégradation d'un signal CO-OFDM en présence d'un SOA utilisé comme amplificateur en ligne dans le système grâce au développement d'un outil de co-simulation VPI-ADS. Nous avons montré l'influence du mélange à quatre ondes généré par le SOA et de l'ASE sur le spectre et la constellation du signal CO-OFDM.

Le travail suivant consiste à analyser l'influence du nombre de sous-porteuses OFDM en tenant compte des imperfections de la ligne de transmission.

### REFERENCES

- [1] W. Shieh, I. Djordjevic, "OFDM for Optical Communications", 1st ed., Academic Press, 2009.
- [2] W. Shieh, H. Bao, et Y. Tang, "Coherent optical OFDM: theory and design", *Optics Express*, vol.16, no. 2, pp. 841-859, Jan. 2008.
- [3] P. Morel and A. Sharaiha, "Wideband Time-Domain Transfer Matrix Model Equivalent Circuit for Short Pulse Propagation in Semiconductor Optical Amplifiers", *IEEE Journal of Quantum Electronics*, vol. 45, no. 2, pp. 103 - 116, Feb. 2009.