

Proposition de sujet de thèse – 2026/2029

ALUTITANE : nouvelle voie de remplacement des alliages de titane par l'aluminium

Introduction

La métallurgie des poudres est une voie privilégiée pour la mise en forme des métaux et le développement de nouveaux alliages aux propriétés avancées. Dans ce cadre, le laboratoire LEM3 a développé une technique originale de compaction de poudres métalliques basée sur les hyperdéformations, mise en œuvre sur une plateforme dédiée. Il a notamment été démontré que la compaction de poudres d'aluminium peut être réalisée en une seule étape par le procédé FALEP (Friction-Assisted Lateral Extrusion Process) proposant un gain en énergie et conduisant à des matériaux denses et à microstructure affinée. Ce procédé s'inscrit pleinement dans les enjeux de transformation des procédés industriels, identifiés comme thématique d'excellence par le Schéma Régional de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (SRESRI) du Grand Est.

Contexte scientifique

Récemment, dans le cadre d'une collaboration internationale entre le LEM3 et l'Indian Institute of Science à Bangalore, un procédé innovant a été développé et breveté pour améliorer simultanément la résistance mécanique et la stabilité thermique des métaux. Ce procédé repose sur l'introduction d'un polymère au sein de poudres métalliques, suivi d'une pyrolyse contrôlée conduisant à la formation in situ de céramiques nanométriques issues de polymères (PDC – Polymer-Derived Ceramics). Cette approche permet d'obtenir des composites à matrice métallique renforcés par une matrice céramique nanométrique (PDC MMC – Polymer-Derived Matrix Metal Composite), tout en stabilisant durablement la microstructure du matériau, répondant ainsi aux enjeux de transformation et de montée en gamme des matériaux métalliques.

Le SATT SAYENS a soutenu la maturation de cette technologie au LEM3 en 2022–2023, en vue de son application spécifique à l'aluminium. Les travaux menés ont conduit à une adaptation du procédé breveté initial afin de tenir compte des particularités de ce métal. Cette chaîne de transformation innovante s'appuie sur des infrastructures de recherche de pointe du LEM3, en particulier la plateforme d'hyperdéformation, atout structurant pour le projet.

Les premiers résultats obtenus sont très prometteurs : des limites d'élasticité en traction simple atteignant 375 MPa ont été mesurées, soit des valeurs comparables à celles du titane pur, tout en conservant une excellente stabilité thermique jusqu'à au moins 300 °C. Il a également été mis en évidence que la couche naturelle d'oxyde d'aluminium présente à la surface des particules de poudre contribue significativement au renforcement mécanique, effet pouvant être amplifié par un contrôle fin de la quantité d'oxyde, notamment par préchauffage des poudres ou par des réactions d'oxydoréduction. Ces résultats ouvrent la voie à la conception de matériaux avancés en aluminium susceptibles de répondre à des cahiers des charges plus exigeants par rapport aux métaux utilisés aujourd'hui.

Projet doctoral

L'aluminium constitue un métal stratégique en raison de sa faible masse volumique, de sa bonne conductivité thermique et électrique, de son point de fusion relativement bas et de sa grande adaptabilité de surface liée à la présence d'une fine couche d'oxyde naturel. Dans ce contexte, le remplacement potentiel du titane (notamment l'alliage TA6V) par des matériaux à base d'aluminium plus légers, moins coûteux et thermiquement stables représente un enjeu industriel majeur. Une telle substitution permettrait de réduire significativement l'empreinte carbone associée aux matériaux métalliques, tant du point de vue de l'extraction des matières premières que de leur transformation, contribuant ainsi aux objectifs de décarbonation de l'industrie, en particulier dans le secteur aéronautique. C'est ainsi que l'objectif de ce projet doctoral est de proposer l'étude de composites à matrice métallique en aluminium renforcés par une matrice céramique pour se substituer aux alliages de titane dans des applications où ce sera possible.

Méthodologie

Le projet permettra d'approfondir la compréhension des mécanismes de cohésion entre particules céramiques amorphes et matrice d'aluminium, ainsi qu'entre grains d'aluminium soumis à de fortes hyperdéformations, grâce à des analyses avancées (TEM et EBSD haute résolution). Il étudiera également l'influence de l'ajout d'azote lors de la pyrolyse sur la formation de nitrures et l'évolution de la microstructure. Des simulations polycristallines et une modélisation en FALEP permettront d'identifier et de prédire les textures cristallographiques favorisant un paramètre de Lankford élevé. Enfin, une caractérisation systématique de l'effet de la composition, de la taille, de la morphologie et de la microstructure des particules céramiques contribuera à optimiser les performances des composites développés.

Ce projet est intrinsèquement pluridisciplinaire et nécessitera que le doctorant développe et mobilise des compétences avancées en expérimentation, modélisation, procédés, essais mécaniques et métallurgie-microscopie. L'appui des plateformes labellisées INFRA+ du LEM3 pour la synthèse et l'analyse renforce cette approche. Cette expertise expérimentale permettra au doctorant d'acquérir une compréhension approfondie des phénomènes étudiés pour les hyperdéformations, de maîtriser des méthodologies et outils reconnus dans les milieux académiques et industriels, et de disposer de solides atouts pour une insertion professionnelle vers des postes à haute valeur ajoutée après le doctorat.

Retombées attendues et perspectives

Ce projet permettra donc de développer et comprendre de nouveaux composites aluminium-céramique légers, recyclables et peu énergivores, offrant une alternative crédible et durable aux alliages de titane pour des applications industrielles avancées.

Les travaux visent le développement d'alliages d'aluminium capables de se substituer partiellement aux alliages de titane pour des applications aéronautiques à basse et moyenne température, répondant à un enjeu stratégique lié au caractère critique du titane. Les résultats attendus présentent un fort potentiel de valorisation, en termes de réduction des coûts, d'allègement des structures et de renforcement de la compétitivité industrielle. Des perspectives en matière de propriétés intellectuelles sont envisageables, ainsi que des retombées applicatives dans d'autres secteurs industriels confrontés à des problématiques similaires.

Laboratoire d'accueil

Le Laboratoire d'Étude des Microstructures et de Mécanique des Matériaux (LEM3) de l'Université de Lorraine, associé au CNRS et aux Arts et Métiers, est un centre de recherche de renommée internationale. Avec plus de 250 membres, dont environ 70 doctorants, il offre un environnement scientifique dynamique et pluridisciplinaire. Structuré en trois départements et doté de plateformes technologiques de pointe (MécaRhéo, MicroMat, Procédés), le LEM3 permet de mener des recherches à la fois fondamentales et appliquées. Chaque année, il produit près de 150 publications et fait soutenir une vingtaine de thèses. Faire un doctorat au LEM3, c'est intégrer un laboratoire d'excellence, bénéficier d'un encadrement de qualité et contribuer à des projets innovants, à fort impact scientifique et industriel et répondant aux grands défis sociétaux actuels.

<https://lem3.univ-lorraine.fr/>

Vous aurez, plus particulièrement, accès au plateau technique d'hyperdéformations appartenant à la plateforme Procédés labellisée INFRA+ et LUE (ce sont deux labels de qualité de l'Université de Lorraine qui atteste de l'expertise et de la maîtrise de différents outils expérimentaux et technologiques). <https://lem3.univ-lorraine.fr/plateforme-procedes/>

Equipe d'accueil

Vous ferez partie de l'axe « développement et optimisation de procédés en lien avec les microstructures » du département 2 (IMPACT).

Direction de la thèse : Pr. Roxane Massion

Encadrement scientifique : Pr. Laszlo Toth (professeur émérite, [wikipedia.org/wiki/Laszlo_S._Toth](https://en.wikipedia.org/wiki/Laszlo_S._Toth))

Ecole doctorale

En tant que doctorant, en France, vous serez inscrit à l'Université de Lorraine et ferez partie de l'école doctorale C2MP (Chimie, Mécanique, Matériaux, Physique : Chimie, Mécanique, Matériaux, Physique). Vous aurez l'opportunité de bénéficier d'un large éventail de formations au cours de votre doctorat.

Contrat doctoral

La présente thèse fera l'objet d'un cofinancement Région Grand-Est/IRP M2P, accordé pour une durée de trois ans. Ce contrat, établi conformément à la réglementation du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, assure au doctorant un statut de personnel contractuel de droit public et une rémunération mensuelle lui permettant de se consacrer à temps plein à ses travaux de recherche.

Candidature

Les postulants devront être titulaires d'un M2 Recherche ou d'un diplôme d'ingénieur équivalent avec comme spécialité la métallurgie ou la science des matériaux. Une solide expérience en expérimentation est indispensable, notamment dans les procédés d'hyperdéformations, en métallurgie des poudres et en microscopie. Des connaissances en mécanique sera un plus. Une bonne expression orale et écrite en langue anglaise est fortement souhaitable.

CV détaillé, lettre de motivation et relevés de notes de master sont à envoyer **avant le 31 mai 2026** à roxane.massion@univ-lorraine.fr. Des lettres de recommandation ne sont pas nécessaires, mais veuillez inclure les coordonnées de vos références dans votre CV.