



Thèse de doctorat 36 mois, dès octobre 2025

Mines Paris, Centre de Mise en Forme des Matériaux (CEMEF) Sophia Antipolis, France

« Optimiser la performance des plastiques recyclés : comprendre et anticiper l'évolution de leurs propriétés mécaniques »

Contexte : Les plastiques, omniprésents dans notre quotidien en raison de leur durabilité, légèreté et faible coût, représentent un défi environnemental majeur. Selon les estimations, environ 8 millions de tonnes de plastiques sont déversés dans les océans chaque année, causant des dommages irréversibles à la faune marine et aux habitats naturels. Pour lutter contre la pollution plastique, le recyclage des plastiques est devenu une priorité mondiale. L'Union Européenne (UE) et la France ont mis en place des objectifs ambitieux visant à réduire, réutiliser et recycler les plastiques. Les directives européennes sur les plastiques et l'économie circulaire fixent des cibles élevées pour le recyclage des plastiques d'ici 2030, en mettant un accent particulier sur l'intégration de plastiques recyclés dans les chaînes de valeur industrielles. Ces directives sont transposées en lois nationales dans les États membres, imposant des seuils obligatoires pour l'utilisation de plastiques recyclés dans le cadre de la Responsabilité Élargie du Producteur (REP). Parmi les initiatives notables, la **Circular Plastics Alliance (CPA)** s'est fixé pour objectif de recycler **10 millions de tonnes de plastiques** d'ici **fin 2025**. Pour atteindre cette ambition, l'industrie du plastique doit repenser son modèle de production afin d'incorporer davantage de **matières premières recyclées (MPR)** dans ses produits, tout en garantissant leur **qualité, leur traçabilité et leur sécurité** pour les citoyens.

Aujourd'hui, d'importants défis scientifiques et techniques doivent être relevés. Les matériaux recyclés présentent souvent une dégradation de leurs propriétés mécaniques par rapport aux plastiques vierges, tandis que leurs caractéristiques rhéologiques varient davantage au cours des procédés de mise en œuvre. Ces variations résultent de multiples facteurs interconnectés intervenant à chaque étape du cycle de transformation, depuis l'approvisionnement en matière première jusqu'à la fabrication du produit fini. C'est dans ce contexte que s'inscrit ce programme de recherche.

Le projet de thèse sera réalisé dans le cadre d'un programme de Chaire « Lionel Fourment » proposée par le CEMEF Mines Paris, en étroite collaboration avec l'IPC (Centre Technique Industriel de la Plasturgie et des Composites). Ce programme de chaire s'intitule « CYCLADES », pour « reCYclage Composites et poLYmères : procédés Avancés, DurabilitE et Simulation numérique/intelligence artificielle ». Ses objectifs principaux sont de comprendre l'influence de l'incorporation de matière première recyclée sur le comportement de matériaux polymères ou composites. Le projet de thèse décrit ici s'intéresse au chainage qu'il existe entre la mise en forme, les développements de microstructures et les propriétés finales attendues.

Mots clé : Recyclage Polymère, Propriétés rhéologiques et mécaniques, Intelligence artificielle (IA)

Description du sujet : La problématique posée par cette thèse est de pouvoir estimer et prédire les propriétés mécaniques finales du produit à l'étape du compoundage ou fabrication d'un mélange maître (polymère recyclé et additifs). Il s'agira d'utiliser deux voies complémentaires :

- La détermination d'un ou plusieurs indicateurs mesurable(s) à l'échelle du compound des propriétés mécaniques,
- La construction d'un modèle basé sur les données pour prédire les propriétés mécaniques finales en fonction de mesures effectuées sur le compound. Ce modèle pourra permettre d'optimiser le procédé pour améliorer la qualité du compound produit.

La thèse repose donc sur la compréhension fine de l'origine de la variation des propriétés mécaniques des matières polymères recyclés. Des essais expérimentaux permettront d'analyser les propriétés physiques et mécaniques de la matière recyclée, en se concentrant sur la composition et la microstructure développée. Des essais thermomécaniques sur éprouvette injectée/extrudée évalueront leur résistance sous diverses conditions de chargement et de température.

L'accent sera mis sur les gisements de plastique post-consommation de type polypropylène, potentiellement issus de plusieurs domaines d'applications (emballage, automobile...). A l'issue du procédé de compoundage, le procédé choisi pour la fabrication des éprouvettes finales sera le procédé d'injection.

La stratégie scientifique proposée s'appuiera sur une plateforme expérimentale vaste, avec des outils d'analyse tels que : la microscopie électronique à balayage (MEB), la spectroscopie infra-rouge (FTIR), la calorimétrie (DSC), l'analyse mécanique dynamique (DMA), la diffraction des rayons X (WAXS et SAXS). Des procédés de mise en forme par voie fondue (compoundage et injection) seront également utilisés, si possible avec des mesures in-situ (spectroscopie IR). Une analyse des comportements à l'état fluide sera réalisée via des essais rhéologiques. A l'état solide, des essais thermomécaniques couplés à des mesures locales de champs de déformation et de température seront proposés. Enfin, des outils d'intelligence artificielle seront mis à disposition pour construire un modèle prédictif des propriétés finales du matériau recyclé.

Profil et compétences : Le (la) candidat(e) retenu(e) devra être titulaire d'un diplôme d'ingénieur ou d'un Master 2 en sciences des matériaux polymères et posséder de solides compétences dans le domaine de la physico-chimie et mécanique des polymères pris à l'état fluide et solide. L'étude de recherche orientée vers un domaine applicatif nécessitera de posséder des aptitudes pour les approches expérimentales. Un intérêt pour l'utilisation d'outils IA est également attendu. Une rigueur expérimentale, ainsi qu'une bonne capacité à la synthèse et à la communication, seront indispensables.

Durée : 36 mois, à compter d'octobre 2025

Salaire approximatif brut mensuel : ~2300€ brut/mois

Lieu : CEMEF, Mines Paris, Sophia-Antipolis (06), France (<https://www.cemef.minesparis.psl.eu>).

Equipe de recherche : Surfaces et Polymères

(<https://www.cemef.minesparis.psl.eu/presentation/equipe-sp/>)

Candidatures : Les candidatures devront être adressées aux encadrants ci-dessous et devront comprendre : un CV, une lettre de motivation ainsi que le contact de deux référents pour recommander le candidat.

Contacts : - CEMEF : Jean-Luc Bouvard (jean-luc.bouvard@minesparis.psl.eu)
Christelle Combeaud (christelle.combeaud@minesparis.psl.eu)
- IPC : Ronan Le Goff (ronan.legoff@ct-ipc.com)
Skander Mani (skander.mani@ct-ipc.com)