



**HAL**  
open science

# Effet des résonances parasites dans les réseaux optiques sur puce avec une topologie en anneau

Alberto Parini, Christophe Peucheret

## ► To cite this version:

Alberto Parini, Christophe Peucheret. Effet des résonances parasites dans les réseaux optiques sur puce avec une topologie en anneau. OPTIQUE Bordeaux 2016 - 36<sup>e</sup> Journées Nationales d'Optique Guidée (JNOG'36), Société Française d'Optique, Jul 2016, Bordeaux, France. hal-01476087

**HAL Id: hal-01476087**

**<https://hal.science/hal-01476087v1>**

Submitted on 2 Mar 2017

**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.

# EFFET DES RESONANCES PARASITES DANS LES RESEAUX OPTIQUES SUR PUCE AVEC UNE TOPOLOGIE EN ANNEAU

Alberto Parini et Christophe Peucheret

Laboratoire FOTON, UMR CNRS 6082, Université de Rennes 1, ENSSAT, 22305 Lannion, France

[alberto.parini@univ-rennes1.fr](mailto:alberto.parini@univ-rennes1.fr)

## RÉSUMÉ

Nous explorons l'effet de résonances parasites qui affectent les fonctions de transfert des chemins optiques dans les réseaux optiques sur puce avec une topologie d'architecture en anneau. Ces résonances engendrent une réduction de la bande passante du système, avec comme conséquence une augmentation des contraintes sur la stabilité des sources lasers par rapport à une topologie de liaison de type point-à-point.

**MOTS-CLEFS :** *Réseaux optiques sur puces, photonique sur silicium, résonateurs en anneaux.*

## 1. INTRODUCTION

Les réseaux optiques sur puce (Optical Networks-on-Chip, ONOCs) sont envisagés comme une solution attractive pour surmonter les besoins croissants en bande passante tout en permettant une meilleure efficacité énergétique des communications dans les futures générations de microprocesseurs avec une architecture de type multi-cœurs [1]. Le développement de la photonique sur silicium a déjà permis la réalisation de nombreux blocs fonctionnels intégrables sur un substrat de type silicium sur isolant (SOI). De plus, la récente démonstration de la fabrication à large échelle de structures photoniques compatible avec une couche de circuiterie microélectronique [2] rend les réseaux optiques sur puce de plus en plus proches de la réalité. Un accroissement du nombre de cœurs interconnectés sur la même puce, ainsi que du débit de transmission dans le réseau, peuvent être obtenus grâce à l'exploitation des mêmes techniques de multiplexage que celles typiquement exploitées pour les transmissions sur fibres optiques, en particulier le multiplexage en longueur d'onde (WDM). Dans ce contexte, les micro-résonateurs en anneaux constituent des dispositifs très versatiles pour des applications de routage sur puce, grâce à leur relative facilité d'intégration sur un support de silicium ainsi qu'à leur capacité intrinsèque de router des signaux de type WDM. Parmi les architectures étudiées dans le domaine des réseaux optiques sur puces, celles avec une topologie en anneau [3,4] permettent à la fois une communication sans conflits entre les différents processeurs, et évitent aussi les croisements entre guides d'onde, qui constituent une source majeure de pertes et de diaphonie. Dans ce type de topologie, un grand anneau central est déployé afin d'interconnecter les différents cœurs, tandis que des micro-résonateurs de taille plus réduite sont utilisés afin de permettre l'insertion et l'extraction des signaux issus ou destinés à chaque cœur. Or, la nature résonante du grand anneau qui connecte les différents cœurs donne lieu à l'apparition de résonances parasites dans les fonctions de transfert qui caractérisent les différents chemins optiques (donc les différents parcours de routage) entre les cœurs du réseau. Ces résonances engendrent une réduction de la bande passante utilisable pour la transmission des signaux, qui se traduit par un besoin de contrôle plus strict de la stabilité des sources laser. L'objectif de cette contribution est d'évaluer, de manière numérique, l'impact de ces résonances parasites sur les performances en termes de taux d'erreur binaire (BER) des transmissions au sein d'une architecture de réseau sur puce en anneau.

## 2. ARCHITECTURE DU RESEAU

L'architecture qui fait l'objet de notre étude est présentée sur la figure 1(a) dans le cas d'une interconnexion entre quatre cœurs ( $c_i, c_j, c_k, c_n$ ), chacun avec une occupation spatiale  $F_p \times F_p$  et disposés selon une structure matricielle de pas  $P_p$ . La topologie peut être élargie afin de connecter un nombre plus élevé de cœurs, comme représenté sur la figure 1(b) dans le cas de  $4 \times 4 = 16$  cœurs.

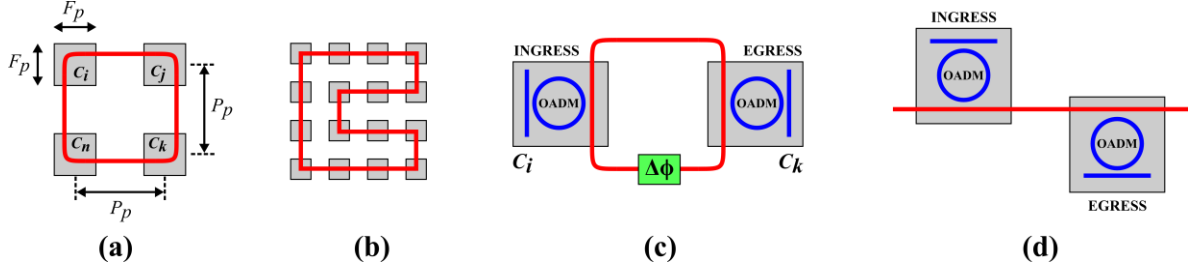


Fig. 1 : Structure du réseau optique en anneau étudiée avec (a)  $2 \times 2$  et (b)  $4 \times 4$  cœurs. (c) Modèle équivalent du chemin optique entre la paire de cœurs  $c_i$  et  $c_k$ . (d) Liaison point-à-point avec une interconnexion ouverte entre deux MRR-OADM.

Le modèle équivalent du chemin optique qui relie deux cœurs du réseau (par exemple  $c_i$  et  $c_k$ ) est présenté sur la figure 1(c). Ce modèle, avec sa structure basée sur de multiples anneaux en cascade, est clairement différent de celui d'une liaison directe de type point-à-point, comme celle représentée sur la figure 1(d). Au sein de chaque cœur, des multiplexeurs d'insertion-extraction utilisant des micro-résonateurs (MRR-OADM) possédant un intervalle spectral libre  $ISL_1$  sont utilisés pour multiplexer les signaux vers l'anneau central d'interconnexion. L'anneau central est lui aussi une structure résonante avec un intervalle spectral libre  $ISL_2$  qui est fonction du nombre de cœurs interconnectés. La position spectrale relative des résonances de l'anneau d'interconnexion par rapport aux résonances des MRR-OADM est fonction d'un facteur de déphasage  $\Delta\phi$  qui, en général, peut présenter une variabilité dans le temps en fonction des dérives thermiques de la puce. La variation de ce facteur  $\Delta\phi$  se traduit par un décalage en fréquence des résonances de l'anneau central par rapport à celles des MRR-OADM.

Dans notre investigation, nous considérons des MRR-OADM avec un intervalle spectral libre  $ISL_1$  de 1600 GHz, ce qui permet d'accommoder 16 longueurs d'onde distinctes sur une grille de pas en fréquence 100 GHz. Nous supposons aussi des pertes de propagation typiques pour une plateforme SOI de 2 dB/cm. Les coefficients de couplage en puissance entre les guides et l'anneau au sein des MRR-OADM sont de 5% avec, par conséquent, une bande passante à 3 dB de  $\sim 47$  GHz, ce qui permet l'utilisation de canaux pouvant être modulé à 10 Gbit/s, voire jusqu'à 40 Gbit/s si nécessaire. Un pas entre les cœurs  $P_p = 5$  mm produit un anneau avec un périmètre de 20 mm dans le cas d'une matrice de  $2 \times 2$  cœurs et de 80 mm pour  $4 \times 4$  cœurs. Ces valeurs correspondent à des  $ISL_2$  de 6 GHz et 1.5 GHz, respectivement. Nous considérons des signaux optiques modulés avec un format de type modulation d'intensité (OOK) avec impulsions non-retour-à-zéro (NRZ). Afin d'évaluer l'impact des résonances de l'anneau central, nous estimons la sensibilité du détecteur au moyen d'une procédure de comptage d'erreurs en fonction du décalage en fréquence  $\Delta\nu$  entre la source laser et la fréquence centrale d'une des résonances des MRR-OADM, ceci pour différentes valeurs du facteur de déphasage  $\Delta\phi$ . Dans la présente étude nous ciblons un taux d'erreur binaire (BER) de  $3.3 \times 10^{-3}$ , compatible avec l'utilisation de codes détecteurs et correcteurs d'erreurs, compte tenu de l'utilisation de la méthode de comptage d'erreurs.

## 3. RESULTATS

Sur la figure 2 nous présentons les fonctions de transfert d'une paire de MRR-OADM dans une configuration en connexion directe (en ligne pointillée noire), ainsi que celles d'un réseau  $2 \times 2$  pour deux valeurs de  $\Delta\phi$  (lignes pointillées rouge et bleu). Les résonances parasites introduites par l'anneau central sont clairement visibles. Par rapport à la topologie d'interconnexion directe

(2×OADM), la pénalité introduite pour un signal à 10 Gbit/s montre des fluctuations qui suivent également les oscillations de la fonction de transfert, et dont la position dépend de la fréquence du laser (paramètre de désaccord en fréquence  $\Delta\nu$ ) et de la valeur  $\Delta\phi$  du déphasage. Une dérive de  $\Delta\phi$  dans le temps (par exemple à cause d'un mauvais contrôle thermique des structures) produit, par conséquent, une variabilité de la pénalité avec, au final, une réduction significative de la bande passante utilisable pour une valeur donnée de cette pénalité.

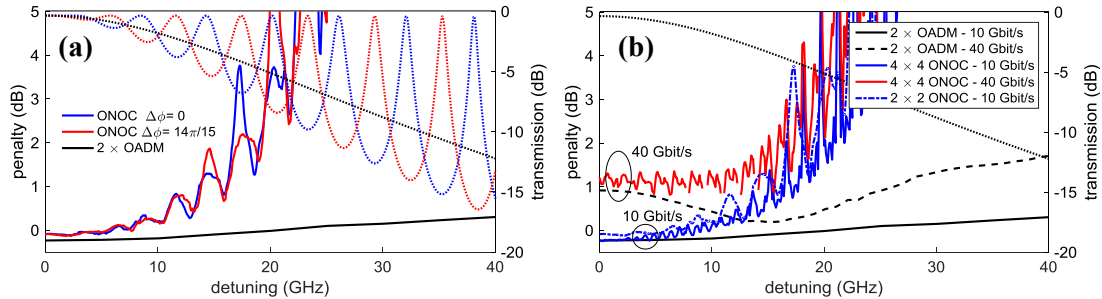


Fig. 2 : (a) Fonctions de transfert d'une paire de MRR-OADM (2×OADM) ainsi que celles d'un réseau en anneau avec 2×2 cœurs pour deux valeurs distincts du déphasage  $\Delta\phi$ . Les pénalités en puissance correspondant aux fonctions de transfert pour une transmission à 10 Gbit/s sont également affichées. (b) Courbes de pénalité en puissance pour une liaison point-à-point (2×OADM) et une topologie en anneau avec 4×4 cœurs à 10 Gbit/s et 40 Gbit/s ainsi que pour une topologie avec 2×2 cœurs à 10 Gbit/s.

On peut observer sur la figure 2(a) comment le faible roll-off de la fonction de transfert de l'OADM produit une pénalité de puissance modérée dans le cas de la liaison point-à-point. L'effet du filtrage opéré par la paire d'OADM est par contre plus marqué à 40 Gbit/s, comme on peut le constater sur la figure 2(b). La pénalité en puissance augmente considérablement avec des fluctuations extrêmement rapides dans le cas d'une topologie avec 4×4 cœurs et une transmission à 40 Gbit/s. Ces fluctuations sont présentes aussi pour une transmission à 10 Gbit/s. Compte tenu du fait que, dans une implémentation réelle, à la fois  $\Delta\phi$  et  $\Delta\nu$  peuvent fluctuer dans le temps, les performances d'un réseau en anneau pourraient ainsi présenter des fluctuations qui, pour une valeur de pénalité en puissance maximale admissible, résulteraient en une réduction du budget de puissance du système.

#### 4. CONCLUSION

Dans cette étude, nous avons montré que les résonances parasites qui apparaissent dans les fonctions de transfert des chemins optiques dans les réseaux optiques sur puce avec une topologie en anneau affectent de manière défavorable la tolérance du système aux fluctuations des sources lasers. On observe comme conséquence une réduction des marges de puissance par rapport à une topologie avec une interconnexion de type point-à-point.

#### REMERCIEMENTS

Ce travail s'inscrit dans le cadre du projet «3D-Optical-ManyCores», porté et soutenu par le LabEx CominLabs : <http://www.3d-opt-many-cores.cominlabs.ueb.eu/>.

#### RÉFÉRENCES

- [1] A. W. Poon, X. Luo, F. Xu, and H. Chen, "Cascaded microresonator-based matrix switch for silicon on-chip optical interconnection," Proc. IEEE, vol. 97, pp. 1216-1238, Jul. 2009
- [2] C. Sun, et al., "Single-chip microprocessor that communicates directly using light," Nature, vol. 528, pp. 534-538, Dec. 2015
- [3] P. Pintus, P. Contu, P. G. Raponi, I. Cerutti, and N. Andrioli, "Silicon-based all-optical multi microring network-on-chip," Opt. Lett., vol. 39, pp. 797-800, Feb. 2014.
- [4] S. Le Beux, H. Li, I. O'Connor, K. Cheshmi, X. Liu, J. Trajkovic, and G. Nicolescu, "Chameleon: channel efficient optical network-on-chip," in Design, Automation and Test in Europe Conference and Exhibition (DATE), 2014, Mar. 2014.