



IMT Mines Alès
École Mines-Télécom

LA SCIENCE & LA CRÉATIVITÉ POUR INVENTER UN MONDE DURABLE



DOCTORAT

EN PHYSICO-CHIMIE DES MATERIAUX

Etablissement

IMT Mines Alès (Ecole Nationale Supérieure des Mines d'Alès) & Société PELLENC ST (Pertuis – 84)

Affectation principale

Centre d'Enseignement et de Recherche Matériaux C2MA (Alès) – Unité Propre de Recherche Polymères Composites Hybrides (PCH) et Unité Mixte de Recherche Durabilité des Ecomatériaux et des Structures (DMS)

Résidence administrative

36 mois : Alès (Gard, Occitanie)

Date de mise à disposition : 01/10/2025

1. Présentation IMT et IMT Mines Alès

L'institut Mines-Télécom (IMT), grand établissement au sens du code de l'éducation, est un établissement public scientifique, culturel et professionnel (EPSCP) placé sous la tutelle principale des ministres chargés de l'industrie et du numérique. Premier groupe d'écoles d'ingénieurs en France, il fédère 11 écoles d'ingénieur publiques réparties sur le territoire national, qui forment 13 500 ingénieurs et docteurs. L'IMT emploie 4500 personnes et dispose d'un budget annuel de 400M€ dont 40% de ressources propres. L'IMT comporte 2 instituts Carnot, 35 chaires industrielles, produit annuellement 2100 publications de rang A, 60 brevets et réalise 110M€ de recherche contractuelle.

Créé en 1843, IMT Mines Alès compte à ce jour 1400 élèves (dont 250 étrangers) et 380 personnels. L'école dispose de 3 centres de recherche et d'enseignement de haut niveau scientifique et technologique, qui œuvrent dans les domaines des matériaux et du génie civil (C2MA), de l'environnement et des risques (CREER), de l'intelligence artificielle et du génie industriel et numérique (CERIS). Elle dispose de 12 plateformes technologiques et compte 1600 entreprises partenaires.

2. Projet de recherche

Titre : Valorisation des plastiques automobiles (VHU) et d'équipements électriques électroniques (DEEE) par optimisation du recyclage des polyoléfinés à base de polypropylène issues des VHU et DEEE. Apports du tri hyperspectral NIR/MIR et analyse de la dégradation oxydative

Mots clés : Recyclage, vieillissement, tri hyperspectral, PP, formulations

Contexte :

Le secteur automobile génère chaque année plusieurs centaines de milliers de tonnes de déchets plastiques à l'échelle européenne, principalement lors de la mise en fin de vie des Véhicules Hors d'Usage (VHU). Parmi les différentes familles de polymères utilisées dans les véhicules, les polyoléfinés, en particulier le polypropylène (PP), représentent près de 40 % des plastiques embarqués. Ces matériaux sont massivement employés dans des pièces telles que les pare-chocs,

tableaux de bord, revêtements intérieurs, boîtiers techniques ou passages de roue, en raison de leur faible densité, coût compétitif et bonnes propriétés mécaniques.

Le polypropylène est souvent utilisé sous forme chargée (avec du talc, de la calcite, des fibres de verre) pour améliorer sa rigidité, sa tenue en température et son comportement au feu. Il peut également être modifié par copolymérisation avec du polyéthylène (PP-PE) ou par incorporation de caoutchouc éthylène-propylène (PP-EPR) ou d'EPDM, afin d'améliorer sa résistance à l'impact et sa flexibilité, notamment pour les pièces extérieures soumises aux chocs.

Cependant, cette diversité des formulations rend le tri et le recyclage des fractions plastiques automobiles particulièrement complexes. La présence d'additifs minéraux, de stabilisants, de pigments (notamment les noirs de carbone) et de copolymères modifie les propriétés spectrales, thermiques et mécaniques des matériaux, rendant difficile leur séparation précise et la préservation de leur valeur fonctionnelle. En conséquence, une grande partie de ces plastiques, pourtant techniquement recyclables, sont aujourd'hui sous-valorisés ou incinérés.

Or, les bénéfices potentiels du recyclage de ces plastiques sont majeurs :

- Réduction de la dépendance aux ressources fossiles (le PP est un dérivé pétrochimique),
- Diminution de l'empreinte carbone des produits finis (recycler du PP consomme environ 88 % d'énergie en moins que de le produire vierge),
- Réduction des coûts de production pour les industriels intégrant des plastiques recyclés de haute qualité,
- Réponse à la pression réglementaire croissante (Directive VHU, exigences de contenu recyclé dans les pièces automobiles, taxations sur plastiques vierges, etc.),
- Création d'un écosystème de recyclage local et circulaire, en lien avec les centres de déconstruction, les trieurs et les fabricants de pièces.

Pour exploiter pleinement le potentiel de recyclage des polyoléfines issues de l'automobile, il est donc essentiel de maîtriser la variabilité des flux et de disposer de technologies de tri avancées capables de distinguer les formulations, copolymères et états de vieillissement.

Dans cette optique, la collaboration avec PELLENC ST, leader dans le développement de systèmes de tri optique par imagerie hyperspectrale NIR et MIR, permet d'élever la qualité du tri en détectant les différences subtiles entre PP vierge, chargé, copolymérisé ou dégradé. Couplée à une analyse fine de la dégradation oxydative, cette approche ouvre la voie à un tri non seulement chimique, mais aussi fonctionnel, basé sur les propriétés intrinsèques des matériaux.

Objectifs :

Dans ce contexte, la collaboration avec la société PELLENC ST est essentielle pour mener à bien le projet. En effet, l'apport technologique des machines de tri industrielles de PELLENC ST et son savoir-faire en tant que partenaire privilégié avec l'IMT Mines Alès en matière de tri et de valorisation des gisements VHU et DEEE depuis près de 20 ans, va permettre de renforcer la capacité de différenciation des polymères et de détecter plus finement les variations liées à l'oxydation, à la nature des charges ou à la présence de copolymères.

L'intégration de données issues de tests de vieillissement accéléré et de photo-oxydation du PP permet d'étudier l'évolution des signatures spectrales associées à la dégradation, avec pour objectif d'affiner les algorithmes de tri et de réduire les erreurs d'identification. En effet, la détection de l'état de dégradation chimique est un critère primordial pour juger de la réutilisabilité d'un matériau, au-delà de sa pureté chimique ou de son identification nominale.

Les résultats attendus de cette approche combinée visent à améliorer significativement la qualité des fractions recyclées, à produire des plastiques mono-composants aux performances proches des matériaux vierges, et à sécuriser leur intégration dans des chaînes de production industrielles. Ces travaux contribuent ainsi à faire évoluer les standards de tri, en intégrant la dimension physico-chimique du vieillissement comme critère clé dans la décision de recyclage ou d'élimination.

Le vieillissement des polymères, notamment des polyoléfines base PP (PP homo et copolymère PP-PE), induit des modifications structurales, notamment des dégradations par scission de chaînes, pouvant affecter leurs propriétés mécaniques et limiter leur recyclabilité. L'objectif de cette étude est de développer des méthodes non destructives pour évaluer l'état de dégradation d'échantillons du PP et de corrélérer ce résultat avec des analyses destructives afin de prédire leur aptitude au recyclage mécanique et proposer des catalogues de matières premières secondaires parfaitement adaptées à l'utilisateur final.

Il s'agira :

- D'établir des corrélations entre les analyses de surface et en profondeur : par exemple par une corrélation quantitative entre les résultats obtenus par spectroscopie MIR/NIR et par microscopie AFM.

- Déterminer l'aptitude à la valorisation matière au moyen de développement de modèles permettant de prédire l'aptitude au recyclage mécanique d'un échantillon de PP en fonction de son état de dégradation.
- De déterminer d'un état de dégradation thermo et photo-oxydative en masse (surface=> cœur) de PP issus de déchets d'équipements électriques électroniques surtriés¹ (volume de matière dégradée).

Il conviendra également d'identifier les bénéfices potentiels associés à certains additifs résiduels, présents dans les fractions recyclées, qui peuvent améliorer certaines propriétés fonctionnelles comme la stabilité thermique ou le comportement au feu. Ce projet pourra ouvrir la voie à la formulation et la caractérisation de matières premières secondaires (MPS) à base de PP recyclé, dont la qualité et le potentiel d'usage seront évalués selon des critères fonctionnels, mécaniques et de sécurité (dont la réaction au feu).

Ce projet permettra *in fine* d'évaluer la conséquence de cette dégradation en masse sur le remélangeage de PP oxydés et non oxydés plus ou moins dégradés, et donc d'interférer sur l'efficacité du surtri au travers de scénarios préventifs, palliatifs et curatifs :

- Les stratégies préventives par une détection précoce des matériaux oxydés.
- Les méthodes palliatives par la compatibilisation des mélanges.
- Les traitements curatifs pour éliminer la couche oxydée. Enfin, nous formulerons et caractériserons des MPS polyoléfiniques base PP afin d'évaluer leur qualité et leur potentiel d'utilisation.

3. Encadrement

Centre de Recherche et d'enseignement : C2MA, IMT Mines Alès

Unités de recherche : PCH et DMS

Ecole doctorale : Rattaché à l'école doctorale Sciences Chimiques Balard de Montpellier

4. Profil recherché

Ce poste est ouvert aux candidat(e)s remplissant les conditions administratives nécessaires à l'accès au doctorat au sein de l'Institut Mines-Télécom.

Le (ou la) candidat(e) devra être titulaire d'un master ou d'un diplôme d'ingénieur en physico-chimie des matériaux et justifier d'une solide expérience dans l'élaboration et la caractérisation physico-chimique, thermique et mécanique des polymères thermoplastiques, acquise lors de stages de fin d'études en entreprise ou au sein d'activités de recherche en laboratoire. Des compétences supplémentaires dans le domaine du recyclage des matières plastiques constitueront un atout majeur.

Le (ou la) candidat(e) devra faire preuve d'autonomie dans la conduite du projet et la production des livrables (rédaction de rapports, présentations orales, publications, etc.). Une organisation rigoureuse, un esprit d'initiative, une capacité à travailler en équipe, ainsi qu'une forte curiosité scientifique sont essentiels pour réussir dans ce poste.

5. Références bibliographiques

- ▶ C. Signoret (2016-2019). *Valorisation de Matières Premières Secondaires thermoplastiques en mélange issues de tri spectroscopique Moyen InfraRouge en ligne*. Co-direction : D. Perrin, P. Ienny. Co-encadrement : A.-S. Caro-Bretelle, J.-M. Lopez-Cuesta. Thèse Université de Montpellier – Soutenance le 03 octobre 2019 à l'IMT Mines Alès.
- ▶ L. DELARUE (2021-2024). *Elaboration et formulations de plastiques recyclés ABS et PS de haute performance à partir de polymères issus de séparation triboélectrique*. Co-direction : D. Perrin et A.-S. Caro-Bretelle. Co-encadrement : P.-J. Liotier et P. Ienny. Thèse Université de Montpellier – Soutenance le 02 décembre 2024.
- ▶ C. Signoret, A.-S. Caro-Bretelle, J.-M. Lopez-Cuesta, P. Ienny, D. Perrin. MIR spectral characterization of plastic to enable discrimination in an industrial recycling context: I. Specific case of styrenic polymers, *Waste Management* (2019), 95, 513-525.
- ▶ C. Signoret, M. Edo, A.-S. Caro-Bretelle, J.-M. Lopez-Cuesta, P. Ienny, D. Perrin. MIR spectral characterization of plastic to enable discrimination in an industrial recycling context: III. Anticipating impacts of ageing on identification, *Waste Management*, 109 (2020) 51–64.

¹ Le surtri est une opération permettant de trier une famille de matériaux issue de plusieurs classes de matière (ex : surtri de polymère PP au sein d'un gisement exclusivement de plastiques DEEE ou de VHU préalablement trié).

- ▶ C. Signoret, M. Edo, D. Lafon, A.-S. Caro-Bretelle, J.-M. Lopez-Cuesta, P. Ienny, D. Perrin. Degradation of styrenic plastics during recycling: Impact of reprocessing photodegraded material on aspect and mechanical properties, *Journal of Polymers and the Environment* (2020), 1-23.
- ▶ C. Signoret, A.-S. Caro-Bretelle, J.-M. Lopez-Cuesta, P. Ienny, D. Perrin. Alterations of plastics spectra in MIR and the potential impacts on identification towards recycling, *Resources Conservation and Recycling*, 161 (2020) 1049802.
- ▶ C. Signoret, P. Girard, Agathe Le Guen, A.-S. Caro-Bretelle, J.-M. Lopez-Cuesta, P. Ienny, D. Perrin. Degradation of Styrenic Plastics during Recycling: Accommodation of PP within ABS after WEEE Plastics Imperfect Sorting, *Polymers* (2021), 13, 1439.
- ▶ A. Alkhuder, A.-S. Caro, M. Gervais, A. Guinault, P. Ienny, D. Perrin, C. Sollogoub. Origin of an intermediate peak in DMTA analysis of multilayer ABS/PC samples, *Journal of Applied Polymer Science* (2023), e54926. <https://doi.org/10.1002/app.54926>.
- ▶ L. Delarue, M. Pucci, P.-J. Liotier, A.-S. Caro, P. Ienny, D. Perrin. Correlation Between AFM Characterizations and Dynamic Mechanical Testing to Assess the Ductile-to-Brittle Transition During ABS Photodegradation. *Polymer Degradation and Stability* (2024), 229, pp 110945.

6. Candidature et Contacts

▶ **Conditions administratives de candidature :**

Le poste proposé par l'IMT Mines Alès et l'entreprise PELLENC ST est un contrat à durée déterminée de 36 mois, à temps plein, contrat de droit public relevant des dispositions du cadre de gestion de l'IMT Mines Alès, métier Doctorant.

▶ **Conditions de localisation des travaux de thèse :**

Une période de 36 mois avec des séjours intégralement financés par le projet de thèse chez l'entreprise PELLENC ST.

▶ **Modalités de candidature :**

Les candidatures (CV et lettre de motivation) sont à adresser exclusivement à :

IMT Mines Alès : Pr. PERRIN Didier - didier.perrin@mines-ales.fr

PELLENC ST : Dr. ESTEVE David d.esteve@pellencst.com

Aspects administratifs : Mme Anne-Catherine Denni - anne-catherine.denni@mines-ales.fr

▶ **Déroulé du recrutement :**

Date limite de clôture des candidatures : 01/07/2025

Date de prise de fonction souhaitée : 01/10/2025