

Offre de thèse IRCER – démarrage octobre 2026

Céramiques laser transparentes à base de CaF_2 et solutions solides $(\text{Ba,Ca,Sr})\text{F}_2$ dopées terres rares : élaboration par forgeage orienté et céramisation de poudres complexes

Résumé :

Ce projet de thèse vise à développer de nouveaux milieux amplificateurs pour lasers de forte puissance à base de fluorures dopés au néodyme, capables de résister à de fortes contraintes thermiques tout en conservant d'excellentes propriétés optiques. Il explore deux approches complémentaires — transformation de monocristaux en céramiques texturées et frittage de poudres — afin de maîtriser la microstructure, la texture et le dopage. L'objectif est d'optimiser les performances thermiques et optiques, notamment grâce au contrôle précis des gradients de composition.

Contexte et objectifs :

Ce projet de thèse s'inscrit dans le cadre des travaux menés au sein du LRC (Laboratoire de Recherche Commun) ELECTRA, collaboration entre l'IRCER et le CEA, et vise à répondre aux besoins des systèmes lasers de forte puissance. Ces applications exigent des milieux amplificateurs capables de supporter des contraintes thermiques élevées tout en conservant d'excellentes propriétés optiques. Parmi les matériaux envisagés, les fluorures dopés au néodyme, en particulier le CaF_2 dopé Nd^{3+} et co-dopé par des ions inactifs comme Gd^{3+} ou Lu^{3+} , présente des propriétés spectroscopiques comparables à celles des verres phosphates, tout en offrant une conductivité thermique supérieure, essentielle pour lever les verrous thermiques des lasers de puissance. Toutefois, l'élaboration de pièces de grandes dimensions et le contrôle précis de l'architecture du dopage (gradients de composition) demeurent des défis scientifiques et technologiques majeurs.

Dans ce contexte, l'objectif principal de la thèse est de concevoir et d'optimiser une nouvelle génération de milieux amplificateurs à base de fluorures dopés, en maîtrisant à la fois leur microstructure, leur texture cristallographique et leur composition chimique. Le projet repose sur l'exploration de deux approches complémentaires : d'une part, la transformation de monocristaux orientés par forgeage thermomécanique en céramiques texturées, et d'autre part, la fabrication directe de céramiques par frittage de poudres aux compositions complexes [1-3]. L'enjeu est d'améliorer les performances thermiques et optiques de ces matériaux, notamment via le contrôle fin du dopage et l'introduction de gradients de composition, afin de lever les limitations actuelles des lasers de puissance.

Déroulé de la thèse :

Le projet de thèse qui sera mené s'appuiera sur les étapes suivantes :

- Etude bibliographique, qui visera à définir au regard de la littérature les compositions d'intérêt, ainsi que les méthodes de forgeage et frittage permettant leur élaboration.
- Etude des processus de forgeage des cristaux en fonction de paramètres expérimentaux tels que la concentration en additifs (Lu, Gd) et/ou dopants luminescents (Nd), l'orientation cristallographique des cristaux, et le cycle thermomécanique. Les essais de forgeage seront réalisés en pressage uniaxial à chaud (Hot Pressing - HP) et par Spark Plasma Sintering (SPS). Les échantillons seront caractérisés par des techniques variées (DRX, MEB, MET, spectroscopie optique, etc.). Une attention particulière sera portée à l'influence de l'orientation initiale sur la texturation finale *via* des analyses couplées MEB-EBSD.
- Elaboration de matériaux à gradient de composition et de grande taille. Les procédés de mise en forme (HP, SPS) seront optimisés afin d'obtenir des céramiques transparentes à gradient de dopage et de grande dimension.
- Fabrication et qualification globale de composants céramiques démonstrateurs, en s'appuyant sur les paramètres d'élaboration optimisés.
- Caractérisation de la structure et microstructure des échantillons par DRX, MEB, MET, EBSD. Caractérisation des performances mécaniques, thermiques et optiques, ainsi que des propriétés spectroscopiques et du potentiel laser (spectroscopie d'absorption/émission, durée de vie, gain).

Bibliographie :

[1] J. Neauport, S. Vermersch. *Le laser Megajoule. Photoniques*, 2024, 126, pp.22-26. <https://doi.org/10.1051/photon/202412622>.

[2] A. Ikesue, Y.L. Aung, *Ceramic laser materials, Nature Photonics* 2 (2008) 721–727. <https://doi.org/10.1038/nphoton.2008.243>.

[3] S.V. Kuznetsov, A.A. Alexandrov, P.P. Fedorov, *Optical Fluoride Nanoceramics, Inorg Mater* 57 (2021) 555–578. <https://doi.org/10.1134/S0020168521060078>.

Organisation et valorisation des travaux :

Le doctorant sera rattaché à l'équipe MHP de l'Axe 4 de l'IRCER. Des missions ponctuelles en particulier au CIMAP sont à prévoir. Il participera aux réunions d'avancement du projet en présence des différents partenaires et sera ainsi amené à effectuer un reporting régulier de ses travaux, sous la forme de présentation orales mais aussi de rapports écrits. Le doctorant participera à minima à deux congrès nationaux et à un congrès international pendant la durée de sa thèse pour y présenter ses travaux de recherche et rencontrer les membres de la communauté scientifique nationale et internationale dans les domaines de la chimie, des matériaux et de la photonique. La valorisation des travaux menés se fera principalement sous forme de publications et pourra également faire l'objet d'un brevet auquel participera naturellement le doctorant. Le doctorant suivra des formations proposées par l'Ecole Doctorale « Sciences et Ingénierie » de

l'Université de Limoges, qui visent à apporter au futur docteur des outils pour renforcer ses compétences transversales et pouvoir ainsi réussir au mieux son insertion professionnelle.

Profil recherché :

- *Formation* : Master (ou équivalent) en science des matériaux, physique ou chimie des matériaux
- *Compétences techniques* : élaboration des matériaux (frittage, croissance cristalline, procédés thermiques), bases en cristallographie, microscopie, diffraction RX, spectroscopies ou analyses thermiques appréciées
- *Expérience* : pratique expérimentale en laboratoire requise
- *Qualités* : rigueur, autonomie, esprit d'analyse, capacité à résoudre des problèmes complexes, aptitude au travail interdisciplinaire (matériaux / optique / lasers)
- *Communication* : bon niveau en français et en anglais (écrit et oral).

CONTACTS :

R. Boulesteix, IRCER (Institut de recherche sur les céramiques, UMR 7315), 12 rue Atlantis, Centre Européen de la Céramique, 87068 Limoges

remy.boulesteix@unilim.fr

G. Antou, IRCER (Institut de recherche sur les céramiques, UMR 7315), 12 rue Atlantis, Centre Européen de la Céramique, 87068 Limoges

guy.antou@unilim.fr

N. Pradeilles, IRCER (Institut de recherche sur les céramiques, UMR 7315), 12 rue Atlantis, Centre Européen de la Céramique, 87068 Limoges

nicolas.pradeilles@unilim.fr

S. Montant, CEA-DAM (Commissariat à l'Énergie Atomique - Direction des Applications Militaires), 15 Av. des Sablières, 33114 Le Barp

Sebastien.MONTANT@cea.fr