

REPABIOCOMP

INFORMATIONS GENERALES

Coordinateur du projet dans le laboratoire d'accueil :

Nom : VIVET

Prénom : Alexandre

Courriel : alexandre.vivet@unicaen.fr

La thèse se déroulera sur le site du CIMAP localisé à l'IUT GON Pôle d'Alençon

Équipe de recherche : PM2E

Adresse : CIMAP Alençon – IUT GON Pôle d'Alençon

N° - Libellé de la voie : Pôle universitaire de Montfoulon

Code postal : 61250

Commune : Damigny

École doctorale de rattachement du directeur de thèse : *PSIME*

Période d'exécution du projet : du 01/10/2025 au 30/09/2028, soit 36 mois de projet.

RÉSUMÉ DU PROJET

Version Française

Les agressions par impact mécanique et/ou environnementales, que peuvent subir des structures en service durant leur cycle de vie, engendrent des opérations de réparation. Ces réparations doivent être le mieux maîtrisées possibles pour ne pas réduire la durabilité des structures. Les procédures de réparation et de rénovation de structures en matériaux composites bio-sourcés, associant matrice polymère bio-sourcée et fibre de renfort d'origine végétale, sont insuffisamment opérationnelles, ce qui constitue un frein à l'essor et la diffusion de ce type de matériaux dans des domaines d'application tels que le transport ou la production d'énergie éolienne.

Le projet REPABIOCOMP a pour objectif d'explorer les procédés de réparation possibles tels que infiltration de matrice, patch externe ou reconstruction du stratifié après ablation de la zone endommagée. Après avoir été soumis à des environnements sévères (humidité, température, agressions mécaniques) générant des endommagements internes de niveau critique, des échantillons représentatifs de structure en service seront réparés suivant ces différentes procédures. La tenue en service résiduelle définie par les domaines d'applications potentielles sera estimée en respectant les normes en vigueur. Cette phase du projet aura aussi pour objectif d'optimiser les protocoles de réparation en fonction de la nature des endommagements et de la composition du matériau composite stratifié bio-sourcé (matrice thermoplastique bio-sourcé et renfort fibreux naturel). La phase suivante du projet sera consacrée à la compréhension des phénomènes interfaciaux cohésifs entre le matériau d'origine endommagé et le matériau de réparation. Une approche multi-échelle et multi-physique sera nécessaire pour aborder cette problématique au niveau de l'interface fibre/matrice et/ou de l'interface surface externe du matériau/surface du patch de renfort, en fonction du procédé.

English Version

Mechanical and/or environmental impact aggressions that structures in service may undergo during their life cycle result in repair operations. These repairs must be controlled as well as possible so as not to reduce the durability of the structures. The repair and renovation procedures for structures made of bio-sourced composite materials, combining bio-sourced polymer matrix and reinforcing fiber of plant origin, are insufficiently operational, which is a brake on the development and diffusion of this type of material in application fields such as transport or wind energy production.

The REPABIOCOMP project aims to explore possible repair processes such as matrix infiltration, external patching or reconstruction of the laminate after removal of the damaged area. After being subjected to severe environments (humidity, temperature, mechanical aggressions) generating critical level internal damage, representative samples of structures in service will be repaired using these different procedures. The residual service life defined by the potential application areas will be estimated in compliance with the standards in force. This phase of the project will also aim to optimize the repair protocols according to the nature of the damage and the composition of the bio-sourced laminated composite material (bio-sourced thermoplastic matrix and natural fiber reinforcement). The next phase of the project will be devoted to understanding the cohesive interfacial phenomena between the damaged original material and the repair material. A multi-scale and multi-physics approach will be necessary to address this issue at the fiber/matrix interface and/or at the interface between the external surface of the material and the surface of the reinforcement patch, depending on the repair process.

PRÉSENTATION DU PROJET

Contexte et Objectifs

L'équipe PM2E du laboratoire CIMAP est un acteur reconnu dans le domaine des composites renforcés par des fibres naturelles depuis plus de 15 ans, en témoignent les thèses soutenues (10) et les articles et communications scientifiques publiés (<https://hal.science/PM2E-CIMAP>).

Aujourd'hui, l'industrie de la transformation et de l'usage des matériaux composites structuraux se doit de relever plusieurs défis techniques, économiques et environnementaux pour répondre aux exigences sociétales. L'objectif global est de réduire les impacts environnementaux des structures en service en garantissant des performances techniques et un cadre économique au moins de même niveau.

Une des pistes explorées est l'utilisation des fibres naturelles en complément, ou en remplacement ou en association avec les fibres de renfort conventionnelles synthétiques. L'autre composant de ces composites structuraux, la matrice, tend également à évoluer pour progressivement remplacer les polymères thermodurcissables par des polymères thermoplastiques. Enfin, augmenter la durée de vie en service des structures, aussi bien dans le domaine du transport, de la production d'énergie, est un objectif prioritaire économique et environnemental.

Après avoir étudié le comportement des fibres élémentaires, la tenue en service des composite structuraux, la mise en œuvre des composites renforcés par des fibres naturelles, aujourd'hui l'équipe PM2E souhaite apporter son expertise pour développer des connaissances dans une autre phase de vie de ces matériaux, la réparation après un endommagement critique afin de prolonger la durée de vie en service.

Projet détaillé

Dans le cadre de ces travaux de thèse, une contribution scientifique aux méthodes de réparations de structures composites biosourcés à matrice thermoplastique renforcée par des fibres naturelles sera apportée. Dans ce contexte, ce projet de recherche a pour objectifs :

- d'explorer les procédures et méthodes de réparation (par patch externe, par reconstruction des plis endommagés ou par infiltration de matrice liquide) adaptée aux composites structuraux bio-sourcés (matrice thermoplastique bio-sourcée et fibre de renfort végétale),
- de proposer des protocoles de réparation adaptés au contexte technique des domaines d'application,
- de définir les interactions physico-chimiques dans les interfaces de réparation en fonction de la nature et du vieillissement hygro-thermique du matériau composite biosourcé endommagé et du procédé et du matériau de réparation,
- d'évaluer l'efficacité d'une réparation locale sur la tenue en service post-réparation d'une structure endommagée.

Une démarche expérimentale de validation mécanique et environnementale des procédures mises en place pour les réparations de structures en composites biosourcés sera à développer. Des essais classiques et plus originaux seront proposés pour l'analyse de la ténacité de l'interface réparée à l'échelle du matériau puis à une échelle représentative de d'une structure en service. Cette caractérisation des tenues mécaniques interfaciales à différentes échelles devra être couplée, dans une approche multi-physique, à des caractérisations physico-chimiques.

Un verrou à lever et qui nécessitera un travail de fond sera la caractérisation des défauts effectifs créés par l'étape de vieillissement/agression avant réparation. La collaboration entamée durant le projet COSPHI, supporté par le LABEX EMC3, entre les laboratoires normands CIMAP et LOMC sera prolongé et renforcé. Les compétences en spectroscopie acoustique du LOMC seront mises à profit pour obtenir une imagerie et une topologie des défauts internes plus ou moins débouchants en surface, inaccessibles par imagerie optique ou numérique de surface.

Ce travail devra se faire en se basant sur les exigences des domaines industriels potentiels de ce type de matériaux. En effet, chaque domaine industriel a des normes et des exigences en termes de tenue résiduelle après un endommagement critique. On peut citer par exemple le test de Compression Après Impact qui est le test référence dans le domaine aéronautique. Une revue bibliographique, durant les 1ers mois de la thèse associé à un suivi continu, devra fixer ces exigences et ainsi orienter le travail avec des méthodologies transférables vers les domaines d'application potentiels de ce type de matériau.

Principales actions et calendrier détaillés de mise en œuvre :

Les grandes lignes du projet définies sont détaillées ci-dessous. En fonction des résultats obtenus durant chaque phase, un approfondissement sera à envisager sur les points et verrous soulevés.

Phase	Objectifs	Actions
Phase 1	Appropriation du sujet	Synthèse bibliographique Essais comparatifs de protocoles expérimentaux sur éprouvettes de laboratoire
Phase 2	Développement d'une procédure de réparation	Tests des protocoles connus de réparation sur matrice thermodurcissable Adaptation de ces protocoles aux matrices thermoplastiques Optimisation des paramètres procédés en fonction de la topologie des endommagements
Phase 3	Qualification des performances techniques de structures après réparation	Choix d'éprouvettes de laboratoire représentatives de structures et de conditions en service (exemple éprouvette CAI aéronautique) Réalisation d'essais de performances avant et après réparations
Phase 4	Compréhension des phénomènes en cause dans la tenue en service des matériaux réparés	Mise au point de protocoles de mesure de la ténacité interfaciale entre les surfaces intacte et le matériau de réparation. En fonction du protocole de réparation (infiltration, patch externe, etc.), les échelles d'observation devront être adaptées, depuis la fibre jusqu'à la surface externe Analyse multiéchelle des phénomènes d'adhésion entre matériau endommagé et matériau de réparation
Phase 5	Séjours de travail dans des laboratoires partenaires <i>En continu tout le long du projet</i>	Objectif : mutualiser les équipements et profiter des compétences acquises par des laboratoires partenaires (exemple : LOMC Le Havre CND par spectroscopie acoustique)
Phase 6	Valorisation des résultats <i>En continu tout le long du projet</i>	Communications dans des séminaires et congrès, nationaux et internationaux Publications scientifiques Diffusion du savoir : enseignement IUT Alençon, actions de vulgarisation et de communication grand public : FabLab Alençon, Course en Cours, etc. Mémoire de doctorat