



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) & ENSAM (Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers)
Affectation principale	Centre d'Enseignement et de Recherche Matériaux C2MA (Alès) & Procédés et Ingénierie en Mécanique et Matériaux PIMM (Paris)
Résidence administrative	2 périodes de 18 mois : Alès (Gard, Occitanie) & Paris (Seine, île de France)
Date de prise de poste	01/07/2025

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 : Evaluation des conséquences de la dégradation oxydante sur le recyclage des ABS et développement de solutions pour optimiser l'efficacité du surtri.

Mots clés : Recyclage, vieillissement, ABS, dégradation, physico-chimie.

Contexte :

Face à l'urgence écologique, la valorisation des matières premières secondaires issues des Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques (DEEE) est un enjeu majeur pour produire des pièces industrielles à partir de plastiques recyclés. Cependant, la qualité des matériaux recyclés est variable en raison de la complexité du tri et de la présence d'additifs, ce qui complique leur valorisation. Parmi ces matériaux, les polymères styréniques comme l'ABS ont un fort potentiel, mais leur mise en œuvre industrielle est freinée par la variabilité de leur composition et structure, ce qui affecte leurs propriétés mécaniques et thermiques. Afin d'améliorer la rentabilité du recyclage, il est crucial de perfectionner les procédés de tri et de recyclage pour obtenir des plastiques recyclés aux propriétés proches de celles

des plastiques vierges. Le tri des plastiques noirs, qui représentent 40 à 60 % des flux, est particulièrement problématique. Des technologies comme la triboélectricité et la spectroscopie MIR montrent des résultats prometteurs, mais restent limitées dans leur capacité à trier efficacement ces matériaux. De plus, bien que la pureté idéale des matériaux recyclés soit importante, elle ne garantit pas nécessairement leurs performances, car le vieillissement chimique ou la présence d'impuretés peut altérer leurs propriétés. Des recherches récentes ont montré que le contrôle de l'état de dégradation des plastiques, comme l'ABS, est essentiel pour déterminer si un matériau doit être recyclé ou éliminé. L'évaluation du vieillissement accéléré et de la photo-oxydation de l'ABS permet de mieux comprendre l'impact de ces phénomènes sur la qualité des matériaux recyclés. Ces travaux offrent des pistes pour améliorer la gestion du recyclage et de la valorisation des plastiques en tenant compte de leur état de dégradation chimique.

En conséquence, pour optimiser la valorisation des plastiques recyclés, il est nécessaire de continuer à améliorer les techniques de tri et de recyclage, et de mieux comprendre l'impact du vieillissement sur les propriétés des matériaux afin de garantir leur performance et leur réutilisation efficace.

Objectifs :

Le vieillissement des polymères, notamment de l'ABS, induisant des modifications structurales pouvant affecter leurs propriétés mécaniques et limiter leur recyclabilité, l'objectif de cette étude est de développer une méthode rapide et non destructive pour évaluer l'état de dégradation d'échantillons d'ABS et de corrélérer ce résultat avec des analyses destructives afin de prédire leur aptitude au recyclage mécanique.

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 d'ABS en fonction de son état de dégradation.
- D'optimiser des procédés de recyclage par la fourniture d'outils méthodologiques pour optimiser les procédés de recyclage en permettant de trier les matériaux en fonction de leur qualité et d'identifier les traitements de recyclage les plus adaptés.
- De déterminer d'un état de dégradation thermo et photo-oxydative en masse (surface=> cœur) d'ABS issus de déchets d'équipements électriques électroniques surtriés¹ (volume de matière dégradée).

Ce projet permettra in fine d'évaluer la conséquence de cette dégradation en masse sur le remélangeage d'ABS oxydés et non oxydés, 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 ABS afin d'évaluer leur qualité et leur potentiel d'utilisation.

3. Encadrement

Centre de Recherche et d'enseignement : C2MA, IMT Mines Alès sur 18 mois puis PIMM, ENSAM de Paris sur 18 mois

Unité de recherche : PCH

Ecole doctorale : Rattaché à l'école doctorale de l'ENSAM de Paris

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 et des Arts et Métiers (ENSAM).

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.

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

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.
- ▶ 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'ENSAM de Paris (laboratoire PIMM) 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'ENSAM, métier Doctorant.
- ▶ **Conditions de localisation des travaux de thèse :**
Deux périodes de 18 mois, réparties comme suit : 18 mois au C2MA de l'IMT Mines Alès et 18 mois au laboratoire PIMM de l'ENSAM à Paris.
- ▶ **Modalités de candidature :**
Les candidatures (CV et lettre de motivation) sont à adresser exclusivement à :
ENSAM : Dr. GERVAIS Matthieu - matthieu.gervais@lecnam.net
IMT Mines Alès : Pr. PERRIN Didier - didier.perrin@mines-ales.fr
Aspects administratifs : Mme Anne-Catherine Denni - anne-catherine.denni@mines-ales.fr
- ▶ **Déroulé du recrutement :**
Date limite de clôture des candidatures : 15/05/2025
Date de prise de fonction souhaitée : 01/07/2025