

Projet de thèse :

« Microfibres et nanofibres pour l'optique non-linéaire »

Microfibres et nanofibres sont des fibres optiques très fortement étirées lors d'un procédé de fabrication contrôlé en température et en contrainte, ce qui permet de réduire leur section jusqu'à des valeurs éventuellement sub-longueur d'onde. En raison de cette très faible section, et de l'augmentation du confinement du champ qui en résulte, les non-linéarités effectives sont exaltées de plus de deux ordres de grandeur par rapport aux fibres monomodes conventionnelles. Le domaine des microfibres constitue ainsi une plate-forme novatrice pour la génération d'effets non-linéaires dans un environnement de forte compacité. L'intérêt pour les micro- et nanofibres est issu des avancées importantes dans la fabrication des fibres sub-microniques au cours des 5 dernières années [1-4]. Les perspectives applicatives comprennent notamment la réalisation de composants optiques miniaturisés performants, tels que micro-résonateurs [2], microlasers, bistables optiques, capteurs ultrasensibles, manipulateurs en microfluidique [4], qui sont pour la plupart à inventer.

Le thème « microfibres » a été initié en 2007 à l'Institut Carnot de Bourgogne (ICB) par le Prof. Ph. Grellu, dans le cadre d'un partenariat de collaboration établi avec le groupe du Prof. L. Tong, à Hangzhou (Chine), spécialiste mondial de la fabrication des microfibres. Ce partenariat a été soutenu par un programme de recherches avancées Franco-Chinois du Ministère des Affaires Etrangères (EGIDE). Les activités prévues à Dijon concernent la modélisation de dispositifs non-linéaires [5], la réalisation d'expériences en optique non-linéaire et en microscopie de champ proche, l'étude de nouveaux verres non-linéaires et l'amélioration des technologies de fabrication. Le thème repose sur ainsi sur une grande transversalité disciplinaire, sa nouveauté aidant également à une pluralité des approches. Au niveau international, seuls quelques groupes ont démarré une activité microfibre pour l'optique : ceux de E. Mazur (Harvard, USA), L. Tong (ZCU, Chine), D. Richardson (ORC, Southampton, UK), M. Sumetsky (OFS labs, USA).

Dans le cadre du projet de thèse, nous mettrons l'accent sur les applications originales des microfibres et nanofibres pour l'optique non-linéaire, discipline pour laquelle nous avons une expertise de longue date au sein de l'équipe « Solitons, Lasers et Communications Optiques » de l'ICB.

Unes des applications phares envisagées est le traitement de signal optique au sein d'un résonateur non-linéaire. Un résonateur optique non-linéaire peut conduire à la réalisation d'un bistable optique, ou bien à une fonction de remise en forme d'impulsions optiques. Cette dernière fonction est activement recherchée dans le domaine des télécommunications optiques à très haut débit, afin d'améliorer le rapport signal à bruit au bout d'une certaine distance de propagation dans la fibre optique de transport, et permettre ainsi une propagation sans erreur sur de grandes distances. Plusieurs plateformes technologiques ont été proposées pour le développement de « régénérateurs optiques », mais aucune ne s'est encore imposée. Les miroirs à boucle non-linéaires sont parmi les plus prometteurs [6], mais l'importante longueur de fibre conventionnelle requise en pratique induit un manque de stabilité dans le fonctionnement. Les résonateurs à microfibres peuvent présenter une alternative judicieuse, qui sera étudiée théoriquement et expérimentalement dans le cadre de la thèse. Les développements expérimentaux initiaux, (réalisation d'une source sub-nanoseconde à faible largeur spectrale dans le domaine télécom, équipement de microscopie...) seront financés dans le cadre du

projet ANR Blanc « Néosolitons », compte tenu du lien entre la régénération tout-optique et la propagation en régime de soliton dissipatif [6,7].

Les non-linéarités effectives des microfibres reposent à la fois sur le fort confinement du champ comme sur la non-linéarité intrinsèque au verre employé à leur fabrication. Pour obtenir une efficacité des dispositifs à microfibres dans le domaine des faibles puissances, de l'ordre du milliwatt, utilisées habituellement dans le domaine télécom, le développement et l'utilisation de nouveaux verres très fortement non-linéaires, tels les verres de chalcogénures [3], représente un challenge incontournable du point de vue applicatif. Nous avons récemment acquis à l'ICB la technologie de fabrication des verres de chalcogénures (Prof. F. Smektala), et nous nous emploierons à réaliser les premières microfibres chalcogénures dès 2008, qui seront employées dans le cadre de la thèse. Afin de mesurer la non-linéarité effective nous pourrions tester la génération de supercontinuum par la microfibre, en régime impulsif intense. Il n'existe pour l'instant qu'un seul groupe au monde (CUDOS, Australie) ayant initié la réalisation de microfibres en verre de chalcogénures, compte tenu des spécificités physico-chimiques délicates de ces verres (compositions, point de fusion très bas, absorption...), et nous sommes bien positionnés pour avancer rapidement dans ce domaine à l'ICB.

Les avancées du travail de thèse reposeront sur les calculs théorique et numérique (propagation en régime non-linéaire, en cavité, en régime impulsif, modes du champ) ainsi que sur une importante partie expérimentale employant des compétences variées, dont l'étudiant fera progressivement l'acquisition : optique guidée, composants optiques télécoms, fabrication de fibres étirées, microscopies optique, électronique et de champ proche... La caractérisation en champ proche optique sera abordée en relation avec l'équipe de F. de Fornel (D.R. CNRS) à l'ICB, et permettra par exemple de tester le critère d'adiabaticité permettant au champ de se propager pratiquement sans pertes entre une fibre conventionnelle et une microfibre dont le diamètre est environ 100 fois plus petit, ainsi que l'impact de la courbure et les effets de polarisation.

Enfin, l'étudiant bénéficiera de l'environnement stimulant des collaborations nationales et internationales en cours, permettant notamment l'organisation de séjours d'étude à l'Université de Zhejiang en Chine.

[1] L. Tong et al., "Subwavelength-diameter silica wires for low-loss optical guiding", *Nature* **426**, 816-819 (2003).

[2] X. Jiang et al., "Demonstration of optical microfiber knot resonators", *Applied Physics Letters* **88**, 223501 (2006).

[3] E. Mägi et al., "Enhanced Kerr nonlinearity in sub-wavelength diameter As₂Se₃ chalcogenide fiber tapers", *Optics Express* **15**, 10324 (2007).

[4] G. Brambilla et al., "Optical manipulation of microspheres along a subwavelength optical wire", *Optics Letters* **32**, 3041 (2007).

[5] G. Vienne, Ph. Grelu, X. Pan, Y. Li, L. Tong, "Theoretical study of microfiber resonator devices exploiting a phase shift", *J. Opt. A : Pure Appl. Opt.* **10**, 025303 (2008).

[6] S. Boscolo et al., "Autosoliton transmission in dispersion-managed systems guided by in-line nonlinear optical loop mirrors", *Optics Letters* **25**, 1240 (2000).

[7] "Dissipative Solitons : From Optics to Biology and Medicine," Akhmediev and Ankiewicz (Eds.), Springer (May 2008).