

Une mise en lumière des travaux de Manon Pujol sur le surcyclage enzymatique du polystyrène !

En 2025, le Prix Jeunes Talent France L'Oréal-UNESCO pour les Femmes et la Science a récompensé 34 lauréates doctorantes et post-doctorantes. Parmi elles, dans la catégorie « Innover pour un futur durable », figure Manon Pujol, post-doctorante au sein du Laboratoire de Chimie des Polymères Organiques de Bordeaux.

À la réception de son prix, Manon Pujol a exprimé sa grande satisfaction, soulignant l'importance de cette reconnaissance pour ses propres travaux scientifiques et, plus largement, pour la visibilité qu'elle apporte aux femmes scientifiques. « Être une femme scientifique est une fierté et un engagement. Mon autisme, allié à ma condition de femme, m'a conféré une grande résilience et persévérance. Je considère cette différence comme une force et une richesse pour la science, et j'espère ainsi contribuer à un environnement où chacun peut s'épanouir ».

La chercheuse a reçu une dotation de 20 000 €, utilisable dans le cadre de ses recherches pour financer des déplacements ou des formations, la création d'un business plan ou l'achat d'articles scientifiques. Sa candidature a été retenue parmi plus de 700 par un jury composé de 30 membres de l'Académie des sciences.

Depuis sa création en 1985, le Laboratoire de Chimie des Polymères Organiques (LCPO) concentre ses recherches académiques en sciences des polymères sur les mécanismes de polymérisation et l'ingénierie macromoléculaire. Venant de fêter ses 40 ans, cette unité mixte de recherche (CNRS-Université de Bordeaux-Bordeaux INP) est organisée en 5 équipes, mettant en commun leurs savoir-faire, leurs compétences et leur capacité d'innovation en sciences des polymères, dans l'objectif de relever les défis scientifiques d'aujourd'hui et de demain. Le LCPO dispose d'une plateforme, POLYCAR, pour la caractérisation des polymères (approche multi-technique et multi-échelle).



Manon Pujol - © Fondation L'Oréal

Une chercheuse passionnée et impliquée

Le parcours académique de Manon Pujol l'a menée d'une licence de chimie à Nice et d'un master de chimie verte à Strasbourg à une thèse à Marseille, avant d'intégrer le Laboratoire de Chimie des Polymères Organiques en mai 2023 pour un postdoctorat.

« Les sciences ont toujours été ma matière préférée à l'école. La chimie, en particulier, m'a passionnée car je la perçois comme la base de tout ce qui nous entoure, le monde étant composé d'atomes. J'aime l'aspect exploratoire de la recherche : inventer des expériences, les mettre en place et découvrir des résultats. », explique la jeune chercheuse.

Manon Pujol est membre de l'équipe 1 du LCPO, intitulée « Catalyse et ingénierie de polymérisation ». La chercheuse a candidaté sur un financement lié à la reconversion du polystyrène pour ses travaux de recherche.

Cette équipe de recherche du LCPO, se compose de sept chercheurs et d'une vingtaine de doctorants/postdoctorants. Son objectif principal est de développer des méthodologies alternatives permettant des réactions efficaces et hautement chimiosélectives pour la conception durable de composés macromoléculaires, avec un contrôle précis de leurs caractéristiques structurales et dimensionnelles à différentes échelles : composition, masses molaires, dispersité, microstructure, tacticité, fonctionnalité, architecture, taille et forme. Une partie de l'équipe s'intéresse également à la dépolymérisation de la lignine, un des principaux constituants du bois, pour générer un panel de molécules d'intérêt,

et plus récemment, à la transformation des polymères vinyliques tels que le polyéthylène ou polystyrène, dans une perspective de repositionner les « plastiques » au cœur d'une économie circulaire.

Zoom sur les travaux récompensés de Manon Pujol

Les travaux de recherche de Manon Pujol, récompensés dans le cadre du Prix Jeunes Talent France L'Oréal-UNESCO pour les Femmes et la Science, concernent la transformation/reconversion enzymatique du polystyrène, une approche distincte du recyclage traditionnel. Pour rappel, le recyclage vise à retourner au monomère de base, tandis que la reconversion (« upcycling » en anglais qu'on pourrait traduire par le terme de « surcyclage ») transforme le déchet en petites molécules à valeur ajoutée.

Manon Pujol utilise une enzyme qui a la capacité de capter l'oxygène de l'air et de l'intégrer aux chaînes de polystyrène afin de le déstabiliser et de le couper en fragments plus petits, jusqu'à générer des petites molécules oxydées d'intérêt. L'enzyme utilisée dans ce procédé est une laccase, issue d'un champignon et déjà connue pour être impliquée dans la Nature dans la dégradation de biopolymères comme la lignine. Pour dégrader les chaînes de polystyrène, la laccase a besoin d'un agent médiateur, c'est-à-dire une molécule organique servant de relai à l'enzyme pour attaquer les liaisons robustes du polymère : son nom est le N-hydroxybenzotriazole. Le polystyrène étant très hydrophobe, et l'enzyme évoluant quant à elle uniquement dans l'eau, l'innovation majeure proposée par Manon Pujol réside dans la dispersion du polystyrène dans l'eau sous forme de nanoparticules stabilisées par un tensioactif. C'est ce qui a permis de débloquent la dégradation enzymatique de ce polymère, entraînant une réduction nette de la longueur des chaînes de plus de 99 % : un record pour la dégradation enzymatique de ce polymère. Le rendement en petite molécules demeure encore assez modeste : 5 % à ce stade de l'étude pour former le benzaldéhyde, l'acide benzoïque, ou l'acétophénone, mais l'équipe garde espoir pour améliorer ce procédé. Ces composés sont d'un grand intérêt en chimie industrielle : le benzaldéhyde est par exemple utilisé comme arôme pour son goût d'amande, l'acide benzoïque est un agent antifongique et antibactérien, tandis que l'acétophénone est utilisée comme agent odorant, intermédiaire de synthèse ou solvant.

Une demande de brevet protégeant ce procédé de dispersion du polystyrène et la méthode de « surcyclage » associée a été déposée [1]. Un article de recherche a également été publié début novembre 2025 dans la prestigieuse revue *Angewandte Chemie* [2].

Daniel Taton, Professeur à l'Université de Bordeaux et expert en chimie des polymères, est l'encadrant de la jeune post-doctorante au LCPO, le projet étant menée en collaboration avec le Dr. Bastien Bissaro, spécialiste des enzymes fongiques, au laboratoire Biodiversité et Biotechnologie Fongique – BBF à Marseille.

Manon Pujol explore maintenant l'application de cette stratégie à d'autres plastiques « récalcitrants », en particulier les polymères à liaisons carbone-carbone (C-C) robustes, pour lesquels il existe encore peu de solutions de recyclage et/ou de sur-recyclage, contrairement aux plastiques dits « hydrolysables » comme le poly(téréphthalate d'éthylène) PET pour lesquels des solutions enzymatiques existent déjà. La société française Carbios, notamment, arrive à recycler des bouteilles en PET grâce à des enzymes.

Et ensuite ?

En 2026, Manon Pujol s'oriente vers un nouveau projet de postdoctorat qui visera une autre façon de « surcycliser » le polystyrène que par une voie enzymatique. Il s'agira en l'occurrence de recourir à des photocatalyseurs, activables sous l'effet de la lumière du visible et même de la lumière solaire, pour attaquer le squelette carboné du polystyrène. Ce projet de collaboration interdisciplinaire sera co-encadré par Daniel Taton et Dario Bassani (expert en photochimie), entre le LCPO et l'Institut des sciences moléculaire (ISM).
A suivre !

Références :

- [1] M. Pujol et al., Method for degrading a vinyl polymer, Patent n° PCT/EP2025/082415, 10/11/2025
- [2] M. Pujol et al., Harnessing Colloidal Dispersion for Laccase-Driven Enzymatic Depolymerization of Polystyrene, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2026**, 65, e13937.

Contact :

Laboratoire de Chimie des Polymères Organiques (LCPO -CNRS UMR5629)
Manon Pujol
manon.pujol@bordeaux-inp.fr
www.lcpo.fr

M. HASLÉ

© La Gazette du Laboratoire