

Proposition de sujet de thèse – 2026/2029

Etude du comportement mécanique d'un composite biosourcé par hybridation de deux fibres naturelles, pour différentes conditions environnementales : analyse physico-chimique, mécanique et modélisation multi-échelle.

Introduction

L'utilisation de composites à matrice polymère ne cesse de croître dans l'industrie du transport à des fins d'allègement de structure. Résistants et plus légers que les pièces métalliques, l'utilisation de ces matériaux permet la réduction de la consommation d'énergie, quelle que soit sa nature, dans l'industrie du transport. Grâce notamment à leurs renforts synthétiques, de verre ou de carbone, leurs applications touchent désormais les pièces structurelles proches du bloc moteur dans l'industrie automobile ou sur le fuselage des avions.

Afin d'accélérer la décarbonation de la production de matériaux et de l'industrie du transport, des composites biosourcés sont développés, synthétisés sans pétrole et renforcés de fibres naturelles, moins énergivores à produire et améliorant la recyclabilité globale du matériau.

Contexte scientifique

Le sujet de thèse proposé tente de répondre à deux problématiques, l'une liée à la recyclabilité des matériaux composites et l'autre liée à la décarbonation de la production de ces matériaux. Les pièces de type coque telles que les carénages, coques de bateau, ailes d'avions ou encore pales d'éoliennes sont aujourd'hui produites à base de résine thermodurcissables, qui ne sont pas recyclables.

Le polymère d'étude sera une résine thermoplastique Elium, donc recyclable, dont les propriétés sont préservées même après plusieurs dizaines de cycles de recyclage. Cette résine thermoplastique, développée par ARKEMA, a vocation à remplacer les résines thermoplastiques traditionnelles et ainsi augmenter le taux de recyclabilité des matériaux composites.

Afin de favoriser la décarbonation de la production de ces matériaux, les fibres synthétiques telles que le verre ou le carbone, très énergivores à produire, tendent à laisser place à des renforts naturels. Le renfort d'étude sera un renfort hybride de fibres de lin et de coco, alliant propriétés mécaniques et réduction de l'hydrophilie caractéristique des fibres naturelles.

Problématique et objectifs

Le remplacement d'une résine thermodurcissable par un équivalent thermoplastique n'est pas sans conséquence. Par essence, les thermoplastiques sont généralement plus perméables à l'humidité et présentent une sensibilité accrue à leur environnement de sollicitation comparé aux thermodurcissables. Les fibres naturelles étant également très sensibles à l'humidité, la barrière que représentait la résine

thermodurcissable n'est ainsi plus parfaitement préservée. L'objectif général de cette thèse est donc d'étudier l'influence de ces paramètres environnementaux (température, humidité) sur le comportement physico-chimique et mécanique de ces matériaux afin d'améliorer le procédé d'obtention pour limiter ces effets et, le cas échéant, pouvoir prédire l'évolution de ces propriétés en fonction de ces paramètres. L'objectif est ainsi, en plus de la fiabilisation du procédé d'obtention de ces composites de nouvelle génération, de fournir les outils prédictifs nécessaires aux ingénieurs voulant utiliser ces matériaux pour connaître la résistance exacte de la pièce conçue en fonction de ces paramètres.

La bibliographie sur l'association fibres naturelles/Elium acrylique reste marginale, les seules études de la littérature traitent la mise en œuvre, la détermination des propriétés mécaniques en traction, en fatigue et l'effet du vieillissement hydrique sur les propriétés mécaniques en traction. Une étude très récente a montré les limites de l'imprégnation des fibres de lin par une résine Elium acrylique. Ce qui en conséquence conduisait à une forte dégradation des propriétés mécaniques après un vieillissement sous eau. L'une des préconisations retenues à l'issue de cette étude, est l'utilisation d'un tissu de fibres hybrides lin fibres de coco, afin de garder un composite 100% naturel.

L'objectif de cette thèse est ainsi d'étudier le comportement mécanique de ce composite biosourcé et de ses constituants en quasi-statique, en dynamique et aux chocs, en fonction de paramètres environnementaux tels que la température et le vieillissement hydrique pour simuler l'usage de ces matériaux en conditions réelles d'utilisation. L'observation indirecte permettra de différencier les sensibilités de la matrice polymère et du renfort naturel à l'environnement de sollicitation.

Méthodologie

L'influence de ces différents paramètres environnementaux sera investiguée via des analyses physico-chimiques permettant d'identifier et de comprendre les différents phénomènes physiques à l'origine de ces évolutions de propriétés. Ces phénomènes pourront être identifiés via des analyses FTIR, ATG, DSC et DMA. Enfin, ces données seront prises en compte dans la modélisation mécanique du comportement mécanique du matériau, permettant un dimensionnement de pièces mécaniques fiable en composites 100% biosourcés.

Cette étude débutera par une phase d'élaboration des matériaux. Il sera question de maîtriser le procédé mise en œuvre avec ce type de fibres et de s'assurer de la bonne imprégnation de la fibre hybride lin-coco aux différentes échelles. Des essais de mesure d'absorption hydrique seront réalisés pour évaluer la qualité du potentiel hydrique du composite final. Ensuite des essais mécaniques seront réalisés pour caractériser le comportement thermomécanique du composite sur une large plage de températures et de vitesses de déformation, via essais de traction et DMA notamment. Un soin particulier sera pris pour la détermination des propriétés des fibres de lin et de coco aux différentes échelles (nano-indentation, AFM en mode tapping).

Les résultats de ces essais permettront d'identifier et de quantifier les propriétés effectives, les différents modes d'endommagement et l'effet du potentiel hydrique sur les performances mécaniques du composite. Les informations ainsi recueillies serviront à développer un modèle micromécanique pour la prédiction du comportement effectif du matériau hétérogène.

Retombées attendues et perspectives

L'obtention de données propres à des matériaux stratégiques pour l'industrie du transport et pour les fournisseurs de composites pourrait permettre par la suite de monter des projets communs avec différents industriels pour accélérer la démocratisation de ces matériaux décarbonés dans l'industrie.

Laboratoire d'accueil

Le Laboratoire d'Étude des Microstructures et de Mécanique des Matériaux (LEM3) de l'Université de Lorraine, associé au CNRS, à l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Metz (ENIM) 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, Polymères & Composites), 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/>

Equipe d'accueil

Vous ferez partie de deux départements simultanés. Vous ferez simultanément partie de l'axe « Dynamique et conditions extrêmes » du département MMSV ainsi que de l'axe « Thermomécanique, endommagement et durabilité des matériaux, des composites et des structures » du département IMPACT. Cette double appartenance permettra au doctorant ou à la doctorante d'avoir accès à des savoir-faire larges et variés.

Direction de la thèse: Dr. Rodrigue Matadi Boumbimba, HDR

Co-directeur de la thèse : Dr-Ing. Quentin Bourgogne

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 financement dans le cadre d'un contrat Lorraine Université d'Excellence (LUE), 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 mécanique ou la science des matériaux. Une expérience dans le domaine des composites est vivement souhaitable. Une bonne expression orale et écrite en langue anglaise est indispensable.

CV détaillé, lettre de motivation et relevés de notes de master sont à envoyer **avant le 30 juin 2026** à rodrigue.matadi-boumbimba@univ-lorraine.fr et/ou à quentin.bourgogne@univ-lorraine.fr. Des lettres de recommandation ne sont pas nécessaires, mais veuillez inclure les coordonnées de vos références.