



HAL
open science

Simulation numérique itérative pour la génération de peignes Kerr : optimisation de la fonction de couplage

Napoléon Gutierrez, Clément Arlotti, Arnaud Fernandez, Stéphane Calvez,
Olivier Llopis

► To cite this version:

Napoléon Gutierrez, Clément Arlotti, Arnaud Fernandez, Stéphane Calvez, Olivier Llopis. Simulation numérique itérative pour la génération de peignes Kerr : optimisation de la fonction de couplage. JCOM 2017 Limoges, Jul 2017, Limoges, France. 2p. hal-01568063

HAL Id: hal-01568063

<https://hal.science/hal-01568063>

Submitted on 24 Jul 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.

Simulation numérique itérative pour la génération de peignes Kerr : optimisation de la fonction de couplage

Napoléon Gutierrez^{1,2}, Clément Arlotti^{1,2}, Arnaud Fernandez^{1,2}, Stéphane Calvez¹, Olivier Llopis¹

¹LAAS-CNRS, Université de Toulouse, CNRS, 7 av. du Colonel Roche, 31031 Toulouse, France

²Univ de Toulouse, UPS, LAAS, F-31400 Toulouse, France

La génération de peignes de fréquences optiques permet la synthèse de signaux de références micro-ondes allant du GHz jusqu'au domaine millimétrique. Une technique de synthèse compacte et efficace s'appuie sur l'emploi de résonateur optique non-linéaire. Différentes technologies de cavités résonantes sont à ce jour étudiées intensivement comme les mini disques (CaF₂, MgF₂)[1], [2], les microsphères, les cavités en géométrie planaire en nitrure de silicium ou verre d'indice élevé (HYDEX) [3] compatibles avec les standards de fabrication CMOS et les cavités fibrées. Ainsi une large diversité de paramètres existe : ISL, pertes intrinsèques, dispersion, non-linéarité. De plus, le choix de la technique de couplage conduit à des résonateurs de facteur de qualité allant de 10⁵ à 10¹¹.

Dans le contexte de la synthèse de référence RF par la génération de peignes Kerr optiques, la mise au point d'un outil numérique pouvant s'adapter à cette large diversité de résonateurs peut s'avérer très utile afin de guider leur pré-dimensionnement. Cela permettra d'optimiser l'accumulation de puissance dans le résonateur et ainsi diminuer le seuil de puissance de pompe nécessaire pour le déclenchement d'effets non-linéaires menant à la génération d'harmoniques.

A la différence de l'approche basée sur la résolution de l'équation de Lugiato-Lefever et ses variantes [2], [4], nous avons opté pour une technique numérique itérative nouvelle associant la méthode RK4IP [5] pour la modélisation de l'équation non-linéaire de Schrödinger (NLS) dédiée à la propagation de l'onde dans la cavité résonante (Fig.1.a). Le coupleur d'accès du résonateur est modélisé par sa matrice de transfert décrite dans le domaine de Fourier (Fig.1.c) en raison de l'hétérogénéité de ses coefficients sur la plage spectrale où sont générés les peignes de fréquence. Le ratio puissance intra-cavité/puissance incidente noté PEF (Fig.1.b) dépend directement des propriétés de couplage [6]. Or dans le contexte de la génération de peignes Kerr optiques, ce facteur est d'une grande importance car les peignes peuvent occuper une très large plage spectrale.

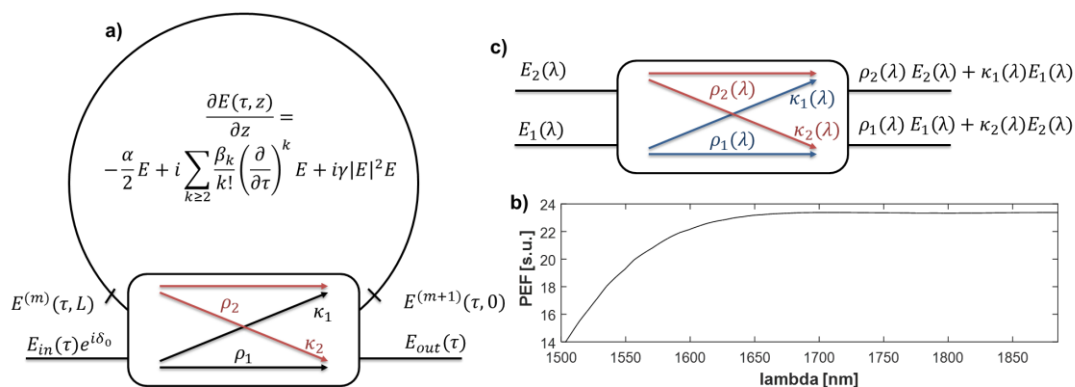


Figure 1. **a)** Synoptique du résonateur modélisé. **b)** Dépendance du PEF (Power Enhancement Factor) en longueur d'onde. **c)** Synoptique du coupleur d'accès.

Nous avons simulé un résonateur en régime sous-couplé, très proche du régime critique ($\alpha=0,9784$; $\rho=0,9807$) possédant un ISL de 20 GHz et un facteur $Q=6,8.10^5$ soit une largeur mi-hauteur à la résonance de 263 MHz, pompé par un signal continu de puissance 700 mW centré à 1670 nm. Les propriétés du milieu de propagation sont celles du Si₃N₄ avec un coefficient Kerr $\gamma=1400 \text{ W}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$ et une dispersion $\beta_2 = -3,54 \text{ ps}^2 \cdot \text{km}^{-1}$.

La Fig.2 illustre les niveaux de puissance intra-cavité générés par effet Kerr lorsque la fréquence du laser pompe balaye la résonance du « bleu » (detuning négatif) vers le « rouge » (detuning positif) [1] en passant par le régime d'instabilité de modulation suivi du régime impulsif caractérisé par une chute soudaine de la puissance moyenne intra-cavité.

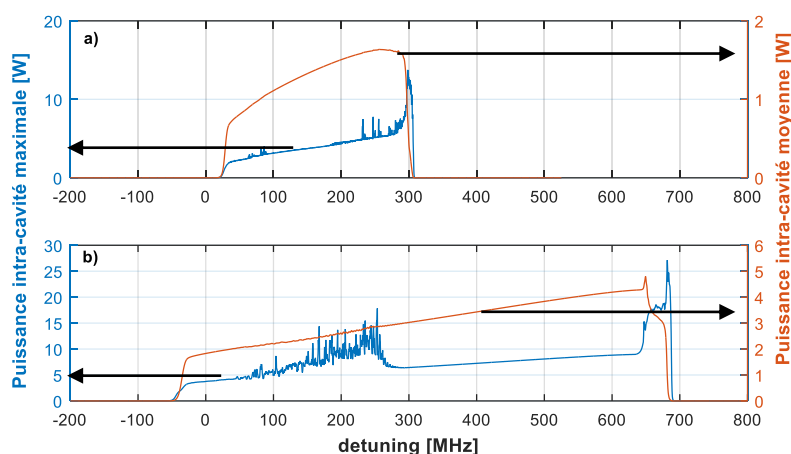


Figure 2. Puissance intra-cavité générée par effet Kerr par filtrage de la composante continue. **a)** Cas du coupleur réaliste imposant un PEF décrit dans la Fig. 1. **b)** Coupleur idéal : $PEF(\lambda) = 23.31$.

Ces résultats numériques préliminaires illustrés par la Fig.2 démontrent que la chute de PEF observée ici aux courtes longueurs d'onde provoque une accumulation de puissance moins efficace dans la zone spectrale concernée et donc une exaltation plus faible de l'effet Kerr. Ceci justifie des niveaux de puissance Kerr plus élevés dans la Fig.2.b par rapport à la Fig.2.a et justifie de même le fait que la génération de puissance par effet Kerr se fasse sur une plage de detuning plus faible en Fig.2.a par rapport à la Fig.2.b.

On a montré ici, par le biais du numérique, l'intérêt de tenir compte de la dépendance des coefficients de couplage et transmission du coupleur d'accès d'un résonateur optique lors de sa conception. On observe qu'une dégradation de la PEF même à une zone spectrale éloignée du signal de pompe peut avoir un effet négatif dans la génération d'harmoniques par effet Kerr en limitant l'efficacité du confinement de puissance de ces harmoniques générées.

Remerciements : C. Arlotti remercie la DGA et le CNES pour le financement de sa thèse.

Références :

- [1] T. Herr *et al.*, « Temporal solitons in optical microresonators », *Nat. Photonics*, vol. 8, n° 2, p. 145-152, déc. 2013.
- [2] Y. K. Chembo et C. R. Menyuk, « Spatiotemporal Lugiato-Lefever formalism for Kerr-comb generation in whispering-gallery-mode resonators », *Phys. Rev. A*, vol. 87, n° 5, mai 2013.
- [3] D. J. Moss, R. Morandotti, A. L. Gaeta, et M. Lipson, « New CMOS-compatible platforms based on silicon nitride and Hydex for nonlinear optics », *Nat. Photonics*, vol. 7, n° 8, p. 597-607, juill. 2013.
- [4] S. Coen, H. G. Randle, T. Sylvestre, et M. Erkintalo, « Modeling of octave-spanning Kerr frequency combs using a generalized mean-field Lugiato-Lefever model », *Opt. Lett.*, vol. 38, n° 1, p. 37-39, 2013.
- [5] S. Balac, A. Fernandez, F. Mahé, F. Méhats, et R. Texier-Picard, « The Interaction Picture method for solving the generalized nonlinear Schrödinger equation in optics », *ESAIM Math. Model. Numer. Anal.*, vol. 50, n° 4, p. 945-964, juill. 2016.
- [6] Z. Abdallah, Y. G. Boucher, A. Fernandez, S. Balac, et O. Llopis, « Radio frequency spectral characterization and model parameters extraction of high Q optical resonators », *Sci. Rep.*, vol. 6, juin 2016.