



HAL
open science

GUIDES D'ONDES COMPLEXES INDUITS PAR DES FAISCEAUX DE BESSEL

Yue Chai, Nicolas Marsal, Delphine Wolfersberger

► **To cite this version:**

Yue Chai, Nicolas Marsal, Delphine Wolfersberger. GUIDES D'ONDES COMPLEXES INDUITS PAR DES FAISCEAUX DE BESSEL. OPTIQUE Dijon 2021, Jul 2021, Dijon, France. hal-03593690

HAL Id: hal-03593690

<https://centralesupelec.hal.science/hal-03593690v1>

Submitted on 2 Mar 2022

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.

GUIDES D'ONDES COMPLEXES INDUITS PAR DES FAISCEAUX DE BESSEL

Yue Chai ^{1,2}, Nicolas Marsal ^{1,2}, Delphine Wolfersberger ^{1,2}

¹ Université de Lorraine, CentraleSupélec, LMOPS, F-57000 Metz, France

² Chair in Photonics, CentraleSupélec, LMOPS, F-57070 Metz, France

yue.chai@centralesupelec.fr

RÉSUMÉ

Nous démontrons numériquement que la propagation et l'interaction de faisceaux de Bessel dans un cristal photoréfractif combinées à une variation de la non-linéarité du milieu peuvent créer des guides d'ondes photo-induits avec des structures complexes. Ces dernières présentent des perspectives intéressantes pour l'interconnexion tout-optique.

MOTS-CLEFS : *faisceau de Bessel; milieu photoréfractif non linéaire; guides d'ondes induits.*

1. INTRODUCTION

Récemment, la propagation et l'interaction de faisceaux non conventionnels de type Airy dans des milieux non linéaires ont permis la création de structures complexes de guides d'ondes photo-induits [1-2]. Il a été montré que ces structures multi-guides sont différentes de celles induites par des faisceaux Gaussiens en raison de leur structure multi-lobes et des propriétés spécifiques des faisceaux d'Airy avec notamment la possibilité de guider des ondes avec des décalages transverses de faisceaux en interaction qui dépassent de loin la taille du faisceau lui-même (cas des interactions classiques Gaussiennes). D'autres travaux ont démontré la possibilité de générer différents types de faisceaux non conventionnels avec des profils autres de ceux des faisceaux d'Airy. Parmi eux, les faisceaux dits de Bessel présentent et partagent avec les Airy des propriétés de propagation comme la non-diffraction, l'auto-régénération dans un matériau linéaire [3] et l'auto-piégeage dans un milieu non linéaire [4-5].

Dans ce travail, nous nous intéressons à l'étude de l'effet de guidage induit par des interactions non linéaires de faisceaux de Bessel dans un milieu non linéaire photoréfractif. En variant les paramètres des faisceaux de Bessel et la non-linéarité, nous démontrons la possibilité de créer différents guides d'ondes complexes photo-induits avec plusieurs entrées et sorties adressables dans le matériau.

2. MODELE NUMERIQUE

Notre modèle mathématique est basé sur l'interaction de deux faisceaux de Bessel contrapropageants dans un cristal photoréfractif : un premier faisceau F qui se propage selon la direction (+z) et un autre faisceau B qui se propage dans la direction opposée (-z). Les deux faisceaux sont exprimés respectivement par les Eq. (1) et (2) :

$$F(X, Z = 0) = F_0 J_n(X) \exp\left(-\frac{X^2}{(\omega_0 \cdot k_t)^2}\right) \quad (1)$$

$$B(X, Z = L) = B_0 J_n(X + D) \exp\left(-\frac{(X + D)^2}{(\omega_0 \cdot k_t)^2}\right) \quad (2)$$

où F_0 et B_0 sont respectivement les amplitudes des faisceaux F et B , n est l'ordre du faisceau de Bessel, $X = k_t \cdot x$ où k_t est le nombre d'onde transverse, est ω_0 le paramètre de troncature Gaussien et D est le décalage pouvant être induit entre les deux faisceaux d'entrée.

Les équations de la propagation des faisceaux de Bessel dans un milieu photoréfractif sont décrites par les équations suivantes :

$$i\partial_z F + \partial_x^2 F = \Gamma E_0 F \quad (3)$$

$$-i\partial_z B + \partial_x^2 B = \Gamma E_0 B \quad (4)$$

Avec Γ la non-linéarité photoréfractive et E_0 le champ de charges d'espace.

3. RESULTATS

La Figure 1 (a) montre la distribution d'intensité d'un faisceau de Bessel se propageant dans un cristal de longueur $L=10\text{mm}$. Par effet photoréfractif (effet Pockels), due à la variation d'indice correspondant à la propagation du faisceau à l'intérieur du matériau, des guides d'ondes ayant plusieurs entrées et sorties peuvent ainsi être créés. Nous démontrons notamment que pour des ordres de faisceaux de Bessel supérieurs, des guides d'ondes de 2, 3 ou bien 4 entrées/sorties peuvent être créés dans le milieu (Fig. 1 (b)).

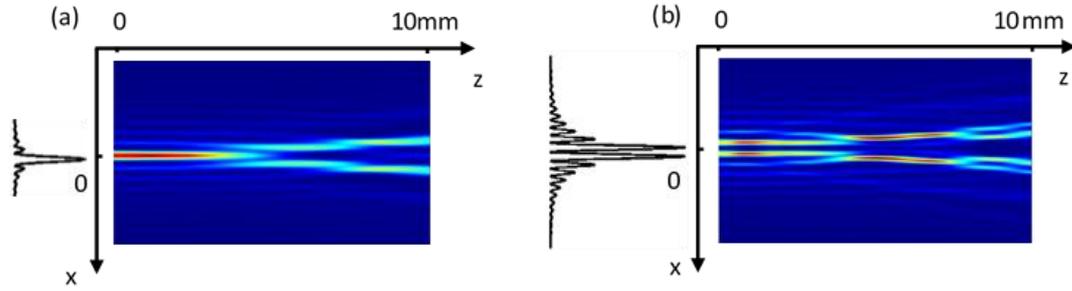


Fig. 1 : (a) Distribution d'intensité d'un seul faisceau de Bessel d'ordre 0 se propageant dans un cristal photoréfractif de longueur 10 mm avec une non-linéarité $\Gamma=3$; (b) Distribution d'intensité d'un seul faisceau de Bessel d'ordre 1 se propageant dans un cristal de 10 mm avec une non-linéarité $\Gamma=5$.

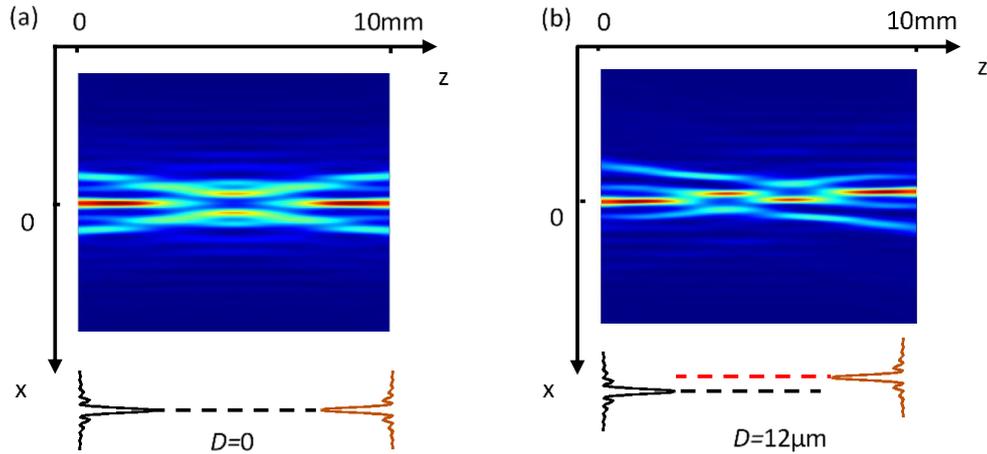


Fig. 2 : (a) Distribution d'intensité de deux faisceaux de Bessel d'ordre 0 contra-propageant dans un cristal de 10 mm avec une non-linéarité $\Gamma=2$; (b) Distribution d'intensité de deux faisceaux de Bessel d'ordre 0 contra-propageant dans un cristal de 10 mm avec une non-linéarité $\Gamma=4$

L'interaction de deux faisceaux de Bessel contra-propageant dans le cristal photoréfractif offre la possibilité de former des guides d'ondes plus complexes. Comme le montre la figure. 2 (a), la propagation des deux faisceaux alignés ($D=0$) dans le cristal permet de former un réseau de guides d'ondes ayant également plusieurs entrées/sorties. Néanmoins, en décalant les 2 faisceaux d'une quantité $D=12\ \mu\text{m}$ (Fig. 2 (b)), il devient possible d'aligner les lobes respectifs des deux

faisceaux qui peuvent ainsi fusionner et se réorganiser dans le milieu non linéaire, photo-induisant une structure de guidage qui offre des possibilités de commutations intéressantes entre les différentes entrées/sorties.

CONCLUSION

En conclusion, comparés aux faisceaux Gaussiens et aux faisceaux d'Airy, la propagation et l'interaction de faisceaux de Bessel via la variation de différents paramètres caractéristiques tels que l'ordre de la fonction de Bessel, le décalage transverse des faisceaux et la non-linéarité photoréfractive, permettent d'induire des structures de guidage bien plus complexes. Ces structures peuvent avoir de multiples entrées/sorties et une commutation transversale plus large ($\approx 5x_A$ où x_A est le rayon des faisceaux de Bessel d'entrée), offrant de nouvelles perspectives de routage tout-optique de l'information.

RÉFÉRENCES

- [1] N. Wiersma, N. Marsal, M. Sciamanna, and D. Wolfersberger, "All-optical interconnects using Airy beams," *Opt. Lett.* vol. 39, pp. 5997-6000, 2014.
- [2] N. Wiersma, N. Marsal, M. Sciamanna, D. Wolfersberger, "Spatiotemporal dynamics of counterpropagating Airy beams," *Sci. Rep.* vol. 5, pp. 13463, 2015.
- [3] J. Durnin, "Exact solutions for nondiffracting beams. I. The scalar theory," *J Opt Soc Am.* vol. 4, pp. 651, 1987.
- [4] R. Gadonas, V. Jarutis, R. Pakauskas, V. Smilgevicieus, A. Stabinis, and V. Vaicaitis, "Self-action of Bessel beam in nonlinear medium," *Opt. Commun.* vol. 196, pp. 309-316, 2001.
- [5] M. Flaminni, G. Di Domenico, D. Pierangeli, F. Di Mei, A. J. Agranat, and E. DelRe. "Observation of Bessel-beam self-trapping," *Phys Rev A.* vol. 98, pp. 033808, 2018.