

# Réalisation et caractérisation d'un micro-collimateur à fibres optiques à microlentille héli-ellipsoïdale

Assia GUESSOUM<sup>1</sup>, Philippe ROCHARD<sup>3</sup>, Djouher MALLEK<sup>1</sup>, Nadjiba BOULAICHE<sup>2</sup>,  
Nacer Eddine DEMAGH<sup>2</sup>, Monique THUAL<sup>3</sup>

<sup>1</sup> USTHB, Faculté de physique, Laboratoire d'Electronique quantique ; Alger ; Algérie

<sup>2</sup> UFAS, Institut d'optique et mécanique de précision ; Sétif ; Algérie

<sup>3</sup> Univ Rennes, CNRS, FOTON Institute-UMR 6082, F-22305, Lannion, France

[aguessoum1@usthb.dz](mailto:aguessoum1@usthb.dz); [assiademagh@yahoo.fr](mailto:assiademagh@yahoo.fr)

Nous proposons une technique de fabrication de microlentilles héli-ellipsoïdales en extrémité de fibres optiques monomodes. Nous démontrons le caractère elliptique de ces microlentilles par des mesures géométriques et le calcul des rapports d'ellipticité entre les diamètres de mode mesurés en champ proche selon le petit axe et le grand axe qui révèlent des valeurs comprises entre 0,60 et 0,97. Ces microlentilles sont prometteuses pour améliorer le rendement de couplage entre diodes lasers et fibres optiques pour les communications optiques.

**MOTS-CLEFS :** *fibres optiques ; micro-usinage mécanique ; PDMS, microlentille.*

## 1. INTRODUCTION

Un couplage efficace entre les sources telles que les diodes laser et la fibre est essentiel pour un fonctionnement optimal des systèmes de communication à fibres optiques. Or le rendement de couplage est donné par l'intégrale de recouvrement des champs de mode des faisceaux à coupler. Le faisceau optique émis par une diode laser (LD), étant de section asymétrique, cela nécessite une correction lors de son injection dans les fibres monomodes caractérisées par des faisceaux de sortie de sections transversales circulaires. En effet en l'absence de correction, ceci conduit à un faible rendement de couplage, pour les faisceaux laser à ellipticité élevée [1], dû essentiellement aux différentes sections géométriques. Il devient nécessaire de focaliser, de modifier ou de façonner le faisceau laser (Beam shaping) en utilisant des microlentilles et d'autres éléments. Afin de minimiser les pertes d'injection, on se propose d'intégrer une microlentille asphérique ; semi-ellipsoïdale ; de section elliptique à l'extrémité des fibres optiques. Le choix du procédé de fabrication de microlentille proposé dans ce travail a été dicté par la nécessité d'avoir une méthode automatique et moins coûteuse que les méthodes existantes, qui garantisse une adaptation de mode du laser avec celui de la fibre.

## 2. FABRICATION DES MICROLENTILLES HEMI-ELLIPSOÏDALES

La fabrication de microlentilles asymétriques utilise des procédés à plusieurs étapes avec une fabrication souvent complexe. La nouveauté du type de micro-collimateur développé dans ce travail consiste en la fabrication de microlentilles héli-ellipsoïdales ayant des paramètres opto-géométriques contrôlés par un procédé simple, automatique, reproductible et peu coûteux. La technique nécessite deux étapes, l'une a trait à un façonnage mécanique par polissage de l'extrémité cylindrique des fibres de manière à transformer la section circulaire en une section elliptique. La seconde étape concerne l'injection d'une microgoutte d'un polymère thermodurcissable, de qualité optique en l'occurrence le Poly-Di-Methyl Siloxane (DPMS), sur la section. Du fait des tensions de surface, la microgoutte s'étale et prend une forme héli-ellipsoïdale affectée de deux rayons de courbure distincts dans des directions orthogonales. Plusieurs microlentilles de différents rapports d'ellipticité sont réalisées dans le but d'étudier l'influence de ces paramètres sur les diamètres de mode des microlentilles.

### 2.1 Processus de polissage

Les extrémités de la fibre sont préalablement dégainées, nettoyées et clivées avant le micro-usinage mécanique. Le dispositif de micro-usinage mécanique contrôlé [2] est basé sur la variation de la vitesse de rotation de la fibre autour de son axe. Le temps de polissage et par conséquent la vitesse de polissage varie asymétriquement dans les deux directions des axes (x, y). Le schéma de principe ainsi que les sections transverses elliptiques des fibres ainsi polies sont présentés sur la figure 1.

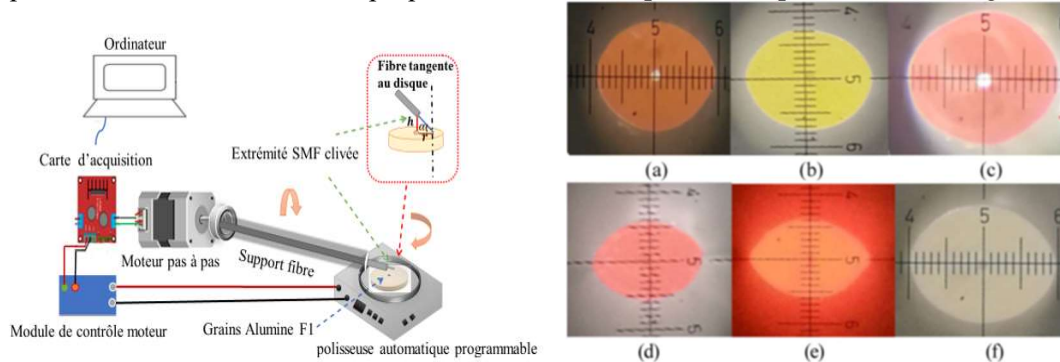


Figure 1 : Gauche : Montage de polissage pour la transformation des extrémités des fibres cylindriques en un profil (section) elliptique ; Droite : Vues au microscope optique des extrémités des fibres à section elliptique après polissage.

## 2.2 Dépôt du polymère PDMS (Polydiméthylsiloxane)

Le dépôt du polymère est gouverné par les lois d'interaction moléculaires du liquide et du support solide. En effet, une fois le polissage terminé, et après la préparation du mélange (PDMS + durcisseur) la fibre est fixée verticalement sur une platine dotée d'un micro-positionneur réglable dans les trois directions (x, y et z). Une seconde fibre sur laquelle est déposée une microgoutte du PDMS à l'aide d'une micro-seringue à débit contrôlé est disposée perpendiculairement à la fibre polie jouant le rôle de support de matière (PDMS). Le transfert du PDMS de la fibre support à la fibre polie se fait, de proche en proche, en choisissant l'endroit où il y a le moins de produit comme montré dans la figure 2 (a). Au contact, la surface clivée se charge du PDMS. Par conséquent, il se forme une calotte, due aux tensions de surface, épousant le contour elliptique. La quantité de PDMS déposée détermine l'épaisseur de la microlentille définie de l'extrémité de la fibre polie jusqu'à l'apex de la microlentille héli-ellipsoïdale. Les étapes d'injection du PDMS sont illustrées dans la figure 2 (b). Le processus d'alignement et de dépôt du polymère à l'extrémité de la fibre est suivi et contrôlé par un système d'acquisition d'image composé d'un microscope horizontal focalisé sur l'extrémité de la fibre, d'une caméra CCD et d'un micro-ordinateur [3].

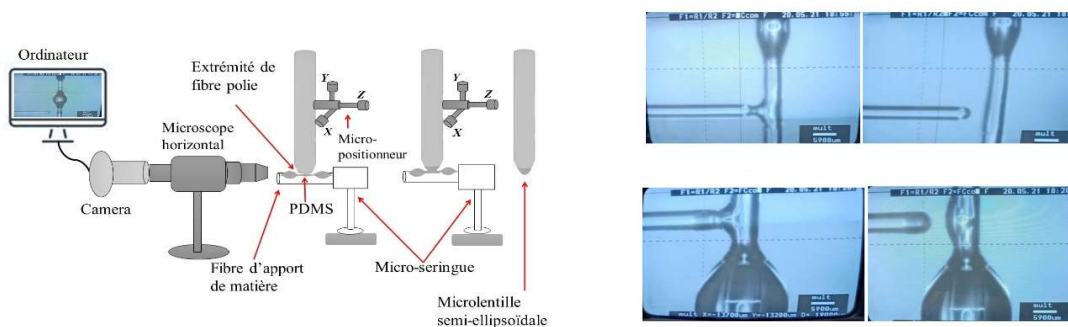


Figure 2 : (a) Montage du dépôt du PDMS ; (b) Étapes d'injection du PDMS pour former la microlentille.

A noter que la quantité de PDMS est ajustable pendant le processus de dépôt, l'épaisseur du profil des microlentilles l'est aussi. L'épaisseur de la microlentille croît avec la quantité de PDMS.

## 3. CARACTERISATIONS OPTO-GEOMETRIQUES

Afin de démontrer le caractère elliptique des microlentilles fabriquées par ce procédé, des mesures géométriques au microscope optique ainsi que de diamètres de mode en champ proche [4] ont été effectuées selon les deux axes de la base elliptique pour 10 microlentilles, notées M1 à M10.

Les mesures géométriques sont récapitulées dans le tableau 1. Les diamètres des sections des extrémités de fibres selon le grand axe ( $D_x$ ) et le petit axe ( $D_y$ ), obtenues après l'étape de polissage ont permis de déterminer des rapports d'ellipticité ( $D_y/D_x$ ) compris entre 0,68 et 0,84. De même les rayons de courbure sont mesurés à partir des vues de côté, selon le grand axe ( $R_x$ ) et selon le petit axe ( $R_y$ ) des microlentilles, illustrées sur les Fig. 3(a) et (b) Les rapports d'ellipticité  $R_y/R_x$  calculés sont compris entre 0,51 et 0,86. L'épaisseur  $E$  des microlentilles est comprise entre 11 et 30  $\mu\text{m}$ .

Tab. 1 : Mesure des diamètres des fibres polies ( $D_x$ ,  $D_y$ ) et des rayons de courbure ( $R_x$ ,  $R_y$ ) de 10 microlentilles (grand axe  $x$ , petit axe  $y$ ), précision  $\pm 0,5 \mu\text{m}$ , rapports d'ellipticités associés et épaisseurs  $E$ .

Microlentilles	$D_x$ ( $\mu\text{m}$ )	$D_y$ ( $\mu\text{m}$ )	Rapport $D_y/D_x$	$R_x$ ( $\mu\text{m}$ )	$R_y$ ( $\mu\text{m}$ )	Rapport $R_y/R_x$	Épaisseur $E$ ( $\mu\text{m}$ )
M1	102,38	72,49	0,68	28,29	18,35	0,64	24,84
M2	115	85,76	0,74	55,81	40,27	0,72	14,42
M3	105,71	72,58	0,68	39,79	23,45	0,58	25,24
M4	116,24	80,95	0,69	46,32	30,07	0,64	16,83
M5	120,7	96,24	0,79	51,52	37,21	0,72	11,04
M6	118,31	99,40	0,84	43,06	28,24	0,65	32,34
M7	98,61	71,33	0,72	40,23	22,35	0,55	13,62
M8	72,15	56,11	0,77	28,73	14,73	0,51	30,45
M9	108,08	91,51	0,84	57,25	49,75	0,86	15,77
M10	86,78	71,78	0,82	41,05	33,27	0,81	29,20

Les diamètres de mode  $MFD_x$  et  $MFD_y$  des faisceaux mesurés au point focal de ces microlentilles à  $\lambda=1,552 \mu\text{m}$ , par la méthode du champ proche [4] sur les deux axes orthogonaux sont récapitulés dans le tableau 2. Les rapports d'ellipticité  $MFD_y/MFD_x$  compris entre 0,60 et 0,97 (voir tableau 2) démontrent bien le caractère elliptique des faisceaux comme illustré sur un exemple de profil transverse d'intensité mesuré en champ proche en sortie d'une de ces microlentilles (Fig. 3 (c)).

Tab. 2 : Mesure de MFD en champ proche ( $\pm 0,5 \mu\text{m}$ )

Microlentilles	$MFD_x$ ( $\mu\text{m}$ )	$MFD_y$ ( $\mu\text{m}$ )	$MFD_y/MFD_x$
M1	7,23	5,95	0,82
M2	6,52	6,38	0,97
M3	6,24	4,82	0,77
M4	6,81	6,10	0,89
M5	7,09	5,67	0,79
M6	7,8	4,68	0,60
M7	6,81	5,10	0,74
M8	5,1	3,26	0,63
M9	6,58	6,24	0,94
M10	6,95	6,66	0,95

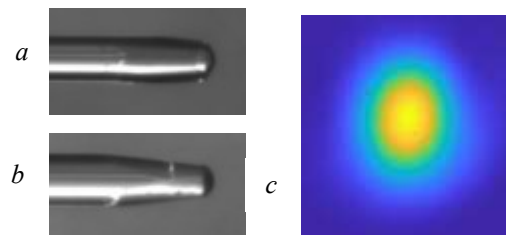


Figure 3 : Photo de microlentilles (a) selon le grand axe  $x$ , (b) le petit axe  $y$ , (c) profil transverse d'intensité mesuré en champ proche.

## CONCLUSION

La technique développée a permis la conception et la fabrication d'une large gamme de microlentilles héli-ellipsoïdales, de rapport d'ellipticité des diamètres de mode compris entre 0,60 et 0,97. Cette technique est prometteuse pour améliorer l'efficacité de couplage entre lasers et fibres pour les communications optiques.

## RÉFÉRENCES

- <sup>1</sup>J. I. Sakai et T. Kimura, « Design of a Miniature Lens for Semiconductor Laser to Singlemode Fiber Coupling », IEEE J. Quantum Electron., vol. 16, no 10, p. 1059-1067, 1980, doi: 10.1109/JQE.1980.1070359
- <sup>2</sup>N. Boulaiche, P. Rochard, A. Guessoum, N-E Demagh and M. Thual, «Hemi-ellipsoidal microlensed fiber based on polishing and polymer technology», Eng. Res. Express, IOP publishing, vol. 3 (2021) 045051: doi 10.1088/2631-8695/ac3a58.
- <sup>3</sup>M. Zaboub, A. Guessoum, N. E. Demagh, and A. Guermat, "Fabrication of polymer microlenses on single mode optical fibers for light coupling," Opt. Commun., vol. 366 pp. 122–126, 2016, doi: 10.1016/j.optcom.2015.12.010.
- <sup>4</sup>M. Artiglia, G. Coppa, P. Di Vita, M. Potenza, et A. Sharma, « Mode field diameter measurements in single-mode optical fibers », J. Light. Technol., vol. 7, no 8, p. 1139-52, 1989, doi: 10.1109/50.32374.