

QUASI-SOLITON SPATIAL AUTOGUIDÉ EN MILIEU NON LINEAIRE QUADRATIQUE

Raphael Jauberteau^{1,2}, Tigran Mansuryan², Alessandro Tonello², Fabio Baronio¹, Guy Millot³, Benjamin Wetzel², Katarzyna Krupa⁴, Stefan Wabnitz^{5,6}, Vincent Couderc²

¹ *Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Università di Brescia, 25123 Brescia, Italy*

² *Université de Limoges, Institut Xlim, UMR CNRS 7252, 87060 Limoges, France*

³ *Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne, UMR CNRS 6303 - Université Bourgogne Franche-Comté, 21078 Dijon, France*

⁴ *Institute of Physical Chemistry Polish Academy of Sciences, ul. Kasprzaka 44/52, 01-224 Warsaw, Poland*

⁵ *DIET, Sapienza Università di Roma, via Eudossiana 18, 00184 Rome, Italy*

⁶ *Istituto Nazionale di Ottica del Consiglio Nazionale delle Ricerche, Via Campi Flegrei 34, I-80078 Pozzuoli (NA), Italy*

raphael.jauberteau@xlim.fr

RÉSUMÉ

Nous démontrons ici des phénomènes d'autoguidage optique existant dans les milieux à non-linéarités quadratiques. En plus de la formation puis disparition d'un phénomène auto confiné, nous observons des effets de commutation ultrarapide et de démultiplication spatiale, ainsi qu'une restructuration temporelle suivie d'élargissements spectraux.

MOTS-CLEFS : *Quasi-Soliton ; Compression spatiale ; Elargissement spectral ; pulse-breaking*

1. INTRODUCTION

Des phénomènes extrêmes, tels que les vagues solitoniques ou les vagues scélérates [1], observés pour la première fois en fluide, ont désormais été caractérisés dans un grand nombre de conditions et dans divers domaines de la physique tels qu'en électronique ou en optique. Les quasi-solitons, qui ont un comportement proche des solitons Kerr dans les fibres optiques, se propagent sans déformation dans un milieu possédant une non-linéarité d'ordre deux [2-3], et peuvent être générés à partir d'une instabilité de modulation [4]. De tels phénomènes autoguidés peuvent interférer entre eux, et ainsi permettre la réalisation de fonctions logiques ou de filtres temporels ultrarapides [5], avec applications possibles dans la création d'ordinateurs optiques. D'autres résultats proches des solitons de Peregrine, localisés en temps et en espace (1D uniquement), et des *breathers* d'Akhmediev, localisées en espace (1D), ou en temps [6-7] ont récemment été observés dans des guides planaires (1D) à non-linéarité quadratique.

Nos travaux portent sur l'apparition et la disparition (en fonction de la puissance) d'un faisceau autoguidé stable dans un système non linéaire doubleur de fréquence à deux dimensions spatiales transverses. Ce même faisceau peut se démultiplier sous l'effet d'une augmentation locale de l'intensité. En modifiant les directions de la polarisation du faisceau injecté dans le cristal, il a également été observé un phénomène de commutation spatiale. En modulant le faisceau injecté, nous pouvons observer et contrôler une multitude de faisceaux en sortie du milieu non linéaire, espacés périodiquement sur les dimensions transverses du cristal. Ces phénomènes spatiaux s'additionnent à des phénomènes temporels de compression et de « *pulse breaking* », ainsi qu'à des phénomènes spectraux d'élargissements asymétriques.

2. CONDITIONS EXPERIMENTALES

Afin d'observer et de caractériser la génération de phénomènes autoguidés stables, nous injectons un faisceau gaussien à 1064 nm, possédant un rayon de $200\ \mu\text{m}$ (à $1/e^2$) et une durée d'impulsion de 30 ps dans un cristal de KTP ($8\times 8\times 30\ \text{mm}$) préparé pour une génération de second harmonique de type II. Ce procédé nous permet d'observer le confinement de phénomènes extrêmes sur le fond de plusieurs faisceaux non colinéaires, et de longueurs de diffraction bien plus grandes que la longueur du cristal dans lequel ces faisceaux se propagent. Sous l'effet de la double réfraction et de la non-linéarité du milieu, le faisceau de pompe (k_ω) injecté dans le cristal est spontanément divisé en deux ondes fondamentales (k_ω' et k_ω'') et en une onde de seconde harmonique ($k_{2\omega}$) (voir figure 1a). Un faisceau modulé spatialement peut également être injecté dans le cristal ce qui va permettre de multiplier les zones de hautes intensités et ainsi d'engendrer un ensemble de faisceaux autoguidés. L'orientation de la direction de polarisation ainsi que l'énergie du faisceau injecté sont ajustables, et l'accord de phase est réglable en changeant l'angle d'incidence du faisceau en entrée du cristal. Nous caractérisons respectivement les aspects spatiaux, temporels et spectraux du phénomène extrême aux moyens d'une caméra CCD, d'un autocorrélateur et d'un spectromètre.

3. RESULTATS

En augmentant l'intensité du faisceau de pompe injecté dans le cristal, nous observons l'apparition d'un faisceau autoguidé (rayon à $1/e^2 = 30\ \mu\text{m}$, environ 2,4 fois plus intense que le faisceau de pompe en sortie du cristal) après focalisation de celui-ci, du fait de la saturation de la non-linéarité quadratique. Le phénomène est situé à l'emplacement de la seconde-harmonique, elle-même générée à l'interface des deux faisceaux fondamentaux, en sortie du cristal. À haute intensité, le processus autoguidé disparaît en ne laissant que peu de traces de son existence sur la forme du faisceau de sortie (figure 1b).

Le phénomène autoguidé est fortement impacté par l'état de polarisation du faisceau de pompe injecté dans le cristal, puisqu'un changement de la direction de polarisation autour de 45° entraîne un changement de la composante fondamentale la plus forte, et donc une commutation spatiale (figure 1c). La figure 1d montre un exemple de la génération cascadée de faisceaux autoguidés couplés entre eux; le premier faisceau confiné créé des modulations périphériques donnant naissance à d'autres faisceaux confinés lorsque la puissance du faisceau de pompe augmente.

Nous avons également pu observer un phénomène de compression temporelle de 10 ps environ, suivi d'un « *pulse breaking* » lorsque l'on augmente progressivement l'intensité lumineuse injectée dans le cristal (figure 2a). Ces phénomènes coïncident respectivement avec l'apparition du faisceau autoguidé spatialement puis sa disparition à haute puissance, et s'accompagnent d'un élargissement spectral asymétrique (figure 2b), induit par un effet de modulation de phase croisée. Cette modulation spectrale est dépendante de toutes les composantes optiques se propageant dans le cristal (k_ω' , k_ω'' et $k_{2\omega}$).

Si nos résultats en milieu non linéaire 2D ressemblent à des propagations de type quasi-soliton, nos conditions expérimentales ne sont pas celles permettant leur génération. Notre forme d'onde est le résultat d'une autofocalisation créée par densité locale de puissance et de la stabilisation du phénomène par saturation de l'effet de conversion non linéaire. La structuration spatiale 2D du faisceau augmente fortement avec la puissance de pompe ce qui a pour effet, après son apparition, d'initier sa disparition. Ainsi, l'onde éphémère 2D obtenue expérimentalement ressemble au phénomène d'émergence et de disparition du soliton de Peregrine, qui lui est seulement défini en milieu 1D.

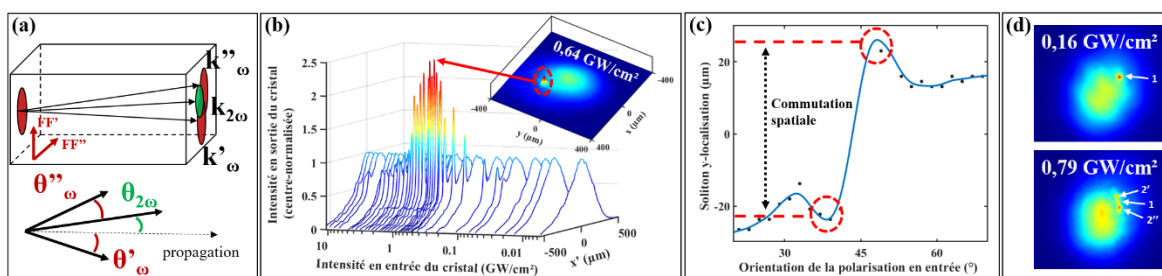


Fig. 1 : (a) Schéma expérimental ; (b) Apparition puis disparition du phénomène autoguidé dans le cristal KTP, en fonction de la puissance ($\Delta k = 0$) ; (c) Évolution de la position du faisceau autoguidé en fonction de l'orientation du vecteur polarisation d'entrée (intensité $0,66 \text{ GW/cm}^2$, $\Delta k = 0$) ; (d) Génération cascadee de faisceaux multiples ($\Delta k > 0$, polarisation d'entrée = 45°).

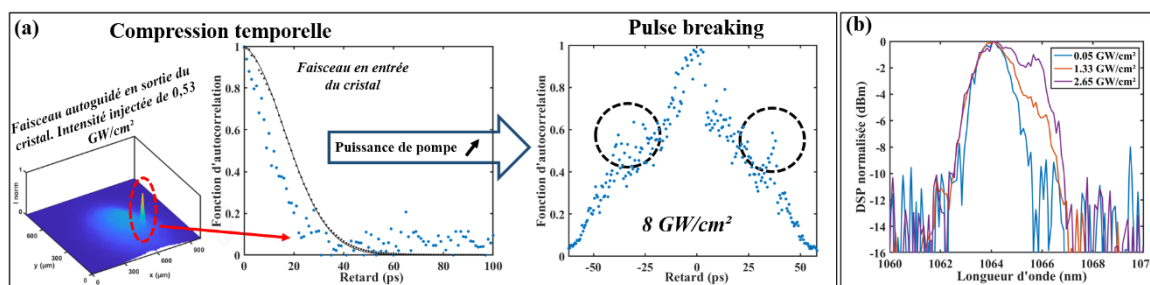


Fig. 2 : (a) Compression et « pulse breaking » ($\Delta k = 0$ et polarisation d'entrée = 63°) ; (b) Élargissement spectral, asymétrique, aux fréquences fondamentales ($\Delta k > 0$ et polarisation d'entrée = 69°).

CONCLUSION

Nous avons observé un phénomène d'autoguidage 2D, déclenché par une surintensité locale. Bien qu'éloigné des conditions expérimentales fréquemment employées pour obtenir des solitons de Peregrine ou des quasi-solitons, nous avons néanmoins pu générer un faisceau localisé et confiné de forte intensité avec la possibilité de cascader ou de commuter celui-ci en fonction de la direction de polarisation ou de l'accord de phase en entrée du cristal. Ces propagations peuvent mener à des applications d'adressages logiques « tout optique », ou à la réalisation d'absorbants saturables sélectifs en fréquence avec possibilités de remodelages temporels.

Ces travaux ont été réalisés avec l'aide du H2020 European Research Council (740355, 874596 et 950618).

REFERENCES

- [1] J. Scott Russell, "Report on waves." Fourteenth meeting of the British Association for the Advancement of Science, (1844).
- [2] Yu. N. Karamzin and A. P. Sukhorukov, "Mutual focusing of high-power light beams in media with quadratic nonlinearity." Sov. Phys. JETP 41, 414 (1976).
- [3] William E. Torruellas, Zuo Wang, David J. Hagan, Eric W. VanStryland, and George I. Stegeman, "Observation of two-dimensional spatial solitary waves in a quadratic medium." Phys. Rev. Lett. 74, 5036 (1995).
- [4] Michaël Delqué, Gil Fanjoux, Simon-Pierre Gorza, Marc Haelterman, "Spontaneous 2D modulation instability in second harmonic generation process." Opt. Commun. 284, 1401–1404 (2011).
- [5] V. Couderc, E. L. Lago, C. Simos, A. Barthelemy, "Experiments in quadratic spatial soliton generation and steering in a noncollinear geometry." Opt. Lett. 26 (12), 905-907 (2001).
- [6] Fabio Baronio, "Akhmediev breathers and Peregrine solitary waves in a quadratic medium." Opt. Lett., 42, 1756–1759 (2017).
- [7] R. Schiek, and F. Baronio, "Spatial Akhmediev breathers and modulation instability growth-decay cycles in a quadratic optical medium." Phys. Rev. Research 1, 032036 (2019).