



**Sujet de stage Ingénieur ou M2 recherche
(Master degree internship) :**

« Modélisation et simulation des non-linéarités de photodiode pour circuits intégrés photoniques sur plateforme Silicium »

“Photodiode non linearities simulation and modelling for Silicon Photonic Integrated Circuits”

Contexte :

Les circuits photoniques intégrés sont en plein essor pour répondre à la demande du très haut débit. Les architectures de communication optique longues distances et le concept du big data (ou data center) ont été les précurseurs dans cette avancée technologique. D'autres systèmes comme la Radio-over-Fiber (RoF) ont bénéficié des avancées technologiques des communications optiques et sont déployés grâce aux caractéristiques intéressantes de la fibre optique monomode (faible atténuation linéique et transparence aux modulations transmises) pour la couverture des signaux radio. L'enjeu ici est désormais d'étudier des futures architectures RoF reposant sur de nouveaux composants optiques intégrés en technologie hétérogène III-V sur silicium comme les diodes laser ou photodiode ou en technologie Silicium comme les guides d'ondes, le modulateur de phase, les amplificateurs optiques SOA, les filtres optiques, ou les photodiodes à Germanium.

Ce stage s'inscrit dans le cadre des activités du laboratoire relatives à l'étude des liaisons radio-sur-fibre pour la transmission de formes d'ondes 5G. Différents travaux au sein du laboratoire ont permis de développer des modèles complets de composants photoniques-microondes de liaisons RoF sur fibre optique (diode laser, fibre optique and SOA) sur le logiciel ADS. Des simulations de liaisons RoF confortées par des caractérisations expérimentales et des mesures de la qualité de transmission de signaux transmis ont démontré la validité des modèles développés. Un modèle de photodiode simple est utilisé jusqu'à présent pour simuler ces architectures. Dans l'optique de simuler des liaisons pour circuits intégrés photoniques, il est désormais nécessaire de développer un nouveau modèle électrique de photodiode en prenant en compte les effets non linéaires de l'étage de détection.

Photonics Integrated Circuits (PICs) are fast-growing for very high data rate applications. Long distance optical communication architectures and data centers are quite pioneering in the development and progress of these future technologies. Other systems such as Radio-over-Fiber (RoF) benefit from technological progress in optical communications but also from the high performances of the single-mode optical fiber (SMF) such as low attenuation and transparency to complex modulation scheme. The main issue of this work is to study new RoF architectures

designed with Silicon Photonics components such as optical waveguide, phase modulator, optical amplifier (SOA) and optical filters.

This work is part of Esycom Lab research activities on Radio-over-Fiber for 5G communication systems such as Fronthaul. Esycom Labs has developed large signal and noisy electrical models of microwave-photonics components used in RoF links such as laser diode, optical fiber and SOA. RoF systems, transmitting high-level modulation schemes, simulations validated the developed electrical models compared to the measurements. A first photodiode electrical model has been developed at ESYCOM. Nevertheless, it is small signal and it needs to be improved in order to simulate photonic integrated circuit links, and more particularly to include the photodiode non linearities effects.

Objectifs du stage :

L'objectif du stage est de proposer une modélisation fine en bruit et non linéarité d'une photodiode intégrée qui pourrait ensuite être adaptée pour les photodiodes intégrées en technologie hétérogène III-V sur Si d'une part ou en Germanium intégrée sur Si d'autre part pour les futures générations d'architectures fronthaul de haute densité. Ces composants optiques intégrés sont une solution alternative et rentable pour le segment « fronthaul » des systèmes de télécommunications de type 5G, permettant une mobilité accrue à un débit très élevé. Les composants intégrés sur silicium à l'état de l'art et développés au sein du CEA-Leti et du III-V Lab ont, pour certains, des performances stabilisées et prévisibles, permettant une modélisation fiable de systèmes complexes [1], [2], [3], [4]. Pour d'autres composants comme la Photodiode Germanium, cet outil de modélisation prédictif devrait être une aide au service de la technologie pour améliorer ses performances.

Les modèles de photodiode développés au cours de ce stage permettront de simuler des liaisons complètes de ce segment fronthaul. Le sujet se focalise sur la modélisation électrique de photodiode pour deux technologies différentes en s'appuyant sur les travaux précédents de modélisation et simulation d'Esycom [5], [6]. Les attendus du stage peuvent être répartis selon les étapes suivantes :

- Etude bibliographique de modélisation de photodiode.
- Modélisation électrique des effets non linéaires de photodiode standard [7], [8].
- Evolution du modèle pour les photodiodes intégrées.
- Simulation d'architecture avec le nouveau modèle développé de photodiode pour le segment Fronthaul avec le logiciel ADS.

The modelling of the photodiode allows the simulation of a complete Fronthaul segment. The subject focuses on the electrical modelling of photodiode for two different technologies developed at Esycom Lab [5], [6]. The key points are:

- *Bibliography study of modeling of photodiode [7], [8].*
- *Non linearities of electrical modeling of integrated photodiode*
- *Evolution of the model to fit for integrated photodiode.*
- *Simulation of architecture with new model developed of photodiode for the Fronthaul segment with the electrical simulator ADS.*

Candidate profile :

M2 ou dernière année de diplôme d'ingénieur en électronique, physique appliquée, ayant des bases en optoélectronique, microondes, circuits intégrés et systèmes de communications. Des connaissances et une première expérience sur des logiciels de CAO (ADS), Matlab, programmation en C.

MSc degree in electronics, microwaves and photonics, applied physics, physics of components candidates can postulate on this internship. Skills in optoelectronics, communication systems and integrated components are better. Experience and knowledge on CAD software such as ADS, Matlab, C.

Contact :

Catherine Algani : catherine.algani@lecnam.net (professeur des universités ESYCOM)

Anne-Laure Billabert: anne-laure.billabert@lecnam.net (maître de conférences HDR ESYCOM)

Sali Faci : salim.faci@lecnam.net (maître de conférences ESYCOM)

Laboratoire ESYCOM / ED MSTIC :

Le laboratoire ESYCOM s'inscrit dans les domaines de l'ingénierie des systèmes de communication, des capteurs et des microsystèmes pour la ville, l'environnement et la personne.

Les thèmes abordés sont plus spécifiquement :

- les antennes et propagation en milieux complexes, les composants photoniques - microondes ;
- les microsystèmes pour l'analyse de l'environnement et la dépollution, pour la santé et l'interface avec le vivant ;
- les micro-dispositifs de récupération d'énergie ambiante mécanique, thermique ou électromagnétique.

Esycom Lab has a strong expertise in the following engineering fields: communication systems, sensors and - Microsystems for the city, the environment and people. Research areas are developed in :

- antennas and propagation in complex environment, microwaves photonics devices,
- microsystems for the environmental and clean-up analysis, the healthcare and interface with living tissues,
- micro-devices for mechanical, thermal and electromagnetic energy harvesting.

References :

[1] <https://mycmp.fr/datasheet/silicon-photonic-ics-si310-phmp2m>

[2] S. Malhouitre, B. Szelag, S. Brision, Q. Wilmart, D. Fowler, C. Dupré, C. Kopp, "Heterogeneous and multi-level integration on mature 25Gb/s silicon photonic platform", IEEE CMPT Symposium, Nov. 2017, Japan, 10.1109/ICSJ.2017.8240122.

- [3] S. Bernabé, T. Ferrotti, B. Ben Bakir, B. Szelag, F. Gays, A. Myko, O. Castany, B. Charbonnier, M. Epitoux, J. Cornelius, J. Coronati, " Integration challenges for Terabit Class Mid Board Photonic Transceivers", IEEE CMPT Symposium, Nov. 2016, Japan, 10.1109/ICSIJ.2016.7801292.
- [4] J. Ramirez, et al. "III-V-on-silicon integration: From hybrid devices to heterogeneous photonic integrated circuits." IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics 26.2 (2019): 1-13.
- [5] W.E. Kassa, S. Faci, A.L. Billabert, L. Menager, S. Formont, C. Algani, "Circuit modeling of phase modulated microwave optical links and performance analysis," Optical and Quantum Electronics, Dec.2017, /10.1007/s11082-017-1230-1.
- [6] E. Moutaly, P. Assimakopoulos, S. Noor, S. Faci, A.L. Billabert, N.J. Gomes, M.L. Diakite, C. Browning, C. Algani, "Phase Modulated Radio-over-Fiber for Efficient 5G Fronthaul", IEEE Journal of Lightwave Technology, vol. 37, n°23, pp. 5821-5832, 10.1109/JLT.2019.2940200, Dec. 2019.
- [7] Zeina Abdallah, Alexandre Rumeau, Arnaud Fernandez, Olivier Llopis, Jérémy Maxin, et al, "Photodiode nonlinear modeling and its impact on optical links phase noise", European Frequency and Time Forum (EFTF), Jun 2014, Neuchâtel, Switzerland. 6p., 2014.
- [8] J. Davila-Rodriguez, X.Xie, J.Zang, C. J. Long, T. M. Fortier, H. Leopardi, T. Nakamura, J. C. Campbell, S. A. Diddams, F. Quinlan "Optimizing the linearity in high-speed photodiodes", Vol. 26, No. 23 | 12 Nov 2018 | Optics express 30532.