

PHÉNOMÈNES EXTRÊMES AUTOGUIDÉS DANS LES CRISTAUX QUADRATIQUES

Raphael Jauberteau^{1,2}, Alessandro Tonello², Katarzyna Krupa³, Stefan Wabnitz^{1,4,5}, 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 *DIET, Sapienza Università di Roma, via Eudossiana 18, 00184 Rome, Italy*

⁵ *Istituto Nazionale di Ottica del Consiglio Nazionale delle Ricerche, Via Campi Flegrei 34, I-80078 Pozzuoli (NA), Italy*

raphael.jauberteau@xlim.fr

RÉSUMÉ

Nous montrons l'existence de phénomènes extrêmes 2D, autoguidés dans des cristaux non linéaires quadratiques. Au-delà de la formation spontanée d'une onde auto confinée stable, nous montrons des effets de commutation ultrarapide, de cascade d'événements localisés et de compensation de différence de vitesse entre ondes qui interagissent entre elles.

MOTS-CLEFS : *Quasi-Soliton ; Commutation ultrarapide ; Cascading ; Génération de seconde harmonique*

1. INTRODUCTION

Les ondes solitoniques [1] sont observables dans un grand nombre de conditions et dans divers domaines tels que l'électronique, l'optique, ou la dynamique des fluides. Certaines de ces solutions ont été considérées pour la description d'événements extrêmes. S'il est souvent admis qu'un soliton est une solution exacte de certaines équations de propagation non linéaire en milieu dispersif et/ou diffractif, on peut néanmoins souligner que dans la réalité le mot « soliton » est souvent employé au sens large pour désigner une propagation non linéaire sans déformation, même s'il n'existe pas de solution mathématique exacte. C'est l'exemple des quasi-solitons basés sur une non-linéarité d'ordre deux dans les cristaux doubleurs de fréquence [2-3]. Ces faisceaux autoguidés peuvent être engendrés par instabilité modulationnelle [4] dans des structures à une ou deux dimensions spatiales et peuvent interférer pour donner lieu à des commutations ultrarapides exploitables pour l'adressage spatial de faisceau ou de remodelage temporel d'impulsions courtes [5]. Plus récemment, il a été démontré que les solitons de Peregrine, localisés en temps et en espace (1D uniquement), et que les *breathers* d'Akhmediev, localisées en espace (1D), ou en temps [6-7] pouvaient être obtenus dans des matériaux qui ont une non-linéarité d'ordre deux. La particularité de ces faisceaux réside dans le fait qu'ils sont décrits par une équation de propagation non linéaire intégrable dans le cas d'une dimension (spatiale transverse ou temporelle).

Dans ce papier nous montrons qu'il existe des propagations autoguidées non linéaires stables à deux dimensions dans les cristaux doubleurs de fréquence. Celles-ci impliquent un confinement transverse et apparaissent de manière très localisée à la surface de faisceaux collimatés. Cette apparition peut également provoquer la génération de faisceaux multiples et autoguidés, engendrés par une surintensité locale. Une commutation spatiale en fonction de la polarisation et une compensation des directions de propagation sont également observées. Ces processus peuvent également s'apparenter à un effet d'autonettoyage spatial en transformant un faisceau à directions

multiples en un faisceau possédant un seul coefficient directeur. Une structuration périodique du faisceau de pompe permet également d'obtenir l'apparition d'un ou plusieurs réseaux de ces ondes confinées. Des simulations numériques permettent de mieux appréhender ces propagations extrêmes 2D.

2. CONDITIONS EXPÉRIMENTALES

Le but de notre montage optique est d'étudier une propagation stable d'événements extrêmes créés par plusieurs faisceaux non colinéaires et non diffractants au sein d'un cristal à non-linéarité quadratique. Nous avons injecté un faisceau gaussien à 1064 nm de 200 μm de rayon (à $1/e^2$) et de 30 ps de durée dans un cristal de KTP (8x8x30 mm) préparé pour une génération de second harmonique de type II. L'onde incidente (k_ω) est spontanément divisée en deux faisceaux fondamentaux (k'_ω et k''_ω) et en un faisceau à l'harmonique double ($k_{2\omega}$) sous l'effet de la double réfraction et de la non-linéarité du milieu. Un second faisceau à la longueur d'onde fondamental possédant un angle de $0,3^\circ$ vis-à-vis du premier peut être rajouté permettant d'introduire trois (2+1) nouvelles directions de propagation pour les ondes fondamentales et seconde harmonique respectivement. L'orientation de la direction de polarisation ainsi que la puissance initiale sont ajustables avec un contrôle fin de l'accord de phase. Une caméra CCD et un polariseur de sortie permettent d'analyser le rayonnement en sortie de cristal.

3. RESULTATS

Grâce à une augmentation progressive de la puissance, nous pouvons obtenir une autofocalisation locale permettant d'engendrer, en sortie, une onde autoguidée stable dans le temps (voir figure 1b). La localisation de cette onde n'est pas exactement située au centre du faisceau là où le maximum de puissance est visualisé, mais à l'interface des deux ondes fondamentales polarisées perpendiculairement l'une à l'autre. Le faisceau autoguidé est alors constitué des deux faisceaux fondamentaux polarisés perpendiculairement et par l'onde de seconde harmonique compensant ainsi les différences de direction de propagation. Le rayon à $1/e^2$ du maximum mesuré en sortie est proche de 30 μm . Dans ces conditions, la quantité d'énergie autoguidée peut atteindre plus de 3 % de l'énergie totale du faisceau en sortie du cristal, et dépend de la largeur initiale du faisceau exciteur. L'intensité de l'onde confinée est alors environ 2,4 fois plus élevée que celle du faisceau entier en sortie de cristal. Cet effet d'autoguidage spontané peut être obtenu pour un désaccord de phase positif, négatif ou nul. Le seuil d'intensité est de l'ordre de 0,05 GW/cm² et reste stable jusqu'à une intensité de 1 GW/cm² (dans le cas d'accord de phase parfait) du fait de la saturation de l'effet non linéaire d'ordre deux.

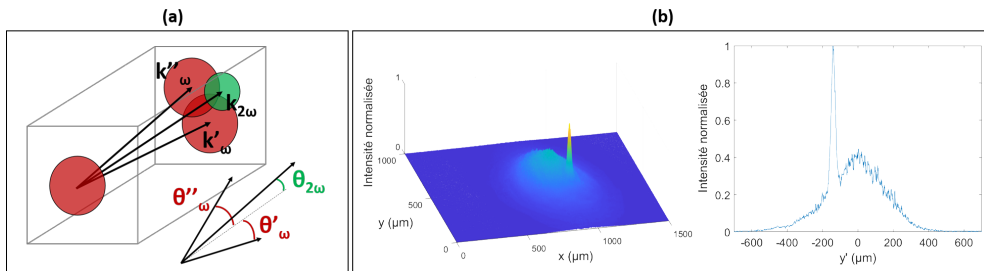


Fig. 1 : (a) Schéma expérimental ; (b) Exemple d'événements extrêmes obtenus dans un cristal de KTP pour une intensité de 0,3 GW/cm² ; (gauche) : vue 3D de l'intensité; (droite) : profil de l'intensité (50° de l'axe y).

Ici, les conditions expérimentales utilisées sont très différentes de celles employées pour engendrer un quasi-soliton quadratique [2]. Dans notre expérience, aucun effet de diffraction n'est nécessaire pour démarrer le processus de guidage. Seule la densité de puissance locale permet de démarrer l'autofocalisation qui tend alors à se stabiliser grâce à la saturation de l'effet de conversion non linéaire. On est également loin des conditions expérimentales permettant la génération d'un soliton de Peregrine à cause de la nature bidimensionnelle du domaine transverse.

La modification de l'orientation de l'état de polarisation en entrée a un fort impact sur la localisation spatiale de l'effet d'autoguidage, la position du faisceau confiné est principalement influencée par la composante de polarisation fondamentale la plus forte. Ainsi, une commutation spatiale peut être obtenue en changeant l'orientation de la polarisation en entrée (figure 2c). De la même manière, le contenu énergétique du faisceau autoguidé est dépendant de la polarisation. Cette évolution est montrée sur la figure 2b. Enfin, l'augmentation de la puissance d'entrée permet d'obtenir des événements multiples couplés entre eux. La figure 2a montre un exemple de la génération cascadée de faisceaux autoguidés. Un faisceau entraîne des modulations périphériques qui, sous l'effet de l'augmentation de la puissance d'entrée, génèrent d'autres faisceaux autoguidés.

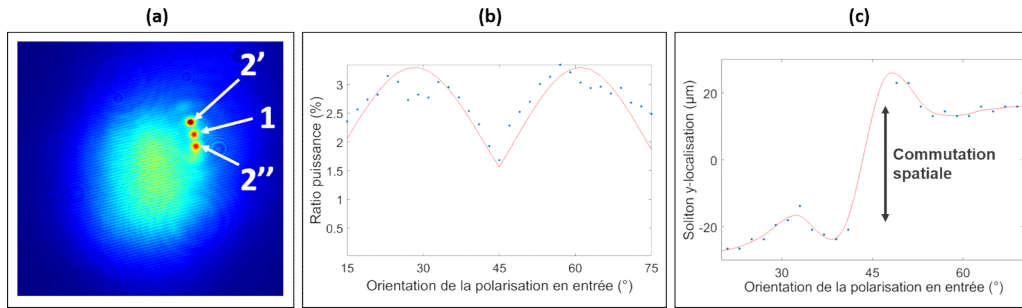


Fig. 2 : (a) Génération cascadée de faisceaux multiples (intensité $0,66 \text{ GW/cm}^2$, $\Delta k > 0$, polarisation d'entrée = 45°) ; (b) Contenu énergétique du faisceau autoguidé en fonction de l'orientation du vecteur polarisation d'entrée (intensité $0,66 \text{ GW/cm}^2$, $\Delta k = 0$) ; (c) Évolution de la position du faisceau autoguidé en fonction de l'orientation du vecteur polarisation d'entrée (intensité $0,66 \text{ GW/cm}^2$, $\Delta k = 0$).

CONCLUSION

Nous avons observé que des événements extrêmes à deux dimensions pouvaient être obtenus par propagation intense dans un cristal doubleur de fréquence. Au-delà des conditions expérimentales qui sont très différentes de celles utilisées pour les quasi-solitons ou les solitons de Peregrine, nous avons observé des effets de commutations spatiales contrôlées par la polarisation d'entrée ainsi que des effets cascades conduisant à la création de plusieurs faisceaux autoconfinés. Ces propagations peuvent être utilisées pour réaliser des fonctions logiques d'adressages et de commutations ultrarapides, mais aussi des transparents saturables pouvant être déclinés à différentes longueurs d'onde. L'effet non linéaire permet également de forcer l'énergie optique à se propager selon une seule direction de propagation ce qui s'apparente à transformer un faisceau multidirectionnel en un faisceau quasi-monomode spatial grâce à la non-linéarité quadratique.

RÉFÉRENCES

- [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] Roland Schiek, et al., "Spatial Rogue Waves in Quadratic Optical Slab Waveguides." Nonlinear Photonics, Zurich Switzerland, 2-5 July 2018, OSA Tech. Digest, paper NpTh1H.7, 2018.