



**HAL**  
open science

## Mesure par microscopie optique de fibres optiques étirées avec une résolution nanométrique

Abderrahim Azzoune, Philippe Delaye, Sylvie Lebrun, Maha Bouhadida,  
Gilles Pauliat

► **To cite this version:**

Abderrahim Azzoune, Philippe Delaye, Sylvie Lebrun, Maha Bouhadida, Gilles Pauliat. Mesure par microscopie optique de fibres optiques étirées avec une résolution nanométrique. JNOG38: 38èmes Journées Nationales d'Optique Guidée, Congrès Optique Toulouse 2018, 2018. hal-01863228

**HAL Id: hal-01863228**

**<https://hal.science/hal-01863228v1>**

Submitted on 28 Aug 2018

**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.

# MESURE PAR MICROSCOPIE OPTIQUE DE FIBRES OPTIQUES ETIRÉES AVEC UNE RESOLUTION NANOMETRIQUE

**Abderrahim Azzoune, Philippe Delaye, Sylvie Lebrun, Maha Bouhadida, Gilles Pauliat**

*Laboratoire Charles Fabry, Institut d'Optique, CNRS, Université Paris-Saclay, 91127 Palaiseau  
cedex, France*

[abderrahim.azzoune@institutoptique.fr](mailto:abderrahim.azzoune@institutoptique.fr)

## RÉSUMÉ

Les fibres optiques étirées, appelées nanofibres, sont des guides d'ondes obtenus par étirage de fibres optiques standard. Le contrôle des mélanges d'onde non linéaires dans ces nanofibres nécessite de connaître leur profil à quelques nanomètres près. Nous décrivons une technique de super-résolution, applicable sur tout microscope optique, qui permet de mesurer ce profil à quelques nanomètres près.

**MOTS-CLEFS :** *Imagerie optique ; Métrologie des nanofibres optiques ; Optique non linéaire ; Microscopie optique.*

## 1. INTRODUCTION

Les fibres optiques étirées sont d'excellentes plateformes pour développer de nouveaux composants optiques et étudier leurs effets non-linéaires [1]. Nous fabriquons ces nanofibres optiques en étirant, par deux platines de translation, une fibre optique télécom standard en silice chauffée par une flamme à butane [2]. Les platines sont contrôlées par ordinateur, ce qui nous donne différents paramètres pour obtenir une grande variété de profils de nanofibres. Le plus grand avantage de ces nanofibres optiques est leur transmission très élevée. Un autre avantage est le confinement de la lumière grâce à leur petit diamètre, ce qui donne des intensités très élevées favorables aux processus non linéaires. Ces effets sont très sensibles au profil de la fibre, c'est-à-dire à la variation du diamètre le long de l'axe de la fibre. L'optimisation des effets non linéaires peut nécessiter la connaissance de ces diamètres à quelques nanomètres près [1]. La simplicité de la microscopie optique la rendrait idéale pour ces mesures de profils non destructifs à condition que la résolution puisse être augmentée au-delà de la limite de diffraction classique. Un moyen habituel pour battre la limite de diffraction est d'ajouter des informations supplémentaires à la mesure. Dans le cas particulier des mesures de fibres étirées, cette information supplémentaire est la connaissance a priori de l'objet à mesurer. Nous supposons que, sur la région de mesure, la fibre est un cylindre de silice parfait, le seul paramètre inconnu étant son diamètre. Cela nous permet de simuler les images recueillies par le microscope pour toute une série de diamètres. En comparant les mesures du microscope avec les images simulées pour des diamètres différents, nous en déduisons le diamètre de notre nanofibre.

## 2. PRINCIPE

Le dispositif expérimental est décrit sur la figure 1 [3]. La nanofibre est rétroéclairée par une DEL qui émet une bande étroite autour d'une longueur d'onde centrale de 462 nm. Le polariseur polarise la lumière le long de l'axe des nanofibres. Cette source est située à environ 20 cm de la nanofibre, de sorte que la lumière peut être assimilée à une onde plane. Le microscope ( $\times 20$  avec une ouverture numérique  $ON = 0,42$ ) est monté sur une translation micrométrique. Ceci nous permet de prendre une série d'images à différentes mises au point, c'est-à-dire le long de  $z$ , en amont et en aval de la nanofibre. Chacune de ces images représente ainsi l'intensité  $I(x, y)$  diffractée par la nanofibre pour une coordonnée  $z$  donnée. On sélectionne alors une position  $y_0$  le long de la nanofibre sur laquelle on cherche à déterminer le diamètre et on isole la coupe correspondante  $I(x, y_0)$  dans chacune des

images. On obtient ainsi une série de profils  $I(x, y_0)$  du diagramme de diffraction pour cette position  $y_0$  et pour une série de  $z$ . Ces profils sont ensuite assemblés par ordinateur pour obtenir une figure de diffraction,  $I(x, z)$  pour un  $y_0$  donné comme celle montrée à droite de la figure 1. Pour déterminer le diamètre à cette position  $y_0$ , nous devons identifier ce motif avec l'un des motifs calculés pour différents diamètres.

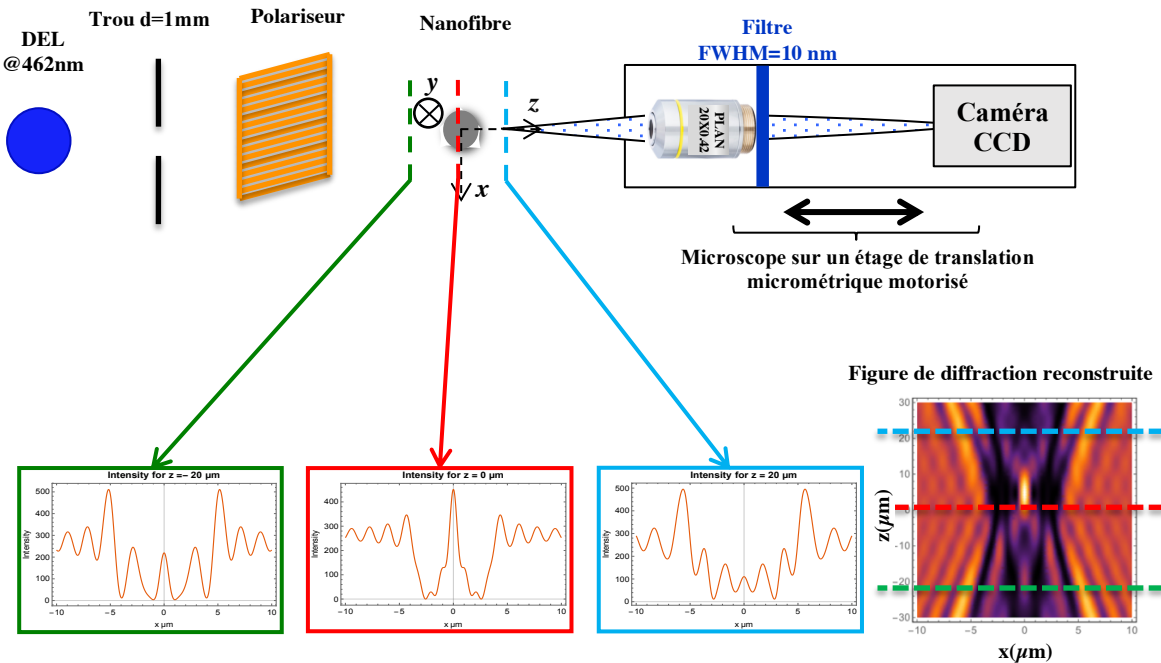


Fig. 1 : Le microscope avec son système d'éclairage.

Pour calculer le champ à n'importe quel point entre la fibre optique et l'objectif, nous utilisons les formules données par Van De Hulst [4]. Ce champ de diffraction est décomposé en ondes planes et toute la décomposition est limitée à l'ouverture numérique de l'objectif. Nous propageons ces ondes planes et nous simulons les images acquises par la caméra pour différentes focalisations.

### 3. RESULTATS EXPERIMENTAUX

Nous fabriquons une nanofibre optique avec un rayon visé de 500 nm grâce à la conservation de volume [2]. Nous acquérons alors la figure de diffraction expérimentale  $I(x, z)$  correspondante comme expliqué ci-dessus. On compare cette figure de diffraction expérimentale avec une base de données de toutes les figures de diffraction simulées pour tous les rayons.

Nous avons automatisé cette comparaison entre la figure acquise et les figures simulées. Les profils  $I(x, y_0)$  acquis sont d'abord recentrés les uns par rapport aux autres afin de compenser tout « bougé » du microscope lors de ses déplacements, ou de la nanofibre en suspension dans l'air. Nous appliquons ensuite un filtre en gradient pour éliminer les composantes continues qui sont non discriminantes. On calcule les distances euclidiennes entre la figure expérimentale et la banque des figures calculées pour différents rayons avec un pas de 1 nm, figures ayant subies le même filtrage en gradient. Le rayon de la fibre correspondant à la distance minimale est le rayon recherché. On mesure un rayon de 503nm, cela nous permet une première vérification de notre technique avec la conservation de volume lors de la fabrication, les deux physiques donnent le même ordre de grandeur.

La procédure automatisée de comparaison est montrée sur la figure 2. La résolution est de 10 nm. Si le calcul des figures pour tous les rayons est long, il est effectué une fois pour toute ; ensuite, chaque détermination du diamètre ne prend que quelques secondes sur un micro-ordinateur.

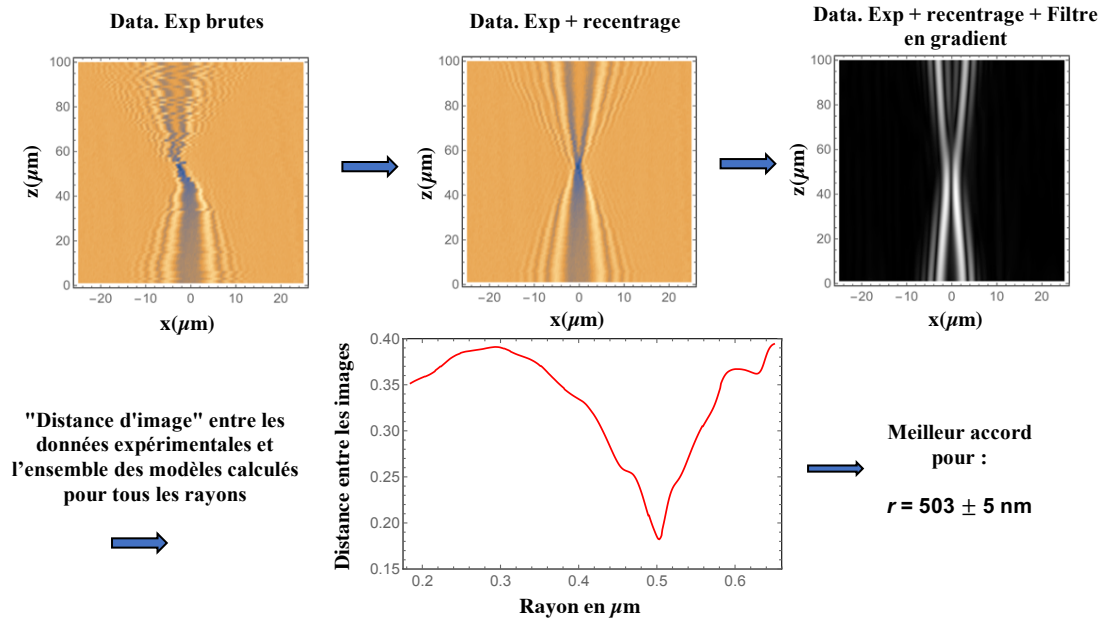


Fig. 2 : La procédure automatisée pour mesurer le rayon de la nanofibre.

### CONCLUSION

Cette méthode de mesure peut être comparée aux autres techniques sans contact rapportées dans la littérature [5-7]. La spectroscopie Brillouin fournit sa meilleure résolution de 20 nm pour des diamètres compris entre 0,36 et 1,2  $\mu\text{m}$  [5]. Pour les mesures de génération de deuxième et troisième harmonique, une résolution de quelques nanomètres est obtenue, mais seulement pour une petite plage de diamètres limitée par la plage de balayage du laser à [0,19  $\mu\text{m}$ , 1  $\mu\text{m}$ ] [6]. La méthode de coupure des modes d'ordre supérieur a une résolution de 5 nm pour un diamètre entre [0,8  $\mu\text{m}$  et 1,3  $\mu\text{m}$ ] [7]. Par conséquent, les avantages de notre technique sont multiples : elle est facile à mettre en œuvre sur des microscopes conventionnels, elle est peu coûteuse et permet une mesure étendue du diamètre en chaque point le long de la nanofibre. La connaissance de ce profil est cruciale en optique non linéaire. La mesure a également l'avantage d'être effectuée à distance de la nanofibre, distance supérieure au centimètre si un objectif de microscope à longue distance de travail est utilisé. Actuellement nous déterminons les diamètres à mieux que 10 nm près. Nous regardons maintenant si des variations de diamètres inférieures au nanomètre peuvent être mesurées grâce à cette technique. Nous espérons ainsi mieux concevoir les composants optiques non linéaires et pouvoir également faire des mesures quantitatives de ces paramètres non linéaires.

Ce travail est financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) (FUNFILM-ANR-16-CE24-0010-03).

### REFERENCES

- [1] X. Wu et al. "Optical microfibers and nanofibers", *Nanophotonics* 2, 407 (2013).
- [2] L. Shan et al. "Stimulated Raman scattering in the evanescent field of liquid immersed tapered nanofibers", *Appl. Phys. Lett.* 102, 201110 (2013).
- [3] A. Azzoune et al, "Optical and opto-acoustical metrology of silica tapered fibers for nonlinear applications" in 2017 OPJ-OSA Joint Symposia on Nanophotonics and Digital Photonics, (Optical Society of America, 2017), paper PL3.
- [4] H.C. Van de Hulst "Light scattering by small particles", New York, Dover Publications (1981).
- [5] A. Godet et al., "Brillouin spectroscopy of optical microfibers and nanofibers," *Optica* 4, 1232 (2017).
- [6] U. Wiedemann et al "Measurement of submicrometre diameters of tapered optical fibers using harmonic generation," *Opt. Exp.* 18, 7693 (2010).
- [7] Y. Xu et al «Real-time control of micro/nanofiber waist diameter with ultrahigh accuracy and precision» *Opt. Exp.* 25, 10434 (2017).