



HAL
open science

**ETUDE NUMERIQUE SUR LA DEPENDANCE
SPECTRALE COMPLEXE DU COUPLAGE
OPTIQUE DANS LA GENERATION DE PEIGNES
KERR PAR DES RESONATEURS DE Si₃N₄**

Napoléon Gutierrez, Arnaud Fernandez, Stéphane Calvez, Olivier Llopis

► **To cite this version:**

Napoléon Gutierrez, Arnaud Fernandez, Stéphane Calvez, Olivier Llopis. ETUDE NUMERIQUE SUR LA DEPENDANCE SPECTRALE COMPLEXE DU COUPLAGE OPTIQUE DANS LA GENERATION DE PEIGNES KERR PAR DES RESONATEURS DE Si₃N₄. Journées nationales de l'optique guidée (JNOG 2018), Jul 2018, Toulouse, France. 3p. hal-01926244

HAL Id: hal-01926244

<https://hal.science/hal-01926244v1>

Submitted on 23 Nov 2018

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.

ETUDE NUMERIQUE SUR LA DEPENDANCE SPECTRALE COMPLEXE DU COUPLAGE OPTIQUE DANS LA GENERATION DE PEIGNES KERR PAR DES RESONATEURS DE Si_3N_4

Napoléon Gutierrez, Arnaud Fernandez, Stéphane Calvez, Olivier Llopis

LAAS-CNRS, Université de Toulouse, CNRS, UPS, Toulouse, France

ngutierr@laas.fr

RÉSUMÉ

Nous présentons une approche numérique nouvelle permettant de modéliser un résonateur optique en Si_3N_4 à couplage d'accès vertical. Cette approche itérative innovante consiste à séparer la propagation intra-cavité décrite par l'équation non-linéaire de Schrödinger (NLS) de la propagation dans le coupleur d'accès décrite par une matrice de transfert complexe. Ceci nous permet de quantifier le seuil de déclenchement et la dynamique de la génération de peignes Kerr fortement dépendants des propriétés spectrales du coupleur et de la cavité résonante.

MOTS-CLEFS : *Peignes Kerr, simulation numérique, Si_3N_4 , couplage vertical, Téraherz*

1. INTRODUCTION : SYSTEME ET APPROCHE DE MODELISATION

L'outil numérique peut être utile pour la conception de micro-résonateurs optiques ayant pour but la génération de peignes Kerr. Le système modélisé est un résonateur optique dans lequel on considère une propagation unidirectionnelle dans un milieu non-biréfringent. Pour modéliser l'évolution temporelle du système on utilise un système d'équations dans lequel la propagation dans le coupleur d'accès de la cavité est décrite par sa matrice de transfert qui met en relation le champ de pompe, champ intra-cavité et le champ de sortie du résonateur. La propagation dans la cavité est décrite par la NLS qu'on résout en utilisant une méthode Runge-Kutta d'ordre 4 à pas variable [1]. C'est ainsi qu'on simule un tour de cavité.

L'effet Kerr se traduit par une augmentation de l'indice de réfraction du milieu avec la puissance optique. L'accumulation de puissance optique dans le résonateur modifie le chemin optique nL de la lumière à la longueur d'onde de pompe, rajoutant un déphasage supplémentaire et donc décalant la résonance de la cavité optique vers les basses fréquences. Pour maximiser la puissance optique qui circule dans la cavité, l'accord du laser de pompe avec la fréquence de résonance de la cavité doit s'effectuer dans le sens de déplacement de la résonance. Notre protocole de simulation correspond à l'accord en fréquence d'un laser à puissance continue en suivant la procédure que nous venons de décrire.

La figure 1 illustre schéma du dispositif modélisé à gauche et à droite, l'évolution de la puissance intra-cavité moyenne circulant dans le résonateur lors d'une simulation de balayage du laser de pompe à travers la résonance de la cavité. Nous pouvons identifier les différents régimes intra-cavité : (I) Régime linéaire. (II) Excitation de motifs temporels dans la cavité. (III) Régime d'instabilité de modulation. (IV) Régime impulsif stable ou plusieurs impulsions circulent dans la cavité

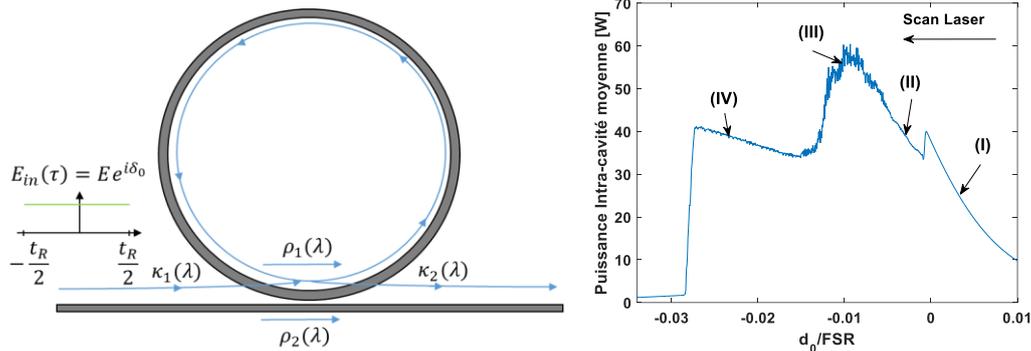


Fig. 1 : Gauche : Schéma du dispositif modélisé. Droite : Puissance intra-cavité moyenne lors du balayage du laser pompe en allant des hautes vers les basses fréquences.

2. RESULTATS ET INTERPRETATION

Les résonateurs avec des structures de couplage d'accès verticales présentent des coefficients de couplage et de transmission de leur coupleur d'accès qui varient selon la longueur d'onde de la lumière traversant le résonateur [2]. Cette variation s'exprime en amplitude et en phase. La variation de l'amplitude des coefficients du coupleur d'accès modifie directement les valeurs du facteur d'accumulation de puissance (Power Enhancement Factor : PEF) défini comme le ratio entre puissance accumulée intra-cavité à la résonance et puissance de pompe et le facteur Q du résonateur en fonction de la longueur d'onde. Les variations en déphasage induit par les coefficients du coupleur modifient la structure modale du résonateur, c'est-à-dire l'espacement entre deux pics de résonance de la cavité en fonction de la longueur d'onde équivalent à une dispersion subie dans le coupleur d'accès du résonateur.

Les résonateurs simulés ont les propriétés dispersives et non linéaires du Si_3N_4 et une ISL de 220 GHz. La différence entre les trois cas est leur coupleur d'accès et toutes les propriétés qui découlent de cette différence telles que le facteur de qualité et la PEF. En utilisant le formalisme montré en [3], on calcule à partir des coefficients du coupleur, la PEF et le facteur Q sur notre plage fréquentielle de simulation et on obtient les courbes présentées en figure 2.

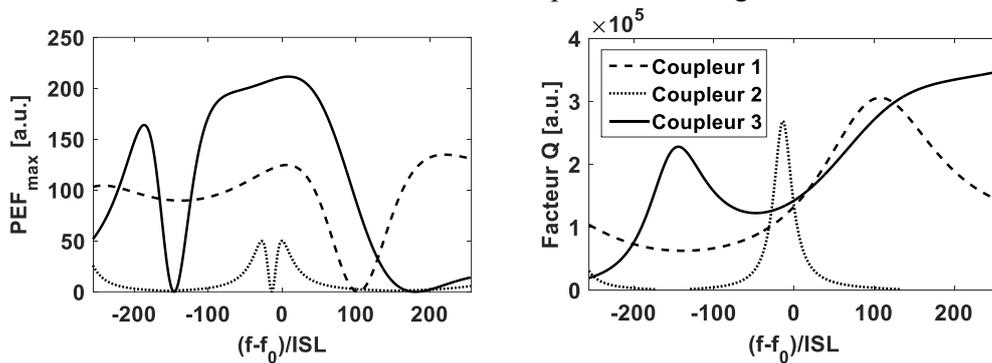


Fig. 2 : Profil de PEF et facteur de qualité pour les 3 structures étudiées

Le fait d'utiliser un modèle qui sépare la propagation intra-cavité de la propagation dans le coupleur d'accès du résonateur nous permet d'implémenter de manière très simple les effets de dépendance de la longueur d'onde des coefficients de transmission et de couplage de la structure d'accès dans le résonateur. En utilisant les transformées de Fourier rapides, nous pouvons simuler le passage par le coupleur d'accès dans le domaine fréquentiel.

Afin de pouvoir comparer l'effet du profil du facteur de qualité de différentes cavités, nous comparons ici les trois résonateurs tout en maintenant le produit $PEF \cdot P_{pompe}$ constant pour normaliser la puissance de pompe accumulée dans la cavité. Ceci nous permet de comparer trois cavités qui ont des PEF différentes et faire des observations sur l'impact du profil spectral de

facteur Q sur la formation forme du peigne généré. L'enveloppe des peignes générés avec les trois exemples de cavité est donnée en figure 3.

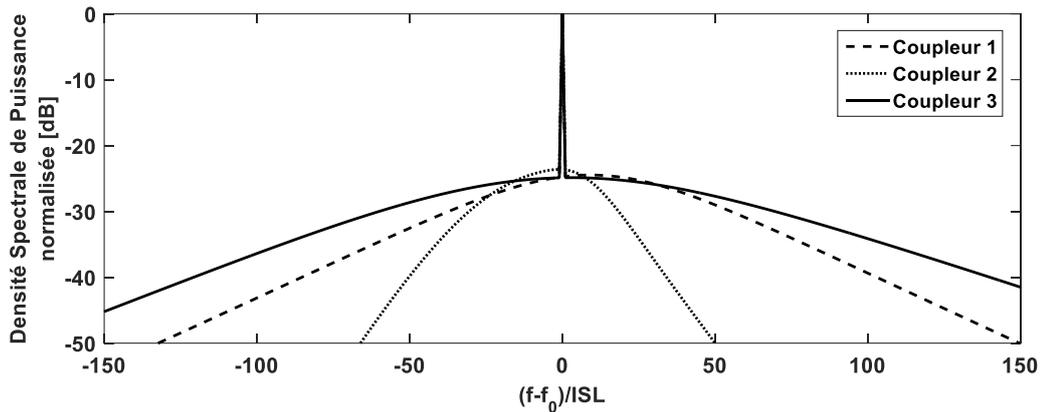


Fig. 3 : Enveloppe des peignes générés intra-cavité pour les trois cas présentés.

Nous pouvons remarquer que le facteur de qualité des trois cas étudiés est similaire à la fréquence de pompe (10^5 - $2 \cdot 10^5$). Cependant, ce qui sépare les trois cas de figure est la valeur du facteur Q dans toute la plage spectrale d'étude. Comme c'était attendu, le fait de maintenir un facteur Q élevé sur une large bande permet à la lumière générée intra-cavité par effet Kerr de faire plus d'oscillations avant d'être atténuée.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cet outil numérique s'avère bien adapté pour l'étude de la génération de peignes Kerr à partir de toute structure résonante passive qui présente un couplage d'accès dépendant de la longueur d'onde.

Nous avons pu observer qu'un couplage critique doit être favorisé à la longueur d'onde du laser de pompe pour optimiser la PEF, facteur qui détermine l'efficacité du confinement de la puissance du laser pompe dans la cavité. De la même manière nous pouvons conclure que dans tout le reste de la bande spectrale de travail il est plus important de favoriser un bon facteur Q sur un couplage critique. En effet, la lumière générée par effets non-linéaires lors de la formation de peignes Kerr se génère directement à l'intérieur de la cavité et c'est le facteur Q qui détermine le nombre d'oscillations que cette lumière pourra faire avant d'être atténuée.

En perspective, nous devons encore étudier l'impact de la dispersion induite par le coupleur d'accès sur la génération de peignes de fréquences optiques. Le fait que toute composante spectrale traversant le coupleur voit un chemin optique différent a pour conséquence une modification de la structure modale du résonateur qui peut affecter la génération d'un peigne Kerr de la même manière que la dispersion d'ordre 2.

RÉFÉRENCES

- [1] 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.
- [2] C. Arlotti, O. Gauthier-Lafaye, A. Monmayrant, et S. Calvez, « Achromatic critically coupled racetrack resonators », *J. Opt. Soc. Am. B*, vol. 34, n° 11, p. 2343, nov. 2017.
- [3] A. Yariv, « Universal relations for coupling of optical power between microresonators and dielectric waveguides », *Electron. Lett.*, vol. 36, n° 4, p. 321-322, 2000.