

## Épisode 3 : Le cercle infini

L'ingénierie circulaire donne une seconde vie aux matériaux pétro-sourcés.

### Contexte et enjeux

La gestion des matériaux en fin de vie constitue un enjeu majeur dans le contexte de la transition vers une économie plus circulaire. Parmi les matériaux concernés figurent notamment les composites à fibres de carbone (CFRP) et les pneumatiques, largement utilisés dans les secteurs du transport et de l'industrie. Ces matériaux sont constitués d'un renfort mécanique carboné associé à une matrice polymère, ce qui leur confère des propriétés remarquables mais rend leur recyclage complexe.

Leur durée de vie varie selon les usages : quelques années pour les pneumatiques, plusieurs décennies pour les composites. En Europe, plusieurs millions de tonnes de pneumatiques et des dizaines de milliers de tonnes de composites arrivent chaque année en fin de vie. Dans ce contexte, les réglementations imposent la mise en place de filières de collecte et de valorisation. Si la valorisation énergétique est possible, la valorisation matière, visant à réutiliser les composants, est aujourd'hui privilégiée.

Deux grandes approches existent : le broyage des matériaux pour des usages de moindre valeur, ou la séparation des constituants afin de récupérer les charges renforçantes, comme les fibres de carbone ou le noir de carbone, en vue de leur réutilisation. Cette seconde voie, plus exigeante mais à plus forte valeur ajoutée, constitue le cœur des recherches présentées ici.

### Les recherches menées

Les travaux portent sur le développement et l'optimisation de procédés de recyclage par vapo-thermolyse, un traitement thermique en présence de vapeur d'eau permettant de décomposer les polymères et de récupérer les charges carbonées :

- Un premier axe de recherche concerne l'optimisation des procédés afin de traiter des matériaux hétérogènes. En effet, les composites et les pneumatiques présentent des compositions variables selon leur origine, ce qui impose d'adapter les conditions opératoires pour garantir une récupération efficace des matériaux tout en préservant leurs propriétés. Les recherches portent notamment sur la maîtrise des paramètres de traitement, la gestion des mélanges de déchets et l'adaptation du procédé à l'évolution des matériaux.
- Un second axe s'intéresse à la caractérisation des matériaux récupérés, en particulier du noir de carbone issu des pneumatiques. Après traitement, ce matériau contient des impuretés, comme du carbone pyrolytique ou des résidus minéraux, qui modifient ses propriétés. Les chercheurs étudient l'impact de ces éléments sur la structure, la surface et les propriétés physico-chimiques du matériau, afin de mieux comprendre les écarts avec les matériaux vierges.
- Dans cette perspective, un enjeu important consiste à définir des critères de qualité permettant de qualifier les matériaux recyclés et d'envisager leur réutilisation. Les travaux visent ainsi à établir un véritable « cahier des charges » pour le noir de carbone récupéré, en s'appuyant sur des paramètres tels que la taille des particules, la surface spécifique ou la structure des agrégats.
- Enfin, des approches expérimentales reposant sur des matériaux modèles sont développées afin de mieux comprendre les mécanismes de transformation et de dégradation. Ces modèles permettent de relier les conditions de traitement aux propriétés finales des matériaux recyclés, dans une optique d'amélioration continue des procédés.

Elsa Weiss-Hortala

Centre de recherche d'Albi en génie des procédés des solides divisés, de l'énergie et de l'environnement (RAPSOEE), IMT MINES ALBI - INSTITUT MINES-TELECOM / CNRS