Contrôle des modes singuliers de fibres optiques hautement multimodes à géométrie non standard

Valérie Doya, Markus Allgaier, Olivier Legrand, Claire Michel, Fabrice Mortessagne

▶ **To cite this version:**

Valérie Doya, Markus Allgaier, Olivier Legrand, Claire Michel, Fabrice Mortessagne. Contrôle des modes singuliers de fibres optiques hautement multimodes à géométrie non standard. 34 ème Journées Nationales d'Optique Guidée, Société Française d'Optique, Oct 2014, Nice, France. hal-01304143

HAL Id: hal-01304143
https://hal.science/hal-01304143

Submitted on 19 Apr 2016

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.

CONTRÔLE DES MODES SINGULIERS DE FIBRES OPTIQUES HAUTEMENT MULTIMODES À GÉOMÉTRIE NON STANDARD

Valérie Doya, Markus Allgaier, Olivier Legrand, Claire Michel, Fabrice Mortessagne

Laboratoire de Physique de la Matière Condensée, Université Nice Sophia Antipolis, UMR CNRS 7336, Parc Valrose, 06108 NICE CEDEX, France

valerie.doya@unice.fr jnog2014@sciencesconf.org

RÉSUMÉ

Si les fibres optiques multimodes à section transverse non circulaire constituent des laboratoires d'études privilégiés pour sonder les manifestations ondulatoires du chaos des rayons, ces dernières confèrent des propriétés singulières aux modes de propagation. Nous montrons comment le contrôle des modes dans des fibres hautement multimodes peut être simplifié par l'introduction d'une complexité induite par la dynamique géométrique.

MOTS-CLEFS : *propagation guidée, fibres multimodes*

1. INTRODUCTION

Après avoir été délaissées à la fin des années 80 au profit des fibres monomodes, les fibres optiques multimodes suscitent un regain d'intérêt dans le domaine des télécommunications optiques en tant que support de transmission. Pour répondre aux attentes toujours croissantes de capacité de transmission, les modes de propagation constituent potentiellement comme des canaux de transmission indépendants[1]. D'un point de vue purement fondamental, les fibres optiques multimodes servent de laboratoire d'étude des manifestations ondulatoires du chaos des rayons émergeant suite à la modification de la géométrie de la section transverse[2, 3]. Dans ce travail, nous montrons comment les modes d'une fibre à section transverse tronquée présentant des propriétés spatiales et spectrales singulières peuvent être facilement controlés et sélectionnés dans des fibres hautement multimodes grâce à la complexité géométrique sous jacente du système.

2. MODES SINGULIERS LE LONG DE TRAJECTOIRES PÉRIODIQUES

Les fibres considérées possèdent un cœur multimode tronqué de rayon $R = 62.5\mu m$ telle que la longueur de la portion tronquée $d = 1.05R$, et, une différence d'indice entre le cœur et la gaine de l'ordre de 0.2 tel qu'un millier de modes guidés sont dénombrés. Dans ce régime où la limite géométrique des rayons est valide, le comportement ondulatoire est conditionné par les propriétés de la dynamique géométrique. L'espace des phases, qui reporte l'angle du rayon par rapport à la normale au contour en fonction de sa position sur le contour à chaque réflexion est l'outil usuellement utilisé pour caractériser la dynamique géométrique. Ainsi, dans notre système, contrairement au cas d'une section circulaire, deux types de dynamique coexistent : une dynamique régulière associée à l'évolution de rayons autour de trajectoires périodiques stables ainsi qu'une dynamique chaotique caractérisée par l'évolution erratique des rayons (voir figure 1(b)). Ces deux comportements se retrouvent au niveau ondulatoire : certains modes, dits réguliers, présentent une localisation spatiale du champ le long des trajectoires périodiques, d'autres, dits chaotiques, ont une répartition diffuse du champ. On s'intéresse en particulier aux modes pour lesquels l'intensité du champ se localise le long de l'axe de symétrie de la section transverse de la fibre, associée à une trajectoire périodique après deux rebonds sur le contour de la section de la fibre (fig.1(c)). Cette trajectoire est dite stable et se trouve au centre de l'îlot principal de stabilité de l'espace des phases.

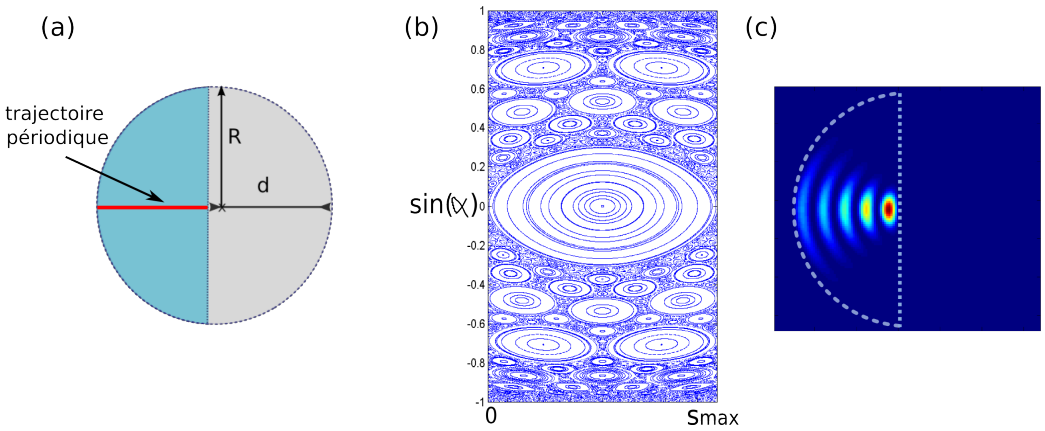

FIGURE 1 : (a) Section transverse de la fibre tronquée, (b) espace des phases associé à une fibre tronquée avec $d = 1.05R$. Les îlots de stabilité sont entourés d'une mer chaotique. (c) Mode localisé le long de la trajectoire périodique à deux rebonds.

Les modes associés peuvent ainsi être vus comme les modes gaussiens fondamentaux d'un résonateur stable à deux dimensions constitué par la section transverse de la fibre. Leurs vecteurs d'onde transverses k_t sont alors donnés par la condition de résonance le long de la trajectoire périodique $\mathscr{L}$:

$$k_t \mathscr{L} = 2\pi n + \Delta\phi + \phi_{\text{Gouy}}, \tag{1}$$

avec n un entier donnant l'ordre du mode, $\Delta\phi$ la phase induite par les réflexions sur l'interface cœur/gaine et ϕ_{Gouy} la phase de Gouy induite par la focalisation du faisceau gaussien à proximité de la partie plane. La stabilité de la trajectoire sous-jacente et l'existence d'un point de focalisation commun à la famille de ces modes réguliers permettent de les contrôler de façon simplifiée dans une fibre supportant pourtant un millier de modes guidés. Ainsi, en focalisant un faisceau laser sur la zone de focalisation des modes, il est possible de sélectionner un ensemble de modes réguliers. La figure 2 reporte l'intensité en fonction du vecteur d'onde transverse, le spectre en vecteur d'onde transverse, correspondant à la propagation de cette condition initiale. La réponse obtenue est celle associée aux modes gaussiens fondamentaux du

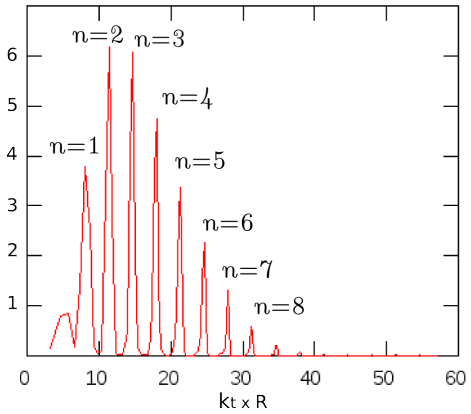

FIGURE 2 : Intensité en fonction du vecteur d'onde transverse k_t associée à la propagation d'un faisceau gaussien focalisé sur la zone de focalisation des modes réguliers. Seuls les modes réguliers sont excités et se propagent. n correspond à l'ordre des modes réguliers excités (eq.1).

résonateur stable. L'intervalle spectral libre est proportionnel à $2\pi/\mathscr{L}$. Par leur localisation spatiale d'intensité et la distribution de leur vecteur d'onde transverse, ces modes réguliers apparaissent singuliers par

rapport aux autres modes supportés par la fibre. Isolés par ces propriétés, ils peuvent se présenter comme des candidats originaux pour réaliser du multiplexage modal. En outre, dans de précédents travaux, nous avons montré que nous pouvions amplifier sélectivement des modes localisés dans une fibre double gaine à section tronquée avec $d = 0.5R$[4].

CONCLUSION

Nous présenterons de façon détaillée lors de l'exposé les propriétés de ces modes singuliers, leur amplification sélective et exposeront leur potentiel applicatif notamment pour le multiplexage modal.

RÉFÉRENCES

[1] D. Richardson, J. M. Fini, L. E. Nelson, "Space-division multiplexing in optical fibres", *Nature Photonics*, vol. 7, pp354-362, 2013.

[2] V. Doya, O. Legrand, F. Mortessagne, C. Miniatura, "Speckle statistics in a chaotic multimode fiber," *Phys. Rev. E*, vol. 65, 0566223, 2002.

[3] V. Doya, O. Legrand, F. Mortessagne, C. Miniatura, "Light scarring in an optical fiber," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 88, 024102, 2002.

[4] C. Michel, S. Tascu, V. Doya, P. Aschiéri, W. Blanc, O. Legrand, and F. Mortessagne, "Experimental phase-space-based optical amplification of scar modes," *Phys. Rev. E*, vol. 85, 047201, 2012.