


29 MAI 2018

Article de recherche

TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION

# La génération et caractérisation des faisceaux cylindriques vectoriels

Le texte qui suit est l'un des articles finalistes du concours de résumés du SARA 2017. Il s'est mérité le premier prix pour sa clarté et la qualité de la présentation du projet de recherche. Vous pouvez aussi consulter les autres textes soumis dans le cadre du concours du SARA.

 Prabin Pradhan

 Bora Ung



## RÉSUMÉ:

Confrontée à la demande toujours croissante d'applications multimédias à large bande passante, la capacité ultime de transmission de données d'une fibre optique monomode standard, l'épine dorsale de l'Internet, devrait être atteinte au cours de la prochaine décennie. Le multiplexage spatial vise à exploiter la grande diversité de modes spatiaux existant dans les fibres multimodes et les fibres faiblement multimodes en vue d'augmenter la capacité de transmission à l'intérieur d'une seule fibre [1]. De plus, on estime que les mêmes techniques de multiplexage spatial, conçues pour générer et réguler la transmission modale dans les fibres multimodes et les fibres faiblement multimodes, pourraient être utilisées pour fabriquer des capteurs multiparamétriques [2].

## Objectifs de recherche

Le premier objectif de ce projet est d'étudier des fibres faiblement multimodes spécialement conçues et d'élaborer des méthodes novatrices d'excitation et de régulation des modes vectoriels d'ordre supérieur qui peuvent se propager dans ces fibres spécialisées. Contrairement aux modes scalaires classiques, les modes vectoriels possèdent des propriétés particulières de polarisation ainsi que la capacité unique de transporter des états quantiques de moment angulaire orbital [3], ce qui offre plus de flexibilité autant pour les applications en communications optiques que celles en détection. Le deuxième objectif est d'appliquer les nouvelles techniques de multiplexage spatial utilisées pour la caractérisation des liens de communication à une nouvelle génération de capteurs à fibre distribués multiparamétriques (pour la température et les contraintes mécaniques) pour les structures de génie civil et les capteurs biomédicaux spécialisés tels que le suivi des traumatismes à la moelle épinière.

## Méthodologie

La première étape consiste à concevoir un convertisseur de mode efficace pour exciter de manière sélective le ou les modes vectoriels souhaités. Ce convertisseur sera réalisé à même la fibre au moyen d'un réseau à longue période mécaniquement accordable [4]. Une autre méthode pour générer des modes vectoriels, utilisant un modulateur spatial de lumière, sera étudiée et comparée à la première. ii) La deuxième étape consistera à transmettre des modes simultanément et à les détecter séparément à la sortie de la fibre multimode au moyen d'un dispositif de démultiplexage spatial. iii) Ensuite, la caractérisation précise de ces modes vectoriels sera réalisée en générant un réseau de Brillouin dynamique dans la fibre, une technique métrologique avancée prometteuse pour les communications par fibre optique [5] et les capteurs à fibre distribués [6]. iv) La phase finale consistera à exploiter les modes vectoriels pour le développement de nouvelles techniques de caractérisation de multiplexage spatial et de capteurs multiparamétriques distribués.

## Résultats

Jusqu'à présent, nous avons démontré l'excitation sélective des modes vectoriels cylindriques au sein de fibres faiblement multimodes au moyen d'un réseau à fibre de longue période [4] et étudié leurs propriétés Brillouin non linéaires dans le but de caractériser sur toute leur longueur les liaisons de télécommunication à fibre optique, ainsi que pour étudier leur potentiel dans les applications de capteurs à fibre distribués [4, 7]. Dans cet article, nous avons présenté pour la première fois la mesure des spectres de gain de Brillouin (voir la figure 1) de modes vectoriels dans une fibre faiblement multimode en ayant recours à une simple technique de détection hétérodyne. Un réseau à longue période mécaniquement accordable est ici utilisé pour exciter de manière sélective les modes vectoriels transmis par la fibre faiblement multimode. En outre, nous démontrons la mesure non destructive des indices de

réfraction effectifs absolus ( $n$ ) des modes vectoriels avec une précision de  $\sim 10^{-4}$ . Une technique qui repose sur les changements de fréquence Brillouin de ces modes. Cette technique représente un nouvel outil de mesure et de contrôle des modes vectoriels ainsi que des modes avec moment angulaire orbital dans les fibres optiques, effectuant ainsi un pas en avant dans le développement d'applications en communications optiques avancées et en détection multiparamétrique.

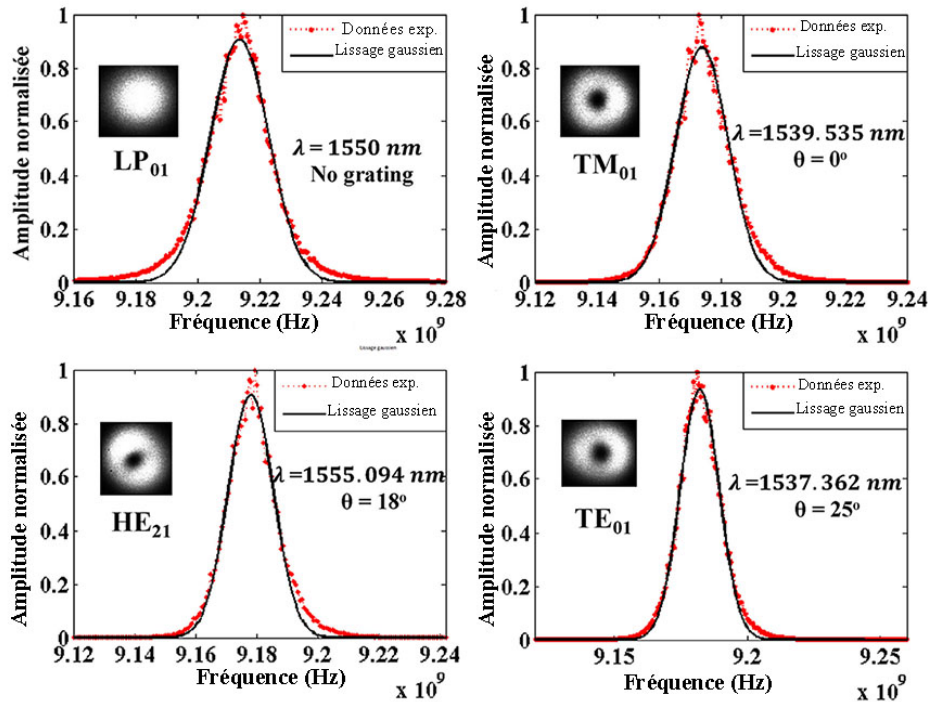


Fig. 1. Spectres de gain de Brillouin mesurés pour les modes vectoriels fondamentaux et d'ordre élevé, et courbes de lissage gaussiennes correspondantes [7].

Récemment, nous avons travaillé sur la génération de faisceaux vectoriels cylindriques dits « parfaits » à l'aide de la transformation de Fourier des faisceaux vectoriels de Bessel-Gauss [8]. Plusieurs groupes de recherche [9, 10] ont démontré qu'il était possible de générer des faisceaux « vortex parfaits » (c'est-à-dire des faisceaux avec moment angulaire orbital), dont l'anneau d'intensité lumineuse est de diamètre et de largeur précisément contrôlés. Ces travaux récents décrivent la capacité de maintenir la forme de l'intensité du faisceau indépendamment de sa charge topologique. En outre, on a pu démontrer qu'on pouvait ajuster le diamètre annulaire de cette nouvelle classe de faisceaux vectoriels indépendamment de l'ordre de polarisation. Toutefois, à notre connaissance, l'ajustement indépendant du diamètre et de la largeur de l'anneau d'intensité des faisceaux vectoriels cylindriques parfaits n'a pas encore été démontré dans son intégralité. Jusqu'à présent, les efforts pour ajuster complètement le profil d'intensité de ces faisceaux ont réussi à obtenir des faisceaux dont seul le diamètre est ajustable et dont la pureté est limitée [11] (montrant une intensité lumineuse résiduelle au centre de l'anneau) par une méthode peu flexible en raison de l'utilisation d'un élément optique statique (phase de Pancharatnam-Berry) [11]. Dans cet article, nous démontrons la génération de faisceaux vectoriels cylindriques parfaits dont le profil d'intensité transversal (largeur et diamètre de l'anneau) peut être ajusté indépendamment et facilement au moyen d'un iris et un masque de phase inscrits sur un modulateur spatial de lumière programmable, comme le montre la figure 2.

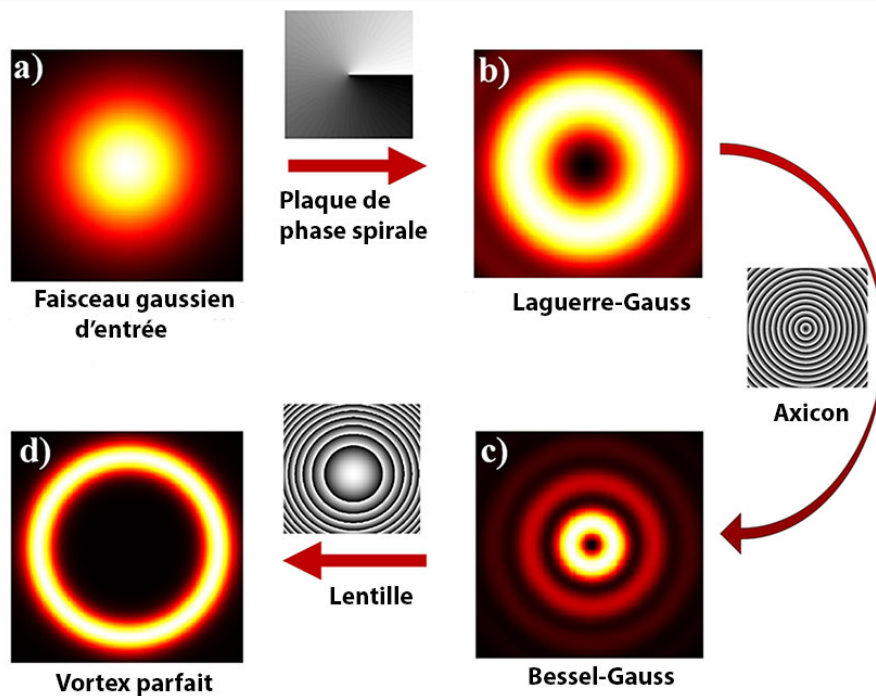


Fig 2. Génération expérimentale et simulée de faisceaux vectoriels cylindriques parfaits. Le type de faisceau généré (TM<sub>01</sub>, TE<sub>01</sub>, HE<sub>21</sub> pair et impair) dépend des charges topologiques et des déphasages attribués à chaque faisceau interférant [8].

L'obtention des faisceaux vectoriels cylindriques parfaits est possible grâce à une méthode interférométrique employant un modulateur spatial de lumière qui permet d'ajuster indépendamment le diamètre et la largeur de l'anneau d'intensité. Le schéma proposé permet de générer différents types de faisceaux présentant des dimensions transversales précises et prédéfinies par l'utilisateur. L'obtention dynamique de différents types de faisceaux vectoriels cylindriques parfaits (dans cette recherche : modes TM<sub>01</sub>, TE<sub>01</sub>, HE<sub>21</sub> pairs et impairs) de largeur et de diamètre souhaités a été démontrée de façon théorique et expérimentale. La capacité de générer des faisceaux vectoriels cylindriques parfaits influence la propagation efficace de modes plus exotiques dans des fibres optiques spéciales, dans le domaine des pinces optiques de même qu'en microscopie à très haute résolution.

## Retombées

La recherche proposée contribuera à démystifier la physique sous-jacente qui guide les interactions lumière-matière à l'intérieur des fibres faiblement multimode et à élaborer de nouvelles méthodes scientifiques pour générer, transmettre, moduler et caractériser les modes vectoriels qui constituent la base fondamentale de la propagation de la lumière dans ces guides d'ondes essentiels. Ce faisant, les résultats de la recherche auront une influence directe sur l'élaboration de nouvelles techniques métrologiques pour la prochaine génération des réseaux de communication à haute vitesse, un domaine stratégique du développement socioéconomique moderne, ainsi que dans le domaine des capteurs à fibre distribués, qui promettent des avancées dans la télésurveillance en temps réel de structures de génie civil et en recherche biomédicale.

## Information supplémentaire

Pour plus d'information sur cette recherche, consulter les articles suivants :

Pradhan, P., et al., The Brillouin gain of vector modes in a few-mode fiber. *Scientific Reports*, 2017. 7.

Pradhan, P., Sharma, M., & Ung, B. (2018). Generation of perfect cylindrical vector beams with complete control over the ring width and ring diameter. *IEEE Photonics Journal*, 10(1).



Prabin Pradhan

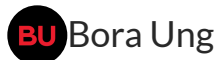
[Profil de l'auteur\(e\)](#)

Prabin Pradhan est doctorant au Département de génie électrique de l'ÉTS. Ses recherches portent sur la génération et la caractérisation de faisceaux vectoriels cylindriques dans une fibre faiblement multimodale.

Programme : [Génie électrique](#)

Laboratoires de recherche : [Laboratoire de photonique innovante \(PHI lab\)](#)

---



Bora Ung

[Profil de l'auteur\(e\)](#)

Bora Ung est professeur au Département de génie électrique à l'ÉTS et membre du regroupement stratégique Centre d'optique, photonique et laser (COPL).

Programme : [Génie électrique](#)

Laboratoires de recherche : [Laboratoire de photonique innovante \(PHI lab\)](#)

---

Laboratoires de recherche : [Laboratoire de photonique innovante \(PHI lab\)](#)

Domaines d'expertise : [Optique-photonique](#) [Dispositifs photoniques](#)  
[Communications optiques](#)

#### Références

1. Richardson, D., J. Fini, and L. Nelson, Space-division multiplexing in optical fibres. *Nature Photonics*, 2013. 7(5): p. 354-362.
2. Li, A., et al., Few-mode fiber based optical sensors. *Optics express*, 2015. 23(2): p. 1139-1150.
3. Ung, B., et al., Few-mode fiber with inverse-parabolic graded-index profile for transmission of OAM-carrying modes. *Optics express*, 2014. 22(15): p. 18044-18055.
4. Pradhan, P., et al. Excitation of vector modes in few-mode fiber using wire-based mechanical long period fiber grating. in *Photonics North*, 2015. 2015. IEEE.

5. Santagiustina, M., et al., All-optical signal processing using dynamic Brillouin gratings. Scientific reports, 2013. 3.
6. Mizuno, Y., et al., Brillouin scattering in multi-core optical fibers for sensing applications. Scientific reports, 2015. 5.
7. Pradhan, P., et al., The Brillouin gain of vector modes in a few-mode fiber. Scientific Reports, 2017. 7.
8. Pradhan, P., Sharma, M., & Ung, B. (2018). Generation of perfect cylindrical vector beams with complete control over the ring width and ring diameter. IEEE Photonics Journal, 10(1).
9. Li, P., et al., Generation of perfect vectorial vortex beams. Optics Letters, 2016. 41(10): p. 2205-2208.
10. Ostrovsky, A.S., C. Rickenstorff-Parrao, and V. Arrizón, Generation of the “perfect” optical vortex using a liquid-crystal spatial light modulator. Optics letters, 2013. 38(4): p. 534-536.
11. Liu, Y., et al., Generation of perfect vortex and vector beams based on Pancharatnam-Berry phase elements. Scientific Reports, 2017. 7.

#### Références images

Toutes les images sont des auteurs. La licence CC de Substance s'applique.