
Recyclage et valorisation de déchets plastiques par voie chimique

Isabelle Dez^{*†1}, Alexis Perrot^{‡1}, Edgar Fondimare^{§1}, Mouna Ouechtati^{¶1}, and Fatima Chkeir^{||1}

¹Université de Caen Normandie (UNICAEN) – Université de Caen, ENSICAEN, Université de Rouen, INSA de Rouen, CNRS, CARMEN, 14000 Caen, France – Esplanade de la Paix - CS 14032 - 14032 CAEN Cedex 5, France

Résumé

Le caoutchouc et ses dérivés, largement utilisés dans notre quotidien (pneus, gants jetables, matériaux souples), représentent une production mondiale de 31,5 millions de tonnes par an (2024). Ces matériaux sont constitués, à l'échelle microscopique, de longues molécules (appelées polymères) entrelacées pour former des réseaux tridimensionnels. Cette structure leur confère une grande résistance mécanique et thermique, mais elle pose un défi majeur concernant leur fin de vie : les liaisons chimiques qui les composent sont si stables qu'elles empêchent un recyclage simple et peu énergivore. Les méthodes actuelles de recyclage nécessitent des températures très élevées ou l'utilisation de métaux rares et toxiques, ce qui limite leur efficacité et leur durabilité. Ainsi, malgré leur utilité, ces matériaux restent difficiles à valoriser une fois usagés.

Nos recherches actuelles reposent sur une méthode de recyclage chimique innovante, capable de fragmenter les réseaux de caoutchouc tout en y intégrant des motifs chimiques spécifiques. Ces motifs, introduits de manière contrôlée, permettent de préserver les propriétés thermiques et mécaniques des matériaux finaux, tout en facilitant leur recyclage dans des conditions moins énergivores et plus respectueuses de l'environnement. Nous explorons principalement trois pistes pour valoriser ces caoutchoucs recyclés : leur réutilisation dans des matériaux recyclables par traitement thermique ; leur intégration dans des matériaux recyclables par procédés mécaniques ; et leur application dans des gels d'électrolytes, notamment pour les batteries électriques.

Les matériaux recyclables par traitement thermique que nous développons intègrent des motifs chimiques conçus pour se rompre à des températures modérées, voire basses, de manière réversible. Présents en faible proportion, ces motifs n'affectent pas significativement les propriétés mécaniques et thermiques du matériau. En revanche, ces matériaux ont la capacité d'être réparés ou remodelés sous l'effet de la chaleur, même après usage ou lorsque leur fonction initiale n'est plus souhaitée. Cela permet ainsi de les réutiliser dans de nouvelles applications. Par ailleurs, certains des motifs chimiques utilisés sont également sensibles

*Intervenant

†Auteur correspondant: isabelle.dez@ensicaen.fr

‡Auteur correspondant: alexis.perrot@ensicaen.fr

§Auteur correspondant: edgar.fondimare@ensicaen.fr

¶Auteur correspondant: mouna.ouechtati@ensicaen.fr

||Auteur correspondant: Fatima.chkeir@ensicaen.fr

à l'eau : en milieu aqueux, ils peuvent se fragmenter et libérer des dérivés de caoutchouc potentiellement biodégradables, ouvrant ainsi des perspectives pour un recyclage encore plus respectueux de l'environnement.

De la même manière, nos matériaux recyclables par voie mécanique intègrent des motifs chimiques conçus pour se rompre sous l'effet d'une contrainte mécanique. Cette approche présente un double avantage : elle élimine le besoin d'une source de chaleur pour déclencher la dégradation et, dans l'idéal, évite également l'utilisation de solvants chimiques agressifs pour l'environnement. L'impact écologique global du recyclage s'en trouve ainsi réduit. Grâce à cette méthode, les matériaux élastiques que nous développons peuvent être revalorisés simplement, soit par broyage mécanique, soit par traitement aux ultrasons, sans recourir à des procédés énergivores ou polluants.

Enfin, les batteries électriques jouent un rôle clé dans la transition vers un avenir plus " durable ", en permettant le stockage des énergies renouvelables comme alternative aux énergies fossiles. Cependant, la plupart des batteries actuelles reposent sur des matériaux coûteux, fragiles et toxiques, ce qui motive la recherche de solutions plus accessibles et respectueuses de l'environnement. Notre approche permet d'intégrer des motifs chimiques spécifiques dans des caoutchoucs recyclés, transformant ces matériaux en une matière première adaptée à la fabrication de gels d'électrolytes. Ces gels pourraient être utilisés dans des batteries souples et plus écologiques, réduisant ainsi l'empreinte environnementale des dispositifs de stockage d'énergie.

En résumé, nos travaux visent à développer des méthodes de recyclage innovantes pour les matériaux polymériques, en particulier les caoutchoucs, en intégrant des motifs chimiques sensibles. Ces approches permettent une déconstruction contrôlée des réseaux polymères et ouvrent des perspectives pour leur réutilisation en matériaux recyclables ou leur conversion vers des applications spécifiques. Ces recherches s'inscrivent ainsi dans une démarche de transition écologique en proposant des alternatives aux matériaux pétrosourcés et en limitant l'impact environnemental des procédés de recyclage traditionnels.

Mots-Clés: Recyclage, chimie, plastique, déchet, caoutchouc