

Projet ECO2R : recycler, comprendre... et réinventer le plastique

À l'heure où l'économie circulaire n'est plus un slogan mais une obligation réglementaire, les plastiques se retrouvent au cœur d'un paradoxe moderne : indispensables et pourtant indésirables. Cette tension est particulièrement visible dans le secteur de l'emballage, qui représente à lui seul près de 40 % des déchets plastiques produits dans le monde [1]. L'Union européenne fixe des objectifs ambitieux, jusqu'à 55 % de recyclage des emballages plastiques d'ici 2030 [2], tandis que la France prévoit la fin de la mise sur le marché des emballages en plastique à usage unique d'ici 2040 [3]. Dans ce contexte, le projet ANR « Éco-conception des filières de recyclage / réutilisation des plastiques biosourcés et biodégradables : poser les bases » (ECO2R, ANR-23-CE43-0005) s'inscrit comme une tentative de réconcilier performance des matériaux et fin de vie maîtrisée à travers le développement d'un emballage alimentaire à la fois biodégradable et recyclable (figure 1).

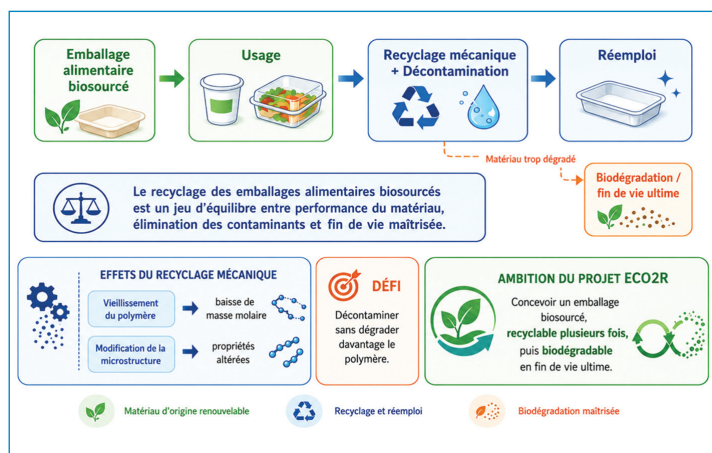


Figure 1 - Vue d'ensemble du projet ECO2R. Les emballages alimentaires biosourcés sont destinés à être recyclés mécaniquement et décontaminés afin de permettre leur réemploi. Le projet vise à limiter les effets du recyclage sur la structure et les propriétés des polymères afin de maximiser le nombre de cycles de recyclage avant une biodégradation contrôlée en fin de vie.

Une économie circulaire... mais pas encore fermée

Le modèle idéal serait simple : produire, utiliser, recycler, recommencer. Dans la réalité, les flux sont plutôt des spirales imparfaites. Une large fraction des plastiques finit encore incinérée ou enfouie, contribuant à la dissémination de microplastiques et à la contamination des écosystèmes [4]. Les bioplastiques, souvent perçus comme « solution miracle », ne font pas exception : biodégradable ne signifie pas nécessairement recyclable, et inversement.

Le recyclage mécanique, méthode la plus répandue, repose sur une idée simple : reformer pour reformer. Cependant, il se heurte à plusieurs limites car le matériau « vieillit » à chaque cycle. Les polymères subissent une dégradation thermique, une diminution de masse molaire et une modification de leur microstructure, entraînant une perte

progressive de propriétés [5]. Résultat : après quelques cycles, le plastique n'est plus vraiment le même.

À cette perte de performances s'ajoute un second défi, particulièrement critique pour les emballages alimentaires : la présence de contaminants. Des substances non intentionnellement ajoutées (« *non-intentionally added substances* », NIAS) peuvent être présentes dans la composition du plastique recyclé. Elles peuvent être néoformées à partir de la dégradation des polymères ou des additifs lors du recyclage, ou bien résulter de contaminations chimiques par migration liées à des résidus d'usage [5]. Ces molécules sont sorbées par le polymère et interagissent avec lui. Leur comportement dépend de leur polarité, de leur masse molaire... mais aussi de l'état structural du matériau [5,6]. La sécurité sanitaire impose donc une étape complémentaire de décontamination aux emballages alimentaires [7] pour garantir leur conformité aux réglementations européennes relatives à l'aptitude au contact alimentaire des matériaux [8,9], qui s'ajoute au processus de remise en forme par recyclage mécanique.

Le recyclage devient alors un jeu d'équilibre délicat : éliminer ces contaminants sans dégrader davantage le polymère. Une tâche d'autant plus complexe que les mécanismes de diffusion et de désorption sont intimement liés à la structure interne du matériau. Ce défi met alors en évidence une question fondamentale : quels sont les paramètres qui gouvernent simultanément la stabilité du matériau et l'élimination des contaminants ?

La structure : le véritable chef d'orchestre

C'est ici que le projet ECO2R apporte une contribution originale : replacer la structure du polymère au centre du problème [10]. Cristallinité, fraction amorphe rigide, mobilité moléculaire... autant de paramètres qui gouvernent à la fois la stabilité du matériau et le devenir des contaminants d'usage, des NIAS et des contaminants modèles utilisés pour évaluer l'efficacité de la décontamination (figure 2). Comprendre leur localisation, leur diffusion et leur élimination constitue

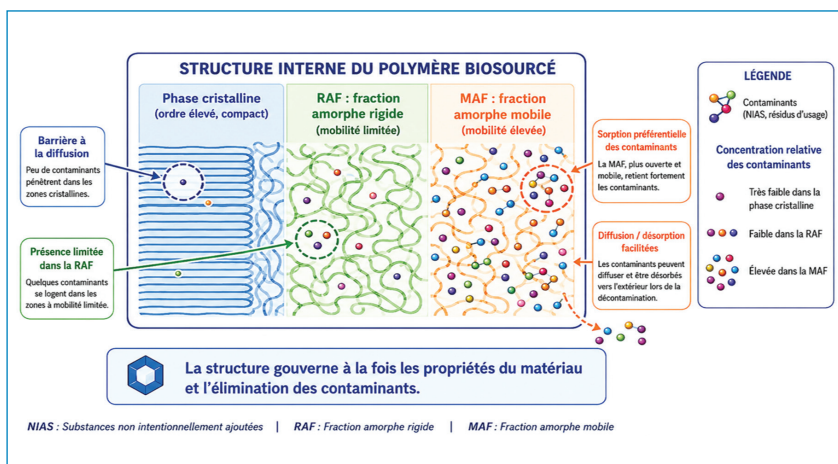


Figure 2 - Représentation schématique des différentes phases structurales d'un polymère semi-cristallin (phase cristalline, fraction amorphe rigide (RAF) et fraction amorphe mobile (MAF)) et de leur influence sur la diffusion, la localisation et l'élimination des contaminants au cours de la décontamination.

la question centrale du projet, dont la réponse est indispensable pour concevoir des procédés de décontamination efficaces sans compromettre les performances du matériau. Autrement dit, comprendre le recyclage nécessite de descendre à l'échelle moléculaire. Le polymère n'est plus un simple matériau, mais un système dynamique, dont l'histoire thermique et chimique conditionne l'avenir.

Vers un matériau idéal ?

Et si le matériau idéal, c'est-à-dire un polymère capable d'être recyclé plusieurs fois sans perdre ses propriétés tout en restant biodégradable en fin de vie, existait ?

C'est précisément l'ambition du projet ECO2R : concevoir des plastiques biosourcés qui ne soient pas condamnés à un seul destin (recyclage ou compostage) mais capables d'alterner intelligemment entre ces voies. Pour y parvenir, le projet vise à identifier les marqueurs structuraux (cristallinité, fraction amorphe rigide, masse molaire, etc.) qui gouvernent la diffusion des contaminants et l'efficacité de leur élimination, afin d'établir une relation prédictive entre structure du polymère et décontamination. Le projet explore notamment une stratégie originale de stabilisation inter-polymères, consistant à utiliser les produits de dégradation de certains biopolyesters comme agents d'extension de chaîne pour en stabiliser d'autres : une forme élégante de « recyclage interne ».

Le futur du plastique ne sera probablement ni linéaire ni unique, mais multiple et adaptatif. Un matériau capable de changer de trajectoire selon son état ; recyclable tant qu'il le peut, biodégradable lorsqu'il le doit.

[1] V. Samborska, *Packaging is the source of 40% of the planet's plastic waste*. Our World In Data, 14/11/2024, <https://ourworldindata.org/data-insights/packaging-is-the-source-of-40-of-the-planets-plastic-waste> (consulté le 28/07/2026)

[2] Règlement (UE) 2025/40 relatif aux emballages et déchets d'emballages, 2025.

[3] Loi AGECE n° 2020-105 du 10 février 2020.

[4] N. Jourdainne, M. Ekholm, N. Belkessa, A. Vignon, N. Sbirrazzuoli, C. Combeaud, J.-L. Bouvard, N. Guigo, Mussel Shell Waste as a Bio-Filler in PLLA: Effects on Crystallization, Thermal and Mechanical Performance, *J. Renew. Mater.*, 2026, 14(7), p. 1-10, <https://doi.org/10.32604/jrm.2026.02026-0040>

[5] S. Palkopoulou, C. Joly, A. Feigenbaum, C. D. Papaspyrides, P. Dole, Critical Review on Challenge Tests to Demonstrate Decontamination of Polyolefins Intended for Food Contact Applications, *Trends Food Sci. Technol.*, 2016, 49, p. 110-120, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.12.003>

[6] I. Dedieu, C. Aouf, S. Gaucel, S. Peyron, Recycled Poly(Hydroxybutyrate-Co-Valerate) as Food Packaging: Effect of Multiple Melt Processing on Packaging Performance and Food Contact Suitability, *J. Polym. Environ.*, 2023, 31(3), p. 1019-28, <https://doi.org/10.1007/s10924-022-02600-4>

[7] R. Franz, F. Welle, Contamination Levels in Recollected PET Bottles from Non-Food Applications and Their Impact on the Safety of Recycled PET for Food Contact, *Molecules*, 2020, 25(21), 4998, <https://doi.org/10.3390/molecules25214998>

[8] Règlement (CE) 1935/2004 relatif aux matériaux au contact des denrées alimentaires.

[9] Règlement (UE) 2022/1616 relatif aux plastiques recyclés destinés au contact alimentaire.

[10] N. Jourdainne, R. Heller Dos Santos, S. Gaucel, N. Sbirrazzuoli, S. Peyron, C. Aouf, N. Guigo, Determination of Thermal Transitions in Polyesters by Temperature-Dependent FTIR Spectroscopy, *Polym. Test.*, 2026, 161, 109267, <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2026.109267>

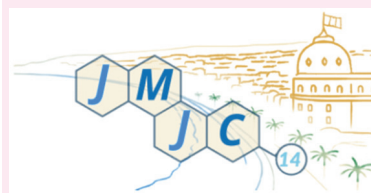
Faites découvrir votre laboratoire à nos voisins européens !

Le RJ-SCF ouvre ses frontières ! En collaboration avec les réseaux de jeunes chimistes allemands et suisses, nous lançons une nouvelle initiative pour faire découvrir les universités et instituts de recherche des trois pays à travers une série de publications conjointes sur les réseaux sociaux. Vous travaillez dans une structure de recherche française et souhaitez faire connaître ses thématiques, ses expertises et ses travaux à de jeunes chimistes européens ? Rejoignez-nous pour présenter votre laboratoire et faire rayonner la recherche française au-delà de nos frontières !

Au fil des mois, plusieurs thématiques seront mises à l'honneur : chimie organique, biochimie, chimie-physique... Envie de participer ou simplement d'en savoir plus ? Contactez-nous*. À vous de jouer pour faire découvrir la richesse de la recherche chimique française à nos voisins européens !

* relations-internationales.rj@societechimiquedefrance.org

JMJC 2026



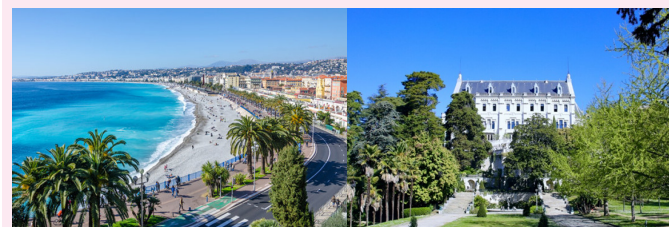
Les Journées Méditerranéennes des Jeunes Chercheurs (JMJC) sont un événement annuel dont la mission principale est de favoriser la communication entre

jeunes chimistes (Master, doctorants, postdoctorants et jeunes chercheurs) du sud de la France en offrant une plateforme unique d'échange et de développement professionnel.

Elles sont organisées à tour de rôle par les universités de Nice, Aix-Marseille, Avignon, Montpellier et Toulon. Cette année, l'Université Côte d'Azur est fière d'accueillir la 14^e édition du congrès à Nice les 8 et 9 octobre 2026.

Des conférences plénières animées par des chimistes de renommée internationale auront lieu et les participants pourront présenter leurs travaux sous forme de communications orales ou de posters face à un public académique expérimenté, tout en bénéficiant de la proximité régionale de l'événement et de l'absence de frais d'inscription.

* <https://sites.google.com/view/jmjc-2026>



Cet article a été préparé par **Rebeca HELLER DOS SANTOS**, doctorante à l'UMR 1208 Ingénierie des Agropolymères et Technologies Émergentes, INRAE/Université de Montpellier/Institut Agro Montpellier (rebeca.heller-dos-santos@inrae.fr), et **Nathan JOURDAINNE**, doctorant au Centre de Mise en Forme des Matériaux, UMR 7635 CNRS/Mines Paris – PSL Université, et à l'Institut de Chimie de Nice, UMR 7272 CNRS/Université Côte d'Azur (nathan.jourdainne@minesparis.psl.eu).

Les « Grains de Sel » sont coordonnés par **Lise ESTOURNET**, membre du Bureau national du RJ-SCF, responsable communication (lise.estournet@gmail.com), et **Alexis PERROT**, président du RJ-SCF Normandie (alexis.perrot@ensicaen.fr). Ils sont en téléchargement libre sur www.lactualitechimique.org