Sujet de thèse : Recyclage de composites thermoplastiques : formulation de compounds à propriétés maîtrisées.

Contexte

La valorisation des déchets issus des matériaux composites représente un enjeu stratégique majeur quel que soit les domaines d'application. On peut citer tout particulièrement l'aviation civile et militaire pour laquelle la flotte vieillissante entraine une déconstruction en forte croissance (13 000 aéronefs civils et militaires attendus en fin de vie entre 2015 et 2035). Mais, c'est bien l'ensemble des domaines d'application incluant l'automobile, les éoliennes, le nautisme, la construction, les sports, … Ainsi, au-delà de la déconstruction et du recyclage complexe des matériaux utilisés historiquement, la transition vers des pièces et structures plus écologiques et performantes est essentielle pour répondre aux défis futurs. Dans ce cadre global, les matériaux composites à matrice thermoplastique offrent un potentiel élevé de recyclabilité. Cependant, la variabilité des déchets (teneur en fibres, type et grade de résine, taille et forme des chutes) rend difficile l'élaboration de formulations stables, capables de produire des compounds aux propriétés mécaniques et rhéologiques constantes. Il convient d'améliorer les connaissances afin de tendre vers des matériaux adaptés aux enjeux de recyclabilité.

Le projet « Compétences et métiers d'avenir » (CMA) « Procédés du futur, décarbonés et durables », financé dans le cadre de France 2030, vise à apporter des solutions de décarbonation des procédés industriels, notamment les procédés de mise en œuvre des composites. Fort d'un consortium apportant des compétences complémentaires autour de ces sujets, le laboratoire IPREM (UMR CNRS 5254) propose un projet de thèse, mené en partenariat avec la société Arkema, visant à développer des formulations robustes de compounds recyclés, adaptées à deux types d'applications industrielles :

- La fabrication de moules et outillages composites à partir de déchets à base de résine Elium®.
- La production de pièces injectées ou imprimées en 3D, destinées notamment au secteur des sports et loisirs, à partir de déchets de tapes (notamment les tapes à base de fibres de carbone avec une matrice en PolyAmide 11 (PA11) Rilsan® ou en PolyPhtalAmide (PPA) Rilsan® Matrix).

Objectifs de la thèse

- Identifier et caractériser les gisements de déchets composites (composition, morphologie, état de vieillissement, etc.).
- Élaborer des formulations de compounds recyclés stables malgré la variabilité matière et en adéquation avec les propriétés recherchées dans les cahiers des charges de chaque type de pièces (moules composites ou pièces sports et loisirs).
- Mettre en œuvre des compounds par extrusion, injection plastique et impression 3D.
- Évaluer les performances mécaniques, thermiques et microstructurales des pièces produites.
- Modéliser le lien entre microstructure, procédé de transformation et propriétés finales, notamment au travers de simulations numériques.
- Contribuer à l'évaluation de l'impact environnemental des matériaux et procédés (approche ACV simplifiée, comparaison échelle labo/industrielle).

Volet scientifique développé par le/la doctorant(e)

Le/la doctorant(e) contribuera de manière transversale à toutes les étapes du projet, avec une attention spécifique à la transformation des matériaux recyclés en pièces fonctionnelles, à travers :

- L'étude des procédés de mise en œuvre (injection, impression 3D, extrusion) en lien avec les propriétés rhéologiques des compounds.
- L'analyse de l'influence des conditions de transformation sur la microstructure interne (orientation et longueurs des fibres, porosité, dispersion).
- Le développement de simulations multiphysiques (Ansys/Abaqus) pour prédire le comportement mécanique des pièces, en fonction des paramètres matériaux et procédés.
- L'établissement de corrélations entre formulation – procédé – propriétés finales, en vue de garantir la reproductibilité et la stabilité du process à l'échelle industrielle.

Méthodologie

- Caractérisation des déchets : analyses de la composition chimique, analyses thermiques (DSC, TGA), rhéologiques, microstructurales (MEB), mesure de la teneur en fibres, etc.
- Formulation et compoundage : extrusion bi-vis, préparation de lots à composition contrôlée.
- Mise en œuvre : injection plastique, impression 3D (FDM).
- Essais mécaniques (traction, choc, flexion), analyse structure/propriétés.
- Simulations par éléments finis pour relier la microstructure aux performances.
- Suivi de l'impact environnemental via ACV simplifiée entre les différentes échelles de production.

Profil recherché

Diplômé(e) d'un Master 2 ou d'une école d'ingénieurs en matériaux, mécanique, composites ou génie des procédés.

Compétences en mise en œuvre et caractérisation des polymères et des composites.

Intérêt pour les approches numériques (Abaqus, Ansys, etc.).

Notions en rhéologie et en analyse de cycle de vie (ACV).

Capacité avérée pour la rédaction scientifique

Anglais

Partenariats et encadrement

Cette thèse s'inscrit dans un projet collaboratif avec Arkema, acteur industriel majeur dans le domaine des polymères techniques.

Les travaux seront menés au sein de l'**Institut des Sciences Analytiques et de Physico-Chimie pour l'Environnement et les Matériaux** (IPREM), UMR 5254 entre Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA) et le CNRS.

Contacts :

Sylvie Dagréou - sylvie.dagreou@univ-pau.fr

Helena Khoury Moussa - helena.khoury-moussa@univ-pau.fr

Candidatures :

Les personnes intéressées sont invitées à envoyer un CV accompagné d'une lettre de motivation à : helena.khoury-moussa@univ-pau.fr

Date limite de dépôt des candidatures : 11 juillet 2025

Références bibliographiques :

1. Agogue R, Meddeb W, Glais M, Aine L (IPC), Courtemanche B, Madec P, Ruch F, Zimmermann A, Le Brun T, Miller A (CETIM), Fontanier JC (IFTH), 2022, Guide pour le recyclage et l'écoconception des composites – rapport technique. 171 pages

2. Krawczak P. Recyclage des composites. Techniques de l'Ingénieur, AM5895, 2011. doi:10.51257/a-v1-am5895

3. Allagui S, El Mahi A, Rebiere JL, Beyaoui M, Bouguecha A, Haddar M. Effect of recycling cycles on the mechanical and damping properties of flax fibre reinforced Elium composite: experimental and numerical studies. Journal of Renewable Materials. 2021;9(4):695-721. doi:10.32604/jrm.2021.013586

4. Moothoo J, Garnier C, Ouagne P. Recyclage de déchets de production de composites thermoplastiques par moulage en compression. Journées Nationales sur les Composites 2017, École des Ponts ParisTech (ENPC), Jun 2017, 77455 Champs-sur-Marne, France. hal-01623667

5. Zhang J, Chevali VS, Wang H, Wang CH. Current status of carbon fibre and carbon fibre composites recycling. Composites Part B: Engineering. 2020;193:108053. doi:10.1016/j.compositesb.2020.108053