

DURABIOCOMP

INFORMATIONS GENERALES

Intitulé du projet

Durabilité des composites structuraux thermoplastiques biosourcés soumis à des environnements sévères couplant hygrothermie et agressions mécaniques

Encadrement scientifique

- Directeur de thèse : Alexandre VIVET, PU 60^{ème} section, 25% du temps de recherche personnel consacré à ce projet
- Co-directeur de thèse : Mohamed SAHLI, MCF HDR 60^{ème} section, 50% du temps de recherche personnel consacré à ce projet
- Co-encadrant scientifique : Florian GEHRING, MCF 60^{ème} section, 25% du temps de recherche personnel consacré à ce projet

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

Courriel : alexandre.vivet@unicaen.fr

Période d'exécution du projet : du 01/10/2026 au 30/09/2029, soit 36 mois de projet.

RÉSUMÉ DU PROJET

Version Française

On constate une transition des composites à matrice thermodurcissable vers des matrices thermoplastiques, combinée à une demande croissante matériaux bio-sourcés, tant pour la matrice que pour les fibres de renfort. Pour optimiser leur durée de vie en maintenant leurs performances techniques, les structures composites Bio-Tp-FN, associant matrice polymère thermoplastique bio-sourcée et fibre de renfort d'origine naturelle, doivent être capable de supporter, en plus des charges mécaniques de fonctionnement, des agressions par impact et environnementales. De plus les procédures de réparation de structures en matériaux Bio-Tp-FN, sont insuffisamment opérationnelles, limitant leur déploiement dans des secteurs tels que le transport ou l'énergie éolienne.

Le projet REPABIOCOMP a pour objectif de comprendre les phénomènes en cause dans le vieillissement des structures composites Bio-Tp-FN et leur potentiel de réparation pour les maintenir en service avec des performances suffisantes.

Après avoir été soumis à des environnements sévères et couplés (humidité, température, agressions mécaniques, usure) générant des endommagements critiques, des échantillons représentatifs de structure en service seront testés en laboratoire suivant des

protocoles standardisés (rupture, vieillissement microstructurel, résilience, etc.). Il sera aussi pour objectif d'évaluer la réparabilité en fonction de la nature des endommagements et de la composition du matériau composite Bio-Tp-FN.

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.

A terme, un démonstrateur de durabilité des composites Bio-Tp-FN sera proposé, sous la forme d'un plancher renforcé par des profilés oméga.

English Version

There is a clear transition from thermoset-matrix composites to thermoplastic-matrix composites, combined with a growing demand for bio-based materials, both for the matrix and the reinforcing fibers. In order to optimize their service life while maintaining their technical performance, Bio-Tp-NF composite structures, combining a bio-based thermoplastic polymer matrix with natural fiber reinforcement, must be able to withstand not only operational mechanical loads but also impact and environmental aggressions. In addition, repair procedures for Bio-Tp-NF composite structures remain insufficiently mature, limiting their deployment in sectors such as transportation or wind energy.

The REPABIOCOMP project aims to understand the mechanisms involved in the ageing of Bio-Tp-NF composite structures and to assess their repair potential in order to keep them in service with adequate performance.

After being subjected to severe environments (humidity, temperature, mechanical aggressions) leading to critical damage, representative samples of in-service structures will be tested in the laboratory according to standardized protocols (fracture, microstructural ageing, impact resistance, etc.). The project will also aim to evaluate repairability as a function of the type of damage and the composition of the Bio-Tp-NF composite material.

The next phase of the project will focus on understanding the cohesive interfacial phenomena between the damaged original material and the repair material. A multi-scale and multi-physics approach will be required 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 reinforcing patch.

Ultimately, a durability demonstrator for Bio-Tp-NF composites will be proposed, in the form of a floor structure reinforced with omega-shaped stiffeners.

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, si possible elles-aussi biosourcée. 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.

L'équipe PM2E est aujourd'hui reconnue dans le paysage scientifique national et international pour son expertise dans le domaine des composites renforcés par des fibres naturelles et de la tenue au vieillissement des composites structuraux. Forte de ses expériences qui ont permis de démontrer le potentiel des composites renforcés par fibres naturelles et de comprendre les phénomènes impliqués à différentes échelles, l'équipe PM2E souhaite s'investir dans le comportement à long terme de ces composites.

Projet détaillé

Dans le cadre de ces travaux de thèse, une contribution scientifique à la compréhension de la durabilité des structures en service fabriquées à partir de matériaux composites, matrice polymère thermoplastique bio-sourcée et fibres de renfort végétales, Bio-Tp-FN. Dans ce contexte, ce projet de recherche a pour objectifs :

- d'explorer le comportement des composites structuraux Bio-Tp-FN face à des agressions externes représentatives des conditions de service dans le domaine du transport ou de l'éolien. En plus des charges de fonctionnement ces structures peuvent être soumises à des atmosphères hygro-thermiques couplées à des impacts basse énergie ou des projections de particules fines abrasives,
- de définir les interactions physico-chimiques dans les interfaces aux différentes échelles des composites Bio-Tp-FN après vieillissement : fibre/matrice et entre plis stratifiés,
- d'adapter les procédures et méthodes de réparation par patch externe aux composites Bio-Tp-FN,
- d'évaluer l'efficacité d'une réparation locale sur la tenue en service post-réparation d'une structure endommagée.

Un premier 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. L'équipe PM2E vient de se doter d'un équipement CND de type C-SCAN, permettant la détection par ondes ultrasonores des interfaces et défauts internes des matériaux massifs. Cet équipement est particulièrement adapté pour caractériser les délaminages générés par des impacts. En complément la collaboration entamée durant le projet COSPHI, supporté par le LABEX EMC3, entre les laboratoires normands CIMAP et LOMC pourra être prolongée et renforcée. Les compétences en spectroscopie acoustique du LOMC seront mises à profit pour obtenir une imagerie et une topologie des défauts internes plus ou moins débouchant en surface, inaccessibles par imagerie optique ou numérique de surface.

Un deuxième verrou sera le choix et l'utilisation d'essais de caractérisation des performances techniques des composites Bio-Tp-FN 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 associée 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.

Enfin, 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.

En phase finale du projet, afin d'aider à lever les doutes sur les performances dans des environnements agressifs de ce type de matériau, un démonstrateur technologique sera proposé.

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.

	M0	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22	M23	M24	M25	M26	M27	M28	M29	M30	M31	M32	M33	M34	M35	M36
Analyse bibliographique contexte																																					
Veille bibliographique																																					
Développement des protocoles de vieillissement et lancement																																					
Choix et adaptation du procédé de réparation au composite thermoplastique																																					
Analyse de la durabilité et des comportements résiduels des Matériaux composites																																					
Analyse de la durabilité et des comportements résiduels des Matériaux composites réparés																																					
Analyse de l'endommagement induit par le vieillissement et résistance à propagation de l'endommagement																																					
Diffusion des résultats et interaction avec la société civile																																					
Préparation du manuscrit et de la soutenance																																					

Phases	Objectifs	Actions
1	Appropriation du sujet	Synthèse bibliographique Essais comparatifs de protocoles expérimentaux sur éprouvettes de laboratoire
2	Mise en vieillissement hygrothermique à long terme	Mise en œuvre des échantillons de matériaux Lancement de la campagne de vieillissement
3	Développement d'une procédure de réparation	Mise au point d'une procédure de réparation des composites à matrice thermoplastique par patch externe Optimisation des paramètres procédés en fonction de la topologie des endommagements
4	Qualification des performances techniques de structures à différentes étapes de vie : avant mise en service, vieilli en conditions de service, après réparation post-vieillessement	Choix d'éprouvettes de laboratoire représentatives de structures et de conditions en service (exemple éprouvette CAI aéronautique) Réalisation d'essais de performances aux différents états de vie du matériau
5	Compréhension des phénomènes en cause dans la tenue en service des matériaux	Analyse multiéchelle aux différents états de vie du matériau : vieillissement de la matrice, fragilisation des interfaces aux différentes échelles, dégradation des fibres naturelles, sensibilité à la propagation des fissures, tolérance aux défauts, etc.
6	Valorisation des performances techniques	Conception et mis en oeuvre d'un démonstrateur académique des performances techniques
7	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, CRISMAT Caen – campagne

		d'essai d'endommagements par puits de chute)	
8	Diffusion des résultats et interactions avec la société civile <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	
9	Préparation du manuscrit et de la soutenance		