

Offre de thèse

Etude de la dynamique non-linéaire dans des réseaux de fibre complexes

Mots clés : laser à fibre, dynamique non-linéaire et chaos, peignes de fréquence, chaos ondulatoire

Etablissement : Université de Lorraine

Ecole doctorale : Chimie, Mécanique, Matériaux, Physique (C2MP)

Laboratoire de recherche :

Laboratoire Matériaux, Optique, Photonique et Systèmes (LMOPS)

Université de Lorraine et CentraleSupélec

2 rue Edouard Belin, 57070 Metz (France)

Direction de la thèse : Marc SCIAMANNA

Début de la thèse : fin 2026 ou début 2027

Détails de l'offre

Les lasers à fibre – notamment ceux dopé en erbium qui émettent dans la bande de télécommunication autour de 1550 nm – ont été étudiés en grand détail. La configuration la plus utilisée est une boucle de fibre monomode qui contient une section dopée en erbium comme milieu actif. Il est bien connu que même ces lasers simples peuvent présenter des dynamiques instables voire chaotiques [1] : leur émission fluctue de façon imprévisible à des fréquences > 10 GHz. Ces instabilités ultra-rapides sont attribuées à l'effet Kerr et la dispersion dans les fibres [2]. Ces lasers chaotiques ont été proposés pour des applications de cryptographie par synchronisation de chaos [3].

L'objectif de ce projet de thèse est l'étude des propriétés statiques et dynamiques des lasers à fibre qui présente un réseau complexe comme résonateur, c.a.d. plusieurs boucles de fibre couplées qui présentent un grand nombre de trajectoires possibles au lieu d'une seule. De tels lasers à réseau ont été très peu étudiés [4], et notamment l'impact de leur géométrie et les effets liés à la polarisation restent incompris.

La thèse se déroulera en trois phases. Dans une première phase, les propriétés d'un réseau de fibres passif (sans milieu actif) seront étudiées en détail : le grand nombre de trajets possibles dans un tel réseau crée des interférences complexes. En plus, l'état de polarisation d'un signal propageant dans une fibre monomode n'est pas conservé. L'objectif de la première phase est de comprendre l'influence de la topologie et des effets de polarisation en comparant des mesures expérimentales de leur spectre et état de polarisation avec des modèles théoriques développés dans le cadre de la thèse. La modélisation théorique se base sur les études des graphes ondulatoires [5] qui sont étudiés dans le contexte du chaos ondulatoire [6], mais sans prendre en compte les effets de polarisation, de dispersion, et les non-linéarités.

Pendant la deuxième phase, une fibre dopée erbium est intégrée pour créer des lasers à réseau et étudier leur propriétés spectrales et dynamique avec haute résolution et large bande passante (> 20 GHz). Ces expériences seront accompagnées du développement des modèles théoriques en se basant sur des résultats de la première phase et les modèles classiques des lasers à fibre [2]. En plus d'une compréhension approfondie des relations entre

Offre de thèse

dynamique et topologie du réseau, nous cherchons des dynamiques chaotiques à très grande bande passante pour des applications de chaos comme la cryptographie [7].

Troisièmement, des solitons [8] et des peignes à fréquences [9] ont été démontrés dans des lasers à fibre simples, mais jamais dans un laser à réseau. Les peignes à fréquence consistent en une série de modes équidistant et sont aujourd'hui un outil indispensable en métrologie et spectroscopie [10]. Un enjeu particulier est la création des doubles peignes qui consistent en deux séries de modes dont l'espacement est différent et qui présentent des applications importantes en spectroscopie [11]. Notre objectif final est de démontrer la création des solitons et des doubles peignes dans un laser à réseau.

La thèse se déroule dans le cadre d'un projet ANR en collaboration avec le C2N à l'Université Paris-Saclay et le MPI-PKS à Dresde (Allemagne). Toutes les expériences optiques seront menées au sein du LMOPS à Metz, et une forte compétence expérimentale est un prérequis. La modélisation théorique sera développée en collaboration avec Barbara Dietz du MPI-PKS.

Profil du candidat

Le candidat devra démontrer un intérêt et des compétences pour l'étude expérimentale de systèmes photoniques, et en particulier en optique fibrée, et doit faire preuve d'autonomie et de curiosité scientifique. Des connaissances fondamentales sur la physique des lasers, l'optique non-linéaire, et les fibres optiques sont requises. Le contexte international des collaborations envisagées requière une bonne maîtrise de l'anglais. La maîtrise d'outils numériques de calcul et de simulation (Matlab, Python, C++...) est un atout.

Contact

CV et lettre de motivation à adresser par courriel à :

Stefan BITTNER stefan.bittner@univ-lorraine.fr

Marc SCIAMANNA marc.sciamanna@centralesupelec.fr

Financement

Type de financement du projet doctoral : projet ANR « NICON »

Références

- [1] Q. L. Williams and R. Roy, "Fast polarization dynamics of an erbium-doped fiber ring laser", Opt. Lett. **21**, 1478 (1996)
- [2] H. D. I. Abarbanel, M. B. Kennel, M. Buhl, and C. T. Lewis, "Chaotic dynamics in erbium-doped fiber ring lasers", Phys. Rev. A **60**, 2360 (1999)
- [3] G. D. VanWiggeren and R. Roy, "Communication with Chaotic Lasers", Science **279**, 1198 (1998)
- [4] S. Lepri, C. Trono, and G. Giacomelli, "Complex Active Optical Networks as a New Laser Concept", Phys. Rev. Lett. **118**, 123901 (2017)
- [5] C. Texier and G. Montambaux, "Scattering theory on graphs", J. Phys. A **34**, 10307 (2001)
- [6] T. Kottos and U. Smilansky, "Quantum Chaos on Graphs", Phys. Rev. Lett. **79**, 4794 (1997)

Offre de thèse

- [7] M. Sciamanna and K. A. Shore, "Physics and applications of laser diode chaos", *Nature Photonics* **9**, 151 (2015)
- [8] T. Chen, C. Liao, D. N. Wang, and Y. Wang, "Polarization-locked vector solitons in a mode-locked fiber laser using polarization-sensitive few-layer graphene deposited D-shaped fiber saturable absorber", *J. Opt. Soc. Am. B* **31**, 1377 (2014)
- [9] J. Kim and Y. Song, "Ultralow-noise mode-locked fiber lasers and frequency combs: principles, status, and applications", *Adv. Opt. Photon.* **8**, 465 (2016)
- [10] T. Fortier and E. Baumann, "20 years of developments in optical frequency comb technology and applications", *Comm. Phys.* **2**, 153 (2019)
- [11] I. Coddington, N. Newbury, and W. Swann, "Dual-comb spectroscopy", *Optica* **3**, 414 (2016)