



HAL
open science

**METHODE NUMERIQUE POUR LA
MODELISATION DE LA GENERATION
D'IMPULSIONS ULTRA-COURTES DANS UN
MICRO RESONATEUR OPTIQUE**

Napoléon Gutierrez, Arnaud Fernandez, Olivier Llopis, Sai Tak Chu

► **To cite this version:**

Napoléon Gutierrez, Arnaud Fernandez, Olivier Llopis, Sai Tak Chu. METHODE NUMERIQUE POUR LA MODELISATION DE LA GENERATION D'IMPULSIONS ULTRA-COURTES DANS UN MICRO RESONATEUR OPTIQUE. Journées Nationales d'Optique Guidée (JNOG 2017) , Jul 2017, Limoges, France. 3p. hal-01568066

HAL Id: hal-01568066

<https://hal.science/hal-01568066>

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.

METHODE NUMERIQUE POUR LA MODELISATION DE LA GENERATION D'IMPULSIONS ULTRA-COURTES DANS UN MICRO RESONATEUR OPTIQUE

Napoléon Gutierrez¹, Arnaud Fernandez¹, Olivier Llopis¹, Sai Tak Chu²

¹ LAAS-CNRS, Université de Toulouse, CNRS, UPS, Toulouse, France

² City University of Hong Kong, Tat Chee Avenue, Hong Kong SAR, China

ngutierr@laas.com

RÉSUMÉ

On présente une méthode de modélisation numérique de résonateurs optiques non-linéaires qui s'avère particulièrement adaptée pour l'étude de cavités optiques présentant des facteurs de qualité dépendants de la longueur d'onde. Cette méthode permet d'obtenir rapidement les paramètres de l'impulsion que le système supporte simplement en appliquant des conditions initiales adéquates. Cependant, la méthode ne tient pas compte des effets thermiques qui interviennent dans le système et qui sont d'une très forte importance dans la mise en place expérimentale de ce type de dispositif.

MOTS-CLEFS : *Modélisation numérique, impulsions courtes, résonateurs optiques .*

1. INTRODUCTION

La génération d'impulsions ultra-courtes par le biais d'un micro-résonateur optique passif pompé par une onde optique de puissance continue est un phénomène d'auto-arrangement qui se produit grâce à une compensation des effets non-linéaires avec les effets dispersifs présentés par le milieu de propagation et une compensation des pertes d'absorption avec le gain paramétrique que ce dernier présente. L'outil numérique couplé avec un modèle mathématique adéquat peuvent permettre de mettre en évidence l'apparition de ce phénomène d'auto arrangement et étudier le potentiel et les limites du système en question [1].

Les résonateurs optiques présentent des propriétés favorables pour l'exploitation des effets non-linéaires visant la génération d'harmoniques. Notamment, le confinement de puissance dans la cavité optique permet d'exploiter les effets non-linéaires présentés par le milieu de propagation tout en gardant des puissances de pompe modérées. L'utilisation d'une cavité optique permet simultanément de filtrer des modes non désirés et de générer des peignes de fréquences qui ont un espacement fréquentiel régulier entre chacune de leurs raies.

2. METHODE NUMERIQUE

Notre méthode est basée sur le système illustré par la figure 1. La propagation du champ optique dans la cavité est régie par l'équation non-linéaire de Schrödinger (1).

$$\frac{\partial E(z, \tau)}{\partial z} = -\frac{\alpha}{2} E + i \sum_{k \geq 2} \frac{\beta_k}{k!} \left(\frac{\partial}{\partial \tau} \right)^k E + i \gamma |E|^2 E. \quad (1)$$

Où α représente les pertes par absorption, β_k représente les coefficients de dispersion d'ordre k et γ est le coefficient de non-linéarité du milieu. L'intérêt étant le fait que cette équation prend en compte des effets non-linéaires ainsi que dispersifs lors de la propagation d'une onde dans un milieu non-linéaire. On utilise une méthode RK4IP pour propager le signal à l'intérieur de la cavité sur toute sa longueur [3].

Le passage par le coupleur d'accès du résonateur est modélisé par sa fonction de transfert. On peut ainsi tenir compte de la dépendance de la fréquence des coefficients qui caractérisent le coupleur d'accès du résonateur.

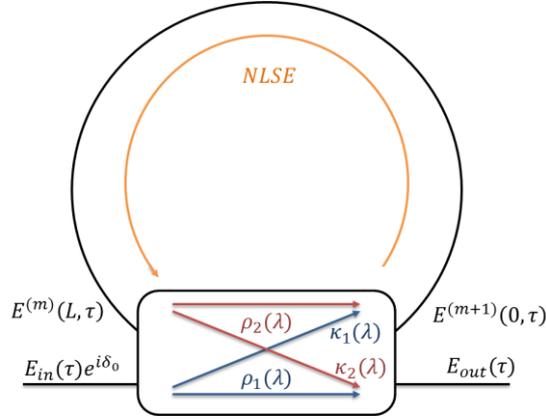


Fig. 1 : Schéma du système modélisé. Le coupleur d'accès du résonateur est caractérisé par ses coefficients de transmission et couplage dépendants de la longueur d'onde. La propagation dans l'anneau résonant est régie par l'équation non-linéaire de Schrödinger (NLSE). δ_0 représente le désaccord en phase du signal de pompe par rapport à la résonance de la cavité plus proche du signal de pompe.

La génération de solitons dans une cavité optique, par une pompe de puissance constante, est possible lorsqu'on balaye en fréquence le signal de pompe à travers la résonance de la cavité dans le sens des fréquences décroissantes [2]. Cette opération de balayage fréquentiel peut s'effectuer finement en rajoutant un déphasage supplémentaire au signal de pompe. Ce déphasage imite l'effet d'interférence qui serait produit par un décalage en fréquence du signal de pompe par rapport au signal circulant dans la cavité. La relation (2) donne le lien entre désaccord fréquentiel et désaccord de phase du signal de pompe par rapport à la résonance de la cavité optique

$$\delta_0 = 2\pi \frac{d\nu}{ISL}. \quad (2)$$

Où δ_0 représente le désaccord en phase, $d\nu$ le désaccord en fréquence et ISL est l'intervalle spectral libre de la cavité.

3. RESULTATS

La figure 2 présente à continuation les résultats obtenus pour les paramètres correspondant à un résonateur en verre HYDEX à fort indice de réfraction [4]. Les paramètres du coupleur sont, dans ce cas, adaptés au coefficient de qualité mesuré expérimentalement pour un résonateur HYDEX d'intervalle spectrale libre de 50 GHz et un facteur de qualité $Q=1,1 \cdot 10^6$ pompé par un signal continu de puissance 100 mW.

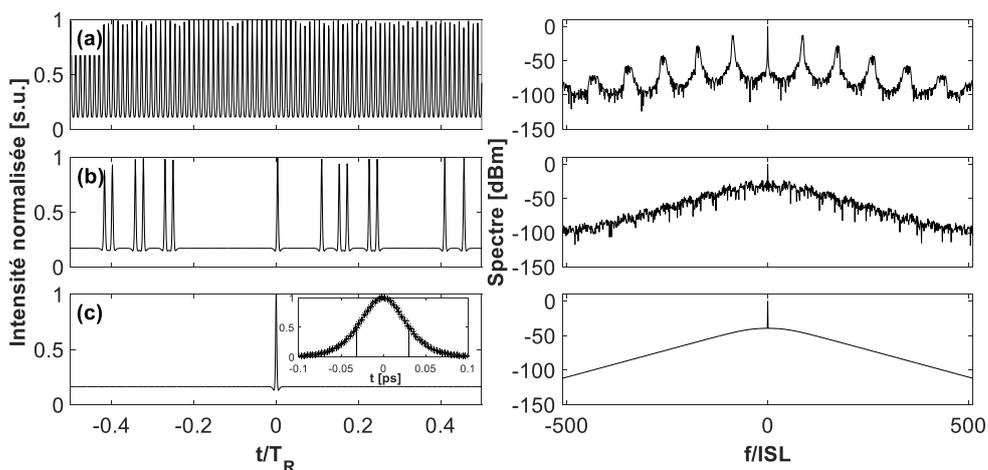


Fig. 2 : (a) Formation de motifs temporels à l'intérieur de la cavité optique. (b) Régime de plusieurs solitons circulant dans la cavité obtenu par la méthode de balayage fréquentiel. (c) Régime de soliton unique induit par des conditions initiales de type pulsée. La figure montre le soliton unique après filtrage de la composante continue. L'approximation avec la sécante hyperbolique (marqueurs) donne une erreur inférieure à 0.1%.

Des fluctuations aléatoires sont à l'origine de l'instabilité de modulation qui mène vers le régime pulsé. Le gain paramétrique du résonateur dicte l'apparition des premières harmoniques et la formation des motifs temporels observés dans la figure 2.a.

La génération d'impulsions ultra-courtes dans le résonateur étant un phénomène qui croît d'un processus aléatoire, chaque balayage fréquentiel simulé mène vers un régime impulsionnel différent. C'est-à-dire, un régime où un nombre différent d'impulsions circulent dans la cavité à des instants différents comme observé sur la figure 2.b. Le régime caractérisé par une impulsion unique circulant dans la cavité peut donc nécessiter plusieurs balayages fréquentiels pour être obtenu. Ce problème peut être contourné si, à un désaccord fréquentiel permettant la formation d'impulsions dans la cavité, on impose des conditions initiales adéquates et on laisse le système tendre vers le régime établi. C'est la technique qui a été utilisée pour obtenir les résultats présentés dans la figure 2.c.

CONCLUSION

Nous avons développé une méthode numérique qui permet la modélisation de micro-résonateurs optiques non-linéaires indépendamment de leur finesse ou facteur de qualité. De plus, la prise en compte de la dépendance de la fréquence des paramètres du coupleur d'accès s'avère très utile pour l'étude de systèmes qui présentent des variations significatives de ces grandeurs dans la zone spectrale étudiée.

REFERENCES

- [1] 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.
- [2] T. Herr *et al.*, « Temporal solitons in optical microresonators », *Nat. Photonics*, vol. 8, n° 2, p. 145-152, déc. 2013.
- [3] 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.
- [4] 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.