Génération de solitons spatiaux Kerr multi fréquentiels par cascade Raman

J. Michaud, G. Fanjoux, H. Maillotte, T. Sylvestre

▶ **To cite this version:**

J. Michaud, G. Fanjoux, H. Maillotte, T. Sylvestre. Génération de solitons spatiaux Kerr multi fréquentiels par cascade Raman. Troisième Atelier du GDR "Photonique non linéaire et milieux microstructurés", May 2009, Montpellier, France. hal-00472129

HAL Id: hal-00472129
https://hal.science/hal-00472129

Submitted on 9 Apr 2021

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.

Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

GENERATION DE SOLITONS SPATIAUX KERR MULTI FREQUENTIELS PAR CASCADE RAMAN

Jérémy Michaud, Gil Fanjoux, Hervé Maillotte et Thibaut Sylvestre

Département d'Optique P.M Duffieux, Institut FEMTO-ST, UMR CNRS-Université de Franche Comté n°6174, 25030 Besançon, France

Jeremy.michaud@univ-fcomte.fr

RESUME

Dans cette étude expérimentale nous montrons la génération de solitons spatiaux Kerr multi fréquentiels par cascade Raman dans un guide plan en présence du phénomène de lumière lente.

MOTS-CLEFS : *solitons spatiaux Kerr; diffusion Raman stimulée; lumière lente.*

1. INTRODUCTION

La génération d'un soliton spatial multicolore en milieu Kerr est rendue possible grâce à la combinaison de différents processus physiques tels que l'intermodulation de phase (XPM), le mélange à quatre ondes (FWM) et la diffusion Raman stimulée (DRS) [1]. En effet, le guidage mutuel des composantes pompe, Raman Stokes et anti-Stokes est atteint en fort régime de conversion Raman, les trois composantes étant alors couplées en amplitude par gain Raman et FWM et en phase par XPM. Plus récemment, l'étude de la dynamique spatio-temporelle de ce soliton multicolore a montré que la composante Raman Stokes subissait lors de son amplification un fort retard optique vers le front arrière de la pompe, et ce jusqu'au régime d'atténuation de la pompe [2,3]. Ce phénomène, bien connu sous le nom de lumière lente [2]-[6] est induit par la résonance spectrale fine du processus Raman dans le CS_2 (largeur spectrale de 15GHz) responsable d'une forte variation de l'indice de groupe pour les composantes Raman exclusivement. Le but de ce présent travail est de poursuivre ces précédentes études sur les solitons spatiaux multicolores dans le cas d'une cascade Raman, c'est-à-dire lorsque la puissance de la pompe injectée devient très forte. Nous avons ainsi observé expérimentalement la génération par cascade Raman de solitons spatiaux Kerr multi fréquentiels (jusqu'à trois ordres Raman Stokes) et dont les composantes spectrales sont décalées temporellement en raison du phénomène de lumière lente.

2. RESULTATS EXPERIMENTAUX

Le montage expérimental utilise un guide plan de Kerr de 3cm de longueur constitué d'une couche guidante de CS_2 liquide d'épaisseur 15µm comprise entre de deux blocs de verre SK5. La source utilisée est un laser powerchip Nd :YAG doublé en fréquence (1kHz, 360ps et 532nm, pour plus de détails voir réf [2]). Le faisceau d'entrée est polarisé linéairement au mode TE du guide plan et sa largeur spatiale mesurée dans la dimension libre du guide plan est de 52µm. Les différentes composantes spectrales sont séparées spatialement par un réseau de diffraction (2400tr/mm) et les profils spatio-temporels sont enregistrés grâce à une caméra à balayage de fente de résolution 5 ps.

Les profils spatio-temporels expérimentaux des différentes composantes spectrales en sortie de guide, pour une puissance injectée de 2.7mW, sont représentés sur les Figs. 1(a-e) pour le premier ordre anti-Stokes (ORAS1), la pompe, et les trois premiers ordres Raman Stokes (ORS1, ORS2 et ORS3). Le faisceau total ainsi que la pompe en régime de diffraction sont représentés sur les Fig. 1(f) et 1(g), respectivement. Les cadres inférieurs représentent les coupes spatiales expérimentales (profils en traits pleins) obtenues au sommet des impulsions et ajustées par des sécantes hyperboliques carrées (courbes en pointillés gris), ainsi que les profils spatiaux intégrés en temps (profils en pointillés noir).

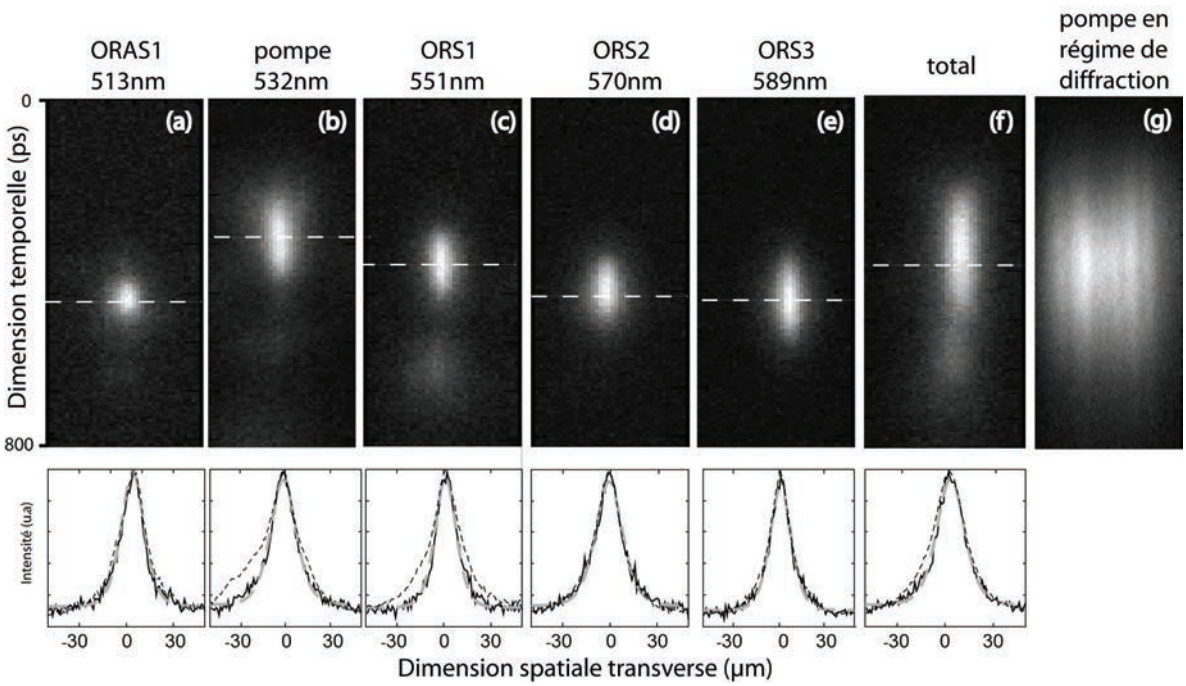

Fig. 1 : Profils spatio-temporels expérimentaux obtenus en sortie de guide pour une puissance injectée de 2.7mW pour: (a) le premier ordre Raman anti-Stokes, (b) la pompe, (c) le premier, (d) le deuxième, (e) le troisième ordre Stokes, (f) le faisceau de sortie total et (g) la pompe en régime de diffraction. Les lignes pointillées blanches horizontales représentent les positions des coupes spatiales. Cadres inférieurs: profils spatiaux expérimentaux obtenus au sommet de chaque composante (traits pleins) et ajustés par des sécantes hyperboliques carrées (pointillés gris) ainsi que les profils spatiaux intégrés en temps (pointillés noir).

D'un point de vue spatial, étant donné que la puissance injectée est nettement supérieure à la puissance soliton et grâce à la cascade Raman, les composantes spectrales pompe - ORS1 - ORS2 possèdent une énergie suffisante pour atteindre un régime solitonique, comme le montrent les ajustements des profils expérimentaux par les profils soliton analytiques. Les deux autres composantes ORS3 et ORAS1, d'énergies plus faibles, sont guidées par XPM et possèdent donc aussi des profils solitoniques. Par ailleurs, en comparant les profils intégrés en temps, on remarque que les faisceaux pompe et ORS1 présentent des piedestals spatiaux dus à la diffraction des parties qui ne sont pas en régime soliton (fronts avant et arrière, et principalement les parties atténuées). Il est important de noter que le faisceau total présente également un profil soliton. Nous sommes clairement en présence d'un soliton multicolore.

D'un point de vue temporel, en comparant les Fig. 1(a) à 1(e), on observe que chaque ordre Raman est retardé par rapport à la pompe. De plus, pour cette puissance d'entrée de 2.7 mW, nous avons observé en sortie de guide que les composantes pompe et ORS1 présentent une atténuation quasi totale de leur front arrière, contrairement au composantes ORS2 et ORS3 (voir Figs. 1). Ces observations sont le résultat d'une dynamique temporelle complexe que l'on peut synthétiser en deux phases distinctes, déjà observées sur l'ORS1 [2,3]. La première phase correspond au régime de lumière lente durant lequel l'ORS1 est retardé par rapport à la pompe. La deuxième phase correspond à l'interruption du phénomène de lumière lente due à l'atténuation totale du front arrière de la pompe (voir Fig. 1(b) et 1(g)), occasionnant ainsi un retour de l'ORS1 vers le centre de la pompe, là où le gain Raman subsiste. Cette dynamique peut aussi s'appliquer à l'ORS2, étant donné que l'ORS1 présente également un front arrière totalement atténué (Fig. 1(c)).

De manière plus précise, la fig. 2 montre les coupes temporelles aux sommets des profils spatio-temporels expérimentaux de la Fig. 1. En comparant la pompe, l'ORS1 et l'ORS2, on observe clairement que l'écart temporel entre chaque composante en sortie de guide est de l'ordre

de 60ps. Ces retards résultent de la dynamique temporelle décrite précédemment. Concernant l'ORS3, cette composante spectrale est générée en fin de guide et présente donc un retard de seulement 19ps par rapport au deuxième ordre. Ce faible retard montre l'absence de saturation du gain Raman sur cette composante, et par conséquent un début du phénomène de lumière lente. En comparant les profils temporels de l'ORS2 et l'ORAS1, on remarque que ces deux composantes sont superposées. Comme l'ORAS1 ne peut être amplifié que par FWM [1], cette dernière observation montre que l'ORAS1 est amplifié par FWM non dégénéré (impliquant la pompe, ORS1, ORS2 et ORAS1). Pour finir, le profil temporel de l'impulsion totale confirme que l'entité totale n'est pas un train d'impulsions, mais la somme des cinq composantes.

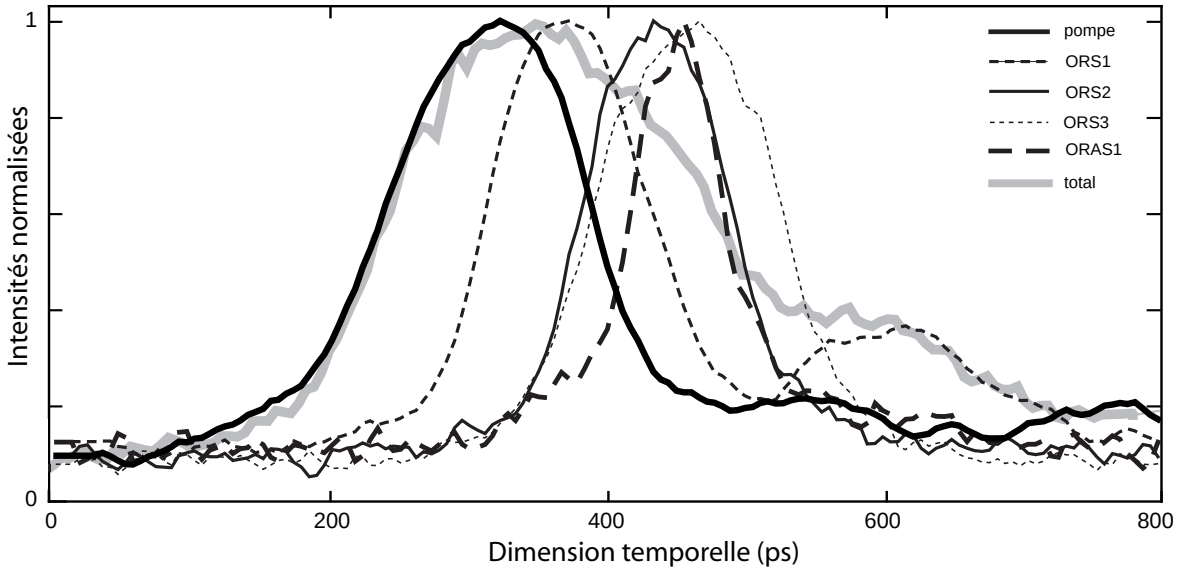

FIG. 2 : coupes temporelles normalisées aux sommets des profils spatio-temporels expérimentaux de la Fig. 1.

Les profils spatiaux obtenus en Fig.1 ainsi que les profils temporels obtenus en Fig.2 montrent clairement la génération de solitons spatiaux Kerr multi fréquentiels par cascade Raman en présence du phénomène de lumière lente.

3. CONCLUSION

Nous avons montré expérimentalement la génération de solitons spatiaux Kerr multi fréquentiels par cascade Raman en présence du phénomène de lumière lente dans un guide plan. En effet, chaque composante se trouve décalée temporellement tout en présentant des propriétés solitoniques.

RÉFÉRENCES

[1] G. Fanjoux, J. Michaud, M. Delqué, H. Maillotte, and T. Sylvestre, "Generation of multicolor vector Kerr solitons by cross-phase modulation, four-wave mixing and stimulated Raman scattering", *Opt. Lett.*, vol. 31, no. 23, p. 3480-3482, 2007.

[2] G. Fanjoux, J. Michaud, M. Delqué, L. Furfaro, H. Maillotte, and T. Sylvestre, " Spatio-temporal dynamics of multicolor spatial Kerr solitons ", *Opt. Quant. Electron.*, 0306-8919, 2008.

[3] G. Fanjoux, J. Michaud, H. Maillotte and T. Sylvestre, "slow light spatial solitons", *Phys. Rev. Lett.*, 100, 013908, 2008.

[4] K. Lee, N.M. Lawandy, "Optically induced pulse delay in a solid-state Raman amplifier", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 78, p. 703–705, 2001.

[5] R.W Boyd and D.J Gauthier, *Progress in Optics*, E. Wolf, vol. 43, chap. 6, p. 495, 2002.

[6] J. E. Sharping, Y. Okawachi, and A. L. Gaeta, "Wide bandwidth slow light using a Raman fiber amplifier", *Opt. Express*, vol. 13, no. 16, p. 6092-6098, 2005.