



LABORATOIRE INTERDISCIPLINAIRE CARNOT DE BOURGOGNE
UMR 6303 CNRS
<http://icb.u-bourgogne.fr>

PHYSICS – CHEMISTRY
ENGINEERING

NANOSCIENCE – PHOTONICS – MATERIALS ENGINEERING AND CHARACTERIZATION

Proposition de sujet de thèse – PhD research project 2026

Intitulé du sujet de thèse / PhD Thesis title:

Dynamique spatiotemporelle dans des architectures laser à fibre hybrides
Spatiotemporal dynamics in hybrid fiber lasers architectures: Fundamentals and applications

Unité de recherche- Université / Research laboratory - Organization:

Laboratoire ICB – UMR 6303 CNRS-UBE
(Photonics Dpt – SAFIR Team)

Direction de thèse / Supervisors:

Direction/PhD Advisor : Prof. Philippe Grelu (philippe.grelu@ube.fr)
Co-encadrement/Co-supervision :
Dr. Aurélien Coillet (aurelien.coillet@ube.fr), Dr. Mostafa Mohamed (mostafa.mohamed@ube.fr)

Domaines scientifiques principaux de la thèse / Main research fields:

Dynamique laser ultrarapide / Optique non linéaire / Fibres optiques
Ultrafast laser dynamics / Nonlinear optics / Specialty optical fibers / Smart lasers

Début de thèse et durée / Starting date & Duration:

01/10/2026 – 36 mois / 36 months

Financement envisagé / PhD Funding:

Contrat doctoral – bourse MESRI / MESRI PhD fellowship

Description du projet scientifique / Background & Objectives:

Les lasers à fibre ultrarapides combinent des avantages clés – efficacité énergétique, qualité de faisceau et puissance évolutive – qui les rendent particulièrement intéressants pour des applications telles que le micro-usinage, la chirurgie, la spectroscopie et la télémétrie laser (LIDAR). Au-delà de leur utilité pratique, ces lasers constituent une plateforme polyvalente pour étudier l'auto-organisation au sein de systèmes actifs complexes reposant sur le concept de soliton dissipatif [1]. Parmi les phénomènes les plus fascinants dans ce domaine, le verrouillage de mode spatio-temporel (STML) utilisant des fibres optiques multimodes suscite un intérêt considérable depuis quelques dernières années [2]. Cependant, les laser STML actuels sont confrontés à d'importants défis de contrôle et stabilité liés aux nombreuses variables dynamiques du champ et à leur dépendance complexe vis-à-vis des paramètres de cavité. Pour surmonter ces limitations, nous proposons un changement de paradigme : des architectures laser hybrides qui utilisent des sous-structures fonctionnalisées et optimisées. S'appuyant sur des travaux préliminaires menés au sein de notre groupe à l'aide d'une architecture à « gestion d'énergie » [3],

initialement développée pour les cavités à fibre monomode et récemment étendue aux fibres à gain multimodes [4], ce projet de doctorat vise à étendre la technique STML hybride aux fibres largement multimodes. Il étudiera d'auto-nettoyage non-linéaire du faisceau laser [5] ainsi que la montée en échelle de l'énergie des solitons et explorera la richesse de la dynamique spatio-temporelle : molécules de solitons, génération d'ondes extrêmes et conversions de longueur d'onde intracavité. Les retombées applicatives comprennent la génération d'impulsions laser ultrarapides paramétrables pour des applications biomédicales et de spectroscopie avancée. Le doctorant bénéficiera d'un environnement de recherche collaboratif international et pluridisciplinaire.

Ultrafast fiber lasers combine key advantages – high efficiency, excellent beam quality, and power scalability – making them most attractive for applications including micromachining, surgery, spectroscopy, and laser ranging (LIDAR). Beyond their practical utility, these lasers provide a versatile platform for investigating self-organization in complex active systems through the framework of dissipative solitons [1]. Among the most compelling phenomena in this domain, spatiotemporal mode locking (STML) using multimode optical fibers has attracted considerable recent interest [2]. However, current STML systems face significant control challenges stemming from their numerous coupled dynamical variables and intricate dependencies on accessible cavity parameters. To overcome these limitations, we propose a paradigm shift: hybrid fiber laser architectures that employ heterogeneous substructures to achieve superior pulse quality, enhanced energy efficiency, and greater output flexibility. Building on preliminary work in our group using an "energy-management" architecture [3], which was originally developed for single-mode fiber cavities and recently extended to few-mode gain fibers [4], this PhD project will advance hybrid STML to highly multimode fibers. It will investigate nonlinear beam cleanup effects [5], soliton energy scaling, and explore rich spatiotemporal laser dynamics that includes soliton molecules, extreme wave generation, and intracavity wavelength conversion. The anticipated practical outcomes feature flexible ultrafast laser pulse generation for biomedical and advanced spectroscopy applications. The PhD student will benefit from collaborative research in an international and multidisciplinary environment.

[1] Ph. Grelu & N. Akhmediev, *Dissipative solitons for mode-locked lasers*, Nature Photonics 6, 84–92 (2012).

[2] L. Wright et al., *Spatiotemporal mode-locking in multimode fiber lasers* Science 358, 94–97 (2017).

[3] M. I. Mohamed, A. Coillet & Ph. Grelu, *Energy-managed soliton fiber laser*, Nature Communications 15, 8875 (2024).

[4] M. I. Mohamed et al., *Few-mode energy-managed soliton fiber laser*, Optics Letters 50, 3098-3101 (2025).

[5] K. Krupa et al. *Spatial beam self-cleaning in multimode fiber*, Nature Photonics 11(4) (2017).

Diplômes et Compétences requis / Required Skills & Qualifications:

Diplôme de Master en Physique avec majeure en Optique/Photonique (optique non-linéaire, physique des lasers, optique guidée et optique ultrarapide). Compétences numériques (Matlab et/ou Python). Curiosité, rigueur et attrait pour le domaine expérimental. Communication en Anglais (niveau B2).

Academic knowledge (master level) in nonlinear optics, laser physics, fiber optics, and ultrafast optics. Programming in Matlab and/or Python. Taste for experiments and good practices (observation, procedures, resourcefulness). English proficiency: level B2.