



# COMMENT INTÉGRER LES MATÉRIAUX PLASTIQUES

# SOMMAIRE

<b>SOMMAIRE</b>	<b>2</b>
<b>INTRODUCTION</b>	<b>3</b>
<b>L'INNOVATION AU SERVICE DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE</b>	<b>4</b>
▪ <b>LA FRANCE AMBITIEUSE SUR LE RECYCLAGE DES PLASTIQUES</b>	<b>4</b>
▪ <b>RÉDUCTION, RÉUTILISATION ET RECYCLAGE DES MATIÈRES PLASTIQUES SONT INDISSOCIABLES</b>	<b>6</b>
▪ <b>« NOTRE MÉTHODE ENZYMATIQUE PERMET DE RECYCLER TOUTES LES FORMES DE PET »</b>	<b>8</b>
▪ <b>« LE COURS DES MATIÈRES PLASTIQUES RECYCLÉES NE DÉPEND PAS DE CELUI DU PÉTROLE »</b>	<b>10</b>
<b>POUR ALLER PLUS LOIN</b>	<b>12</b>
▪ <b>LE POLYURÉTHANE DU FUTUR SERA-T-IL VERT ?</b>	<b>12</b>
▪ <b>PLASTIQUES : LE RECYCLAGE CHIMIQUE ENFIN RECONNU PAR LA COMMISSION EUROPÉENNE</b>	<b>14</b>
▪ <b>REPLACE : LES PLASTIQUES COMPLEXES REMIS AU COEUR DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE</b>	<b>16</b>
▪ <b>LES INITIATIVES INDUSTRIELLES EN MATIÈRE DE RECYCLAGE CHIMIQUE DES PLASTIQUES SE MULTIPLIENT</b>	<b>18</b>
▪ <b>L'IMPORTANCE CROISSANTE DES PLASTIQUES RECYCLÉS DANS LES EMBALLAGES</b>	<b>20</b>
▪ <b>LES THÈSES DU MOIS : COMMENT INTÉGRER LES MATÉRIAUX PLASTIQUES DANS UNE ÉCONOMIE CIRCULAIRE ?</b>	<b>22</b>

# INTRODUCTION

La stratégie 3R est un des piliers de l'économie circulaire. C'est en tout cas comme cela que les inventeurs de ce concept, Michael Braungart et William McDonough, l'ont formulée dans les années 1990, observant que la consommation linéaire des ressources constituait une impasse, à terme.

Que signifient ces trois R ? Réduction, réutilisation et recyclage. Aujourd'hui, on insiste beaucoup sur le recyclage, qui représente il est vrai un immense défi en soi, sachant que l'objectif final est de se rapprocher le plus possible d'un recyclage à 100 % de tous les matériaux plastiques. Nous en sommes très loin aujourd'hui : dans un pays comme la France, environ 10% des déchets plastiques sont recyclés.

Il est évident qu'à volume égal, ce chiffre va bondir dans les prochaines années : d'une part grâce à une efficacité plus importante de la collecte, mais également grâce au développement de nouvelles technologies qui permettront de recycler des plastiques pour lesquels il n'existe aujourd'hui pas encore de techniques de recyclage adaptées. Par ailleurs, au niveau législatif, l'Europe œuvre pour que les produits en matières plastiques soient dès la conception comme des produits à recycler : il est ainsi impératif de limiter au maximum les mélanges de plastiques, actuel cauchemar des recycleurs.

La réduction de la production et de la consommation de plastiques est le premier pilier de cette économie circulaire en construction : pour faire des matières plastiques recyclées un produit de marché compétitif, il est impératif que l'industrie du plastique limite sa production. Cela aura pour effet de limiter la quantité de déchets plastiques à collecter et recycler, ce qui améliorera mécaniquement l'efficacité du recyclage. Mais surtout, cela participera à faire du plastique recyclé un produit compétitif par rapport au plastique neuf. Ce premier pilier constitue un défi important, tant les populations à travers le monde sont toutes dépendantes, à toutes les échelles, des matières plastiques.

## L'INNOVATION AU SERVICE DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE

# LA FRANCE AMBITIEUSE SUR LE RECYCLAGE DES PLASTIQUES

*Le plastique a aujourd'hui une image dégradée dans l'hexagone. L'Etat met en place des lois pour en limiter les usages, afin d'en réduire in fine la production globale.*

Pourtant, la **consommation de plastique** ne cesse de croître, et les prévisions pour la décennie à venir font unanimement état d'une production de matières plastiques en augmentation constante, partout dans le monde.

Ainsi, **en 2030, la planète devrait produire 600 millions de tonnes** de plastiques (contre environ 400 millions aujourd'hui). En France, ce chiffre atteint aujourd'hui 4,5 millions de tonnes par an, ce qui équivaut à environ **70 kilogrammes de déchets de plastique générés par an et par habitant**.

Dans l'histoire de l'humanité, la production de plastique, depuis que ce matériau a envahi le secteur des emballages et de la production de produits industriels, n'a baissé qu'à deux reprises. D'abord durant la première crise du pétrole dans les années 1970, puis en 2008 lors de la crise dite des subprimes. Au final, lors de l'épisode le plus dur de la crise sanitaire que connaît la planète depuis 2020, la consommation de plastique n'a pas baissé, alors que le monde s'était presque « arrêté ».

La France a établi une **feuille de route ambitieuse pour se désengager de son ultra dépendance au plastique**, notamment à travers la loi anti-gaspillage, qui **fixe les étapes pour, en 2040, aboutir à l'interdiction des plastiques à usage unique**.

**Trois objectifs, fixés par le premier décret 3R**, balisent cette mutation, avec des objectifs pour la période 2021/2025 :

- Un objectif de 20% de réduction des emballages plastiques à usage unique d'ici fin 2025, dont au minimum la moitié obtenue par recours au réemploi et à la réutilisation ;
- Un objectif de tendre vers une réduction de 100% des

emballages en plastique à usage unique « inutiles », tels que les blisters plastiques autour des piles et des ampoules, d'ici fin 2025 ;

- Un objectif de tendre vers 100% de recyclage des emballages en plastique à usage unique d'ici le 1er janvier 2025 et pour y parvenir un objectif que les emballages en plastique à usage unique mis sur le marché soient recyclables, ne perturbent pas les chaînes de tri ou de recyclage, ne comportent pas de substances ou éléments susceptibles de limiter l'utilisation du matériau recyclé.

Ce dernier objectif, s'il a le mérite de l'ambition, paraît difficilement atteignable. Notamment parce que les filières de recyclage, pour certains types de plastiques, n'existent toujours pas. Si les objectifs affichés par le gouvernement sont extrêmement volontaristes, aujourd'hui le recyclage des plastiques made in France a quelque peu du plomb dans l'aile. En effet, aujourd'hui, ce sont environ 27% des emballages plastiques qui étaient recyclés en France en 2021. **Ce chiffre atteint plus de 40% chez certains de nos voisins portugais ou anglais par exemple.**

### Le recyclage, pierre angulaire de l'économie circulaire

Alors comment faire ? Une nouveauté, en 2023, qui pourrait bien faire pencher la balance du bon côté, est l'uniformisation du tri des plastiques. En effet, depuis le début de cette année, les citoyens peuvent jeter tous les plastiques dans leur poubelle jaune. Une facilité qui devrait permettre de systématiser les bons gestes, et d'éviter les erreurs de tri, fréquentes jusque-là, et hétérogènes selon les régions. **D'autres mesures**, en œuvre depuis le début de l'année, doivent aussi concourir à faire baisser notre dépendance au plastique.

Cela sera-t-il suffisant pour atteindre 100% de **plastiques recyclés** d'ici 2025 ? Prenons un secteur en pointe sur le recyclage du plastique, comme celui des emballages :

aujourd'hui, ce secteur envoie 65 % de ses produits dans un circuit d'économie circulaire. Les **PET ou PEHD sont recyclés efficacement**, bénéficiant d'une filière mature et efficace. Pour les 35% restants, les filières de recyclage sont soit en cours de développement, soit elles n'existent pas. Les filières en cours de développement doivent absolument se massifier pour devenir viable économiquement. Pour celles qui n'existent pas encore, le problème réside souvent dans l'impossibilité actuelle de recycler certains plastiques, comme les paquets de chips par exemple. Ces derniers sont aujourd'hui incinérés puis enfouis.

On le voit, la France va devoir agir vite, très vite, pour devenir un leader du recyclage des plastiques, et respecter ses engagements d'ici la fin de l'année 2025.

16/02/2023

# RÉDUCTION, RÉUTILISATION ET RECYCLAGE DES MATIÈRES PLASTIQUES SONT INDISSOCIABLES

*Si le recyclage des matières plastiques est un immense défi, la réduction de l'usage de matières plastiques, et la réutilisation des plastiques sont également indispensables pour faire du plastique un matériau "circulaire".*

L'usage de **plastique** est répandu dans le monde entier, pour tous types d'utilisations. Selon les pays, c'est l'intensité des usages qui va varier. Les directives européennes et françaises visent à sortir de la notion de produit à usage unique pour le plastique, de **limiter les usages**, et de favoriser le développement d'une économie du recyclage et de la réutilisation du plastique.

A travers le monde, ce sont près d'**un million de bouteilles qui sont vendues chaque minute**. On le sait aujourd'hui, l'usage même de ces bouteilles pose aujourd'hui des **problématiques de santé émergentes** mais préoccupantes. Au-delà, la présence de ce matériau dans la composition d'une grande quantité de produits, de par ses **propriétés de résistance et d'imperméabilité**, de légèreté, pose aujourd'hui le problème de la gestion des déchets engendrés. Le plastique se dégrade très lentement, c'est d'ailleurs une propriété qui explique son utilisation massive. Ceci étant, la pollution qu'il engendre, sous forme de microplastiques dans les océans, dans les rivières, constitue une sérieuse menace écologique. Faiblement biodégradables et parfois toxiques, ils sont cependant aujourd'hui totalement irremplaçables pour de nombreux usages.

## Les 3R : réduire, recycler, réutiliser

Enfin, les réglementations ont parfois poussé certains pays à **exporter leurs déchets plastiques à l'étranger**, afin de respecter les normes sur lesquelles ils se sont engagés, favo-

risant l'émergence de décharges géantes, en Indonésie, ou en Inde, par exemple.

Il est donc urgent d'agir sur les volumes de matières plastiques produites. Ce qui laisse songeur, quand on sait que la consommation de plastiques a été multipliée par dix ses dix dernières années. En **limitant les usages** uniques des matières plastiques, et certains usages tout court, l'Europe et la France veulent limiter la hausse de la production sur les années à venir. Aussi, mieux maîtriser la quantité de matières plastique mises sur le marché permet d'imaginer plus sereinement l'intégration du plastique dans une économie circulaire.

L'aspect volume induit celui de la collecte. Aujourd'hui en France, seulement 60 % des bouteilles plastiques sont récoltées par les collecteurs. Ce manque à gagner constitue pour les transformateurs et les régénérateurs de plastiques un fossé à combler absolument, pour sécuriser l'apport en matières premières plastiques. C'est pour cette raison que l'hexagone s'est engagé, d'ici 2025, à **atteindre 100% de plastiques recyclés**.

Si les laboratoires de recherches développent des solutions innovantes pour recycler et valoriser de nombreux types de plastiques, certains plastiques ne peuvent pas aujourd'hui entrer dans la chaîne du recyclage. Si des solutions techniques émergent pour recycler tel ou tel plastique, le problème risque de durer pour d'autres.

Mais le cœur du sujet n'est pas là aujourd'hui. Un plastique comme le **PET est 100% recyclable**, on le retrouve dans des bouteilles, des emballages. Seulement, le taux de recyclage global de type de plastique en France tourne légèrement au-dessus de 25%, pour un taux global, sur

l'ensemble des matières plastiques, de **21,3% dans l'hexagone**. L'amélioration des performances de l'industrie du recyclage doit permettre à ce dernier de devenir un véritable fournisseur de matières premières, au-delà des obligations mises en place. Mais pour en arriver là, il faudra une stabilité au niveau des volumes, en amont et en aval de la chaîne, comme nous l'avons vu.

Enfin, la réutilisation. Le développement d'une industrie de la réutilisation du plastique doit permettre de créer de nouvelles filières et de limiter les besoins en plastique de par le développement des usages.

Le développement harmonieux et coordonné de la réduction des besoins en matières plastiques, du recyclage et de la réutilisation est un passage obligé pour développer au sens propre une économie circulaire du plastique.

20/02/2023

# « NOTRE MÉTHODE ENZYMATIQUE PERMET DE RECYCLER TOUTES LES FORMES DE PET »

*La société française Carbios développe des technologies de recyclage par voie enzymatique du PET et du PLA. Les enzymes sont des protéines qui accomplissent, de manière extrêmement sélective, des actions chimiques sur des molécules cibles.*

Pour le PET, la méthode enzymatique consiste donc à le dépolymériser pour récupérer la molécule qui en constitue le motif de base. Ce motif permettra de fabriquer de nouveau du PET.

Alain Marty est le directeur scientifique de Carbios. Auparavant enseignant-chercheur à l'INSA de Toulouse, il a connu Carbios dès sa création.

Alain Marty a expliqué à Techniques de l'Ingénieur comment fonctionne la méthode enzymatique développée par Carbios, et en quoi elle se différencie des méthodes actuellement utilisées, dans un contexte européen qui vise à [réduire la production de plastiques](#) pétro-sourcés dans les années qui viennent.

**Techniques de l'Ingénieur : Expliquez-nous comment fonctionne la technologie que vous développez pour recycler le PET ?**

**Alain Marty :** Nous proposons une solution de recyclage du PET à l'aide d'une enzyme, une cutinase que nous avons optimisée. Concrètement, nous collectons des déchets plastiques après usage qui contiennent du PET : bouteilles d'eau, de soda, flacons de cosmétiques, barquettes alimentaires, mais surtout des produits textiles, secteur où le PET est très utilisé.

La technique pour dépolymériser le PET est d'utiliser une

enzyme qui va faire exactement le travail inverse de celui des polyméristes qui a permis de synthétiser le PET. Le PET est un polymère, c'est à dire qu'il est constitué de motifs identiques récurrents, des monomères, qui sont liés chimiquement les uns aux autres. Et les colliers de perles ainsi synthétisés s'enchevêtrent. La cutinase va venir casser ces liaisons, qui sont des liaisons ester, pour revenir aux monomères de base. Ces derniers sont ensuite purifiés pour être revendus à un polymériste, qui pourra les intégrer directement dans les process de production existants, puisque les monomères que nous obtenons sont les mêmes que ceux fabriqués par pétrochimie.

**Quel est aujourd'hui le procédé utilisé pour recycler le PET ?**

Industriellement, il existe un seul procédé, thermomécanique, qui consiste à trier d'abord très intensivement les déchets en PET : il faut en retirer tout ce qui est coloré, opaque et les textiles. En fait, on ne garde guère que les bouteilles claires.

Ensuite, on va extruder le PET, c'est-à-dire le faire fondre à environ 270 degrés pour obtenir des pellets de PET que l'on pourra réutiliser pour fabriquer des bouteilles ou des tee-shirts, par exemple.

Cette méthode est robuste et fonctionne bien, à ceci près qu'elle ne s'adresse pas à toutes les sortes de PET. De plus, le procédé thermomécanique dégrade la matière, ce qui entraîne une perte progressive des propriétés mécaniques du matériau, et qui limite donc le nombre de réutilisations possibles.

**Qu'est-ce qui va différencier la méthode thermomécanique de la méthode enzymatique ?**



La différence fondamentale est que la méthode que nous développons permet de recycler toutes les formes de PET, et même les objets multicomposants - composés de plusieurs types de plastiques -, ce qui n'est pas possible avec la méthode thermomécanique.

De nombreux objets plastiques sont composés de plusieurs couches de plastiques différents, ce qui complique leur recyclage. La technologie Carbios s'appuie sur des enzymes, et ces molécules sont extrêmement sélectives. Elles ne vont dégrader que le PET, laissant de côté les autres plastiques comme les polyéthylènes ou les polyamides, qui deviendront alors des déchets finaux.

#### **Comment fonctionne la cutinase ?**

Cette enzyme de type hydrolase a été découverte dans un compost. Elle est sécrétée par certains micro-organismes pour dégrader une partie de la paroi des feuilles de végétaux appelée la cutine. La cutinase dégrade également, de manière très peu efficace, le PET. Notre travail consiste à améliorer la capacité naturelle des cutinases à dégrader le PET.

À la surface de la cutinase se trouve ce qu'on appelle un site d'arrimage, qui est l'endroit où l'enzyme va agir sur le PET et le dépolymériser. Il a donc fallu déterminer la structure tridimensionnelle de la protéine, ce qui permet de connaître le positionnement précis de tous les atomes de la molécule et de la visualiser de manière dynamique sur ordinateur.

Ensuite, par modélisation moléculaire, nous avons pu modéliser le site d'arrimage de la cutinase. À partir de là, il s'agit de voir comment on peut améliorer les performances du site d'arrimage, sur trois facteurs bien précis : la complémentarité de forme, la charge électrique et l'hydrophobicité du site.

La cutinase étant une protéine, elle est constituée d'acides aminés. Nous avons redesigné complètement le site d'arrimage en changeant un certain nombre d'acides aminés, afin d'améliorer l'efficacité de la dégradation du PET par la cutinase.

**Vous développez une seconde technique enzymatique,**

#### **destinée à biodégrader le PLA. Pouvez-vous nous la présenter ?**

Le PLA est un polymère biosourcé, donc produit à partir de carbone renouvelable. Il est compostable industriellement à température élevée.

Notre méthode consiste à introduire dans la masse plastique, une enzyme qui assurera sa dégradation après usage, dans un compost classique, à température ambiante. Le PLA obtenu sera donc biodégradable et compostable à température ambiante. Sa dégradation génère de l'acide lactique, qui est métabolisable par tout un ensemble de micro-organismes du sol.

#### **Où en êtes-vous en termes d'industrialisation de votre méthode enzymatique de dégradation du PET ?**

Actuellement, nous menons notre développement sur un démonstrateur industriel avec un réacteur de 20 mètres cubes, qui permet de traiter 100 000 bouteilles (ou 20 000 tee-shirts) par batch.

L'étape suivante consiste à construire une première unité industrielle, qui verra le jour dans le Nord de la France, près d'un site de production de PET opéré par le numéro un mondial du secteur, Indorama. Notre technologie a vocation à s'installer près de sites existants de production de PET, ce qui n'est pas possible pour les solutions concurrentes, à base de catalyseurs chimiques, car ces technologies produisent des monomères différents de ceux utilisés par un site de production classique du PET.

#### **Propos recueillis par Pierre Thouverez**

*Credit image de une : Carbios*

22/02/2023

# « LE COURS DES MATIÈRES PLASTIQUES RECYCLÉES NE DÉPEND PAS DE CELUI DU PÉTROLE »

*Olivier Vilcot, Directeur Général du syndicat des régénérateurs de matières plastiques, a expliqué aux Techniques de l'Ingénieur quels sont les freins qui subsistent encore à une plus grande intégration des MPR (matières plastiques recyclées) dans l'économie du plastique.*

Le **SRP** (Syndicat des Régénérateurs de matières Plastiques) est un syndicat professionnel national qui regroupe les industriels régénérateurs de **matières plastiques** et représente 80% de la profession. En termes de volume, les adhérents du SRP ont produit, en 2021, **537 000 tonnes de MPR**, en recyclant différents types de plastiques tels que des polyéthylènes basse et haute densité, du polypropylène, du polystyrène, du PVC, du PET, et quelques produits divers.

Alors que différentes **directives européennes** vont obliger les fabricants de produits plastiques à incorporer systématiquement des MPR dans leurs produits, des défis se posent, en termes de volume, de qualité et de prix pour les matières plastiques recyclées.

Olivier Vilcot est revenu pour Techniques de l'Ingénieur sur les challenges en cours et à venir pour tous les adhérents du SRP.

**Techniques de l'Ingénieur : En termes de volume, quel est le plastique le plus recyclé par les régénérateurs adhérents du SRP ? Quels secteurs couvrez-vous ?**

Le produit sur lequel nous avons le plus de volume est le PET, qui est à l'origine de 124 000 tonnes de RPET (PET recyclé) alimentaire, et de 85 000 tonnes de RPET paillettes claires et foncées. Nos adhérents ont transformé 630 000 tonnes de déchets plastiques en 2021 au total.

Nous couvrons beaucoup de secteurs industriels comme l'**emballage**, le médical, l'automobile, les DEEE, les sports et loisirs, l'habillement, la construction et l'agriculture.

**Quels sont aujourd'hui les freins actuels au développement plus important du recyclage des plastiques ?**

Les contraintes que nous rencontrons aujourd'hui sont de trois ordres. La première concerne les volumes : des goulots d'étranglement apparaissent sur la chaîne de valeur.

Ces goulots peuvent se déplacer entre le feestock en déchets, les capacités de régénérations et les exutoires de MPR (Matière Première de Recyclage). Ces goulots peuvent aussi être différents selon les matières plastiques. A une époque, le goulot se situait globalement surtout sur l'aval de la chaîne : il y avait une offre supérieure à la demande. En 2022, ce goulot s'est déplacé vers l'approvisionnement en amont, car beaucoup de réglementations, récentes ou en cours de mise en place, comportent des obligations d'incorporation pour les émetteurs sur le marché. Par exemple, les **réglementations européennes** prévoient 25% d'incorporation de RPET dans les emballages PET à l'horizon 2025, puis 30% en 2030. Des obligations d'incorporation pour les emballages plastiques vont également voir le jour au niveau continental. C'est ce qui explique le déplacement vers l'amont de cette problématique de volume. En 2023, on constate que le goulot se redéplace vers l'aval y compris pour le Rpet qui était très demandé jusqu'à présent. En effet tant que l'écart entre le RPET et le PET vierge restait à des niveaux raisonnables, les acteurs ont anticipé les obligations réglementaires et certains ont même affiché clairement les taux d'incorpora-

tions de MPR sur leurs emballages. Avec la baisse du prix du pétrole qui s'est amorcée à l'été 2022, qui a entraîné la baisse des prix des polymères vierges, l'écart de prix avec le RPET est devenu trop important et certains acteurs sont repassés au vierge sachant que les obligations d'incorporations entreront en vigueur dans 2/3 ans.

### **Cela soulève l'importance d'une collecte performante ?**

Prenons l'exemple de la bouteille en plastique. Elle est captée à hauteur de 60% à l'heure actuelle. Alors que cela fait des dizaines d'années qu'elle est collectée dans la poubelle jaune, nous serions en droit de s'attendre à un taux de captation bien plus élevé. Cela illustre la difficulté de capter ce type de matière plastique, et les progrès nécessaires à faire sur tout sur qui englobe la captation des déchets. L'objectif de collecte à termes, qui est de 90%, va nous obliger à être plus performants sur ce point.

### **Après les volumes, quel est le second frein au développement des MPR ?**

Le second frein est la qualité, mise en avant notamment par certains utilisateurs pour justifier une limitation de leur usage. Pour répondre à cette argumentation, le SRP a décidé de mettre en œuvre une marque de qualité, la [NF MPR 558](#), qui a été développée en partenariat avec l'AFNOR.

Cette marque de qualité traduit des engagements forts de la part des régénérateurs. D'abord, l'engagement des régénérateurs certifiés de mettre en place des mesures de qualité minimum sur les MPR. Ces mesures sont identiques pour tous les régénérateurs certifiés et normées sur la fluidité, la densité des plastiques, par exemple. Ces informations sont utiles aux clients pour pouvoir comparer la qualité des matières produites. Plus généralement, nous sommes convaincus que la qualité des produits issus du recyclage est un facteur essentiel pour la pérennité et la croissance de notre activité.

Ensuite, cette norme de qualité garantit la traçabilité du déchet, d'un bout à l'autre de la chaîne.

Enfin, nous sommes en mesure depuis 2017 de fournir à nos clients un [inventaire de cycle de vie des MPR](#), qui leur

permet de connaître exactement l'économie environnementale (carbone par exemple) réalisée via l'incorporation de MPR dans ses produits en remplacement de polymère d'origine fossile.

Ces tableaux de données, disponibles sur notre site, sont remis à jour régulièrement et affinés en utilisant les données recueillies auprès de nos adhérents. Un travail de mise à jour et étude est d'ailleurs en cours en 2023 en collaboration avec l'Ademe.

### **Volume, qualité... Quel est le troisième challenge pour les MPR ?**

Le prix. Les transformateurs ont pris l'habitude d'incorporer des MPR dans leurs produits pour en limiter les coûts. Mais cela entraîne certains effets pervers : souvent les transformateurs n'affichent pas la quantité de MPR présente dans leurs articles, ce qui est déjà problématique. Aussi, quand les cours du pétrole baissent, plus personne n'achète de MPR faute de rentabilité suffisante par rapport au vierge. Une régulation est nécessaire pour éviter ces coups d'accordéon qui empêchent toute visibilité sur l'évolution des marchés et constituent un frein à l'investissement dans de nouvelles capacités. Les obligations d'incorporation sont à ce niveau salutaires. Depuis ces obligations, on observe, sur les marchés, un prix du PET et un prix du RPET non corrélés. De plus, le prix du RPET n'est pas lié à celui du pétrole, mais à celui du déchet.

Second effet de l'incorporation obligatoire des MPR, pour la première fois les marques n'ont plus honte d'afficher la quantité de MPR dans leurs produits. C'est même devenu un argument marketing. Pas encore dans tous les secteurs c'est vrai... Dans l'automobile par exemple, les constructeurs ne font pas encore de l'utilisation de MPR un argument commercial. Pourtant, les performances du neuf et des MPR sont équivalentes, il s'agit essentiellement d'une question de perception du consommateur.

### **Propos recueillis par Pierre Thouverez**

21/02/2023

## POUR ALLER PLUS LOIN

# LE POLYURÉTHANE DU FUTUR SERA-T-IL VERT ?

*Alors que les besoins de matériaux d'isolation ne font que croître, les fabricants de polyuréthane tentent de verdir la production de ce matériau multifonction. Très difficile à recycler et utilisant des ressources fossiles et toxiques, le chemin paraît encore long. Ou pas ?*

En 2021, le marché mondial du [polyuréthane](#) s'élevait à 24,7 millions de tonnes et [devrait atteindre 29 millions de tonnes d'ici 2029](#). Ce polymère sert dans de nombreuses applications : mousses isolantes, matelas, colles, peintures, éoliennes, chaussures... Il est synthétisé à partir de polyols et d'isocyanates, très toxiques, issus de la pétrochimie. Du fait de sa structure réticulée, il ne se dégrade pas en présence de chaleur. Chaque année, ce sont environ 220 000 tonnes de mousses polyuréthanes (PU) qui sont jetées en décharge. Pour rendre ce matériau indispensable plus durable, les chercheurs se penchent sur deux aspects : la recherche de matières premières plus « vertes » et le [recyclage](#).

### Des matières premières plus durables

En novembre 2022, une [équipe de chercheurs de l'Université de Liège en Belgique](#) a mis au point un nouveau procédé qui synthétise du polyuréthane recyclable et sans isocyanates. Les isocyanates ont été remplacés par des carbonates cycliques. La technologie utilise de l'eau et un catalyseur pour convertir une partie des carbonates en dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) afin de gonfler la matrice. Un ajout d'amine, qui réagit avec le reste du CO<sub>2</sub>, durcit la mousse. Cette synthèse, encore au stade du laboratoire, nécessite des matières peu coûteuses, accessibles et moins toxiques que l'isocyanate.

Un autre projet, porté par plusieurs industriels dans le cadre du programme européen de recherche Horizon 2020, [Carbon4Pur](#), s'est attelé à réduire l'empreinte carbone des intermédiaires de polyuréthane et de diminuer la

consommation d'énergie du procédé. Carbon4Pur utilise le monoxyde de carbone (CO) et le CO<sub>2</sub> contenus dans des effluents gazeux industriels pour les transformer en polyols grâce au procédé de conversion catalytique du chimiste Covestro. Ce procédé en est toutefois encore au stade du laboratoire. À la fin du projet, l'empreinte carbone des intermédiaires de polyuréthane a été réduite de 10 %.

Pour aller plus loin dans la durabilité, des [chercheurs de l'Université de Cordoue](#) ont réussi à utiliser des déchets de blé, qui, une fois liquéfiés, produisent des polyols. Jusqu'à présent, l'huile de ricin a été l'un des principaux candidats dans la course à l'obtention d'une mousse de polyuréthane sans pétrole. Cependant, cette huile ne permet pas de retrouver toutes les propriétés nécessaires à la formation de mousse. Les chercheurs ont donc remplacé la moitié de cette huile dans le procédé par de la paille de blé, avec des résultats qui offrent des caractéristiques très similaires à celles générées par les processus de fabrication traditionnels.

### Recycler le polyuréthane

Le polyuréthane ne se dégrade pas en présence de chaleur, il est donc impossible de le recycler en le faisant fondre, comme c'est le cas pour d'autres plastiques tel que le [PET](#) contenu dans les bouteilles. Auparavant, l'une des seules possibilités de fin de vie était de broyer la mousse pour l'incorporer dans des murs ou du bitume. Mais depuis quelques années, de nouvelles méthodes se sont développées.

Le polyuréthane peut être recyclé par des voies chimiques comme l'acidolyse, la glycolyse ou l'aminolyse. L'acidolyse consiste à placer le polyuréthane broyé dans une cuve en présence d'acide carboxylique et de polyols. Le processus permet de récupérer des polyols qui peuvent ensuite être réutilisés pour la production d'autres polymères. La glyco-

lyse présente le même principe que l'acidolyse, mais l'acide est remplacé par du diéthylène glycol, tout comme l'aminolyse qui utilise de l'ammoniac, des amines ou des alcanolamines. Dans l'ensemble de ces procédés, la chaîne de polymères est cassée pour revenir au monomère de base.

Mais d'autres chercheurs se sont lancés dans le développement de procédés innovants comme [la dégradation enzymatique contrôlée](#). Cette technique s'appuie sur des enzymes, appelées estérases, qui hydrolysent, c'est-à-dire cassent les fonctions esters, et qui laissent intacte la fonction uréthane. À partir des produits obtenus, il est donc possible de faire de nouveaux polyuréthanes sans ajouter d'isocyanates, ou même d'autres polymères. Les enzymes sont très sélectives et permettent de cibler des groupements particuliers.

30/12/2022

# PLASTIQUES : LE RECYCLAGE CHIMIQUE ENFIN RECONNU PAR LA COMMISSION EUROPÉENNE

*Avec des déchets plastiques qui s'accumulent, la Commission européenne souhaite mettre en place de nouveaux moyens de les traiter. Les industriels proposent une technologie de recyclage par voie chimique, capable de rendre circulaires des déchets auparavant enfouis ou incinérés. Mais qu'en est-il vraiment ?*

La production de [plastique](#) n'a cessé de croître ces dernières décennies, passant de 1,5 million de tonnes en 1950 à 391 millions de tonnes en 2021. La pollution plastique, quant à elle, suit le même mouvement. Pour y remédier, l'Union Européenne souhaite que 55 % des déchets d'emballages plastiques soient recyclés d'ici 2030 dans le cadre de son [Pacte vert](#). Le gouvernement français, lui, vise [100 % de plastiques recyclés](#) d'ici 2025. Mais les marges de progrès restent importantes puisque le taux de recyclage en France n'atteint que 25% en 2020 (contre 35% en Europe).

Le [recyclage mécanique](#) permet déjà de traiter une partie de ces déchets, notamment le [PET](#). Toutefois, ce procédé ne tolère que des produits constitués d'un seul [thermoplastique](#). Que faire alors des plastiques thermodurcissables, à plusieurs couches de polymères, ou ayant des propriétés particulières conférées par des additifs techniques ? Pour relever ces défis, des industriels de la chimie proposent de nouveaux procédés de recyclage.

## Le recyclage chimique, c'est quoi ?

Le [recyclage chimique](#) consiste à modifier les structures des polymères présents dans les déchets afin de les transformer en une nouvelle matière première. Différentes méthodes sont possibles comme la dépolymérisation, la dissolution, ou la plus connue : la pyrolyse. A l'issue de cette

transformation, les nouveaux plastiques sont identiques aux vierges, issus de ressources fossiles et sont aptes au contact alimentaire. Au contraire du [recyclage mécanique](#), qui ne le permet que pour un seul polymère, le PET.

Si plusieurs des technologies sont encore à l'échelle pilote, de nombreuses unités sont en cours de construction en France. Dow Polyuréthane recycle le polyuréthane des matelas dans le Loiret, Ineos Styrolution a annoncé la construction d'une unité commerciale de recyclage du polystyrène dans le Pas-de-Calais, TotalEnergies va produire de l'huile de pyrolyse en Seine-et-Marne. Plus récemment, c'est le chimiste américain [Eastman qui a défrayé la chronique](#) en annonçant un investissement de 1 milliard d'euros pour implanter son usine de recyclage de polyesters.

## Une réglementation qui évolue

Alors que les investissements abondent sur le territoire français, la législation commence tout juste à s'adapter. Après des années d'incertitudes sur le cadre légal du recyclage chimique, la [Commission européenne a tranché le 15 septembre 2022 en reconnaissant le recyclage chimique dans le règlement](#) sur les matériaux plastiques recyclés destinés au contact alimentaire. « *C'est une évolution importante. Désormais, le recyclage chimique est reconnu de manière formelle par l'Union Européenne* », se réjouit Jean-Yves Daclin, directeur général France de l'association des producteurs de plastiques Plastics Europe.

Auparavant, les industriels pouvaient produire des résines à partir du recyclage chimique, sans toutefois avoir la possibilité de promouvoir la partie recyclée de leurs produits. « *Cela va permettre aux industriels de contribuer aux*

objectifs de l'Union Européenne en matière de contenu recyclé », précise Jean-Yves Daclin. Cependant, cette révision n'homologue aucune des technologies de recyclage en particulier. Chacune devra être validée, après avoir démontré que les résines recyclées ne présentent pas de risques pour la santé au contact des aliments.

Si la législation évolue, les industriels souhaitent aller encore plus loin et faire reconnaître le [mass balance par crédit](#), un moyen de calculer la part de recyclé dans un produit fini. C'est la même méthode que celle employée pour l'énergie verte.

Par exemple, au sein d'un processus qui aurait en entrée 50 % de déchets plastiques, et qui produirait deux produits finaux, le pétrochimiste pourrait choisir d'attribuer tout le caractère recyclé à un produit, qui serait alors 100 % recyclé et l'autre 0 % recyclé. D'après Jean-Yves Daclin, « *cela va tirer l'économie circulaire vers le haut en proposant des produits recyclés chimiquement, que les clients seront prêts à payer plus cher* ». Des négociations sont en cours au niveau européen et un acte d'exécution dans le cadre de la directive sur les emballages uniques devrait aborder le sujet en 2023.

### Des questions encore en suspens

Avec un cadre législatif plus inclusif pour les spécialistes du recyclage chimique, certaines questions demeurent. En effet, ces technologies sont particulièrement énergivores et produisent aussi des déchets ultimes, en faible quantité, mais qui devront être incinérés. Les défenseurs de l'environnement craignent que cette [solution n'ait un trop mauvais bilan carbone](#). Mais les industriels se veulent rassurants. Certains d'entre eux, comme BASF et Sabic, ont réalisé des analyses de cycle de vie qui montrent que leur recyclage chimique est moins impactant que la production de résines vierges.

Même si le recyclage chimique est une solution complémentaire au mécanique, certains acteurs redoutent que son essor ne vienne durcir la compétition sur le marché des déchets, déjà exacerbée par la crise sanitaire. Pour Polyvia, « *le risque le plus important étant que les déchets plas-*

*tiques les plus faciles à traiter mécaniquement ne prennent le chemin des sites de recyclage chimique* ».

Enfin, l'Echa (Agence européenne des produits chimiques) rapporte des inquiétudes « *sur la capacité des différents procédés de recyclage chimique à éliminer les substances préoccupantes* ». Certains additifs nocifs pourraient ainsi se retrouver dans les produits finaux. L'agence recommande donc de « *mener des enquêtes dans les usines de recyclage chimique* », afin d'étudier ces questions.

15/11/2022

# REPLACE : LES PLASTIQUES COMPLEXES REMIS AU COEUR DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE

*Créée fin 2019, la start-up industrielle Replace a développé un procédé de recyclage permettant de valoriser des matières plastiques complexes, jusqu'alors quasi exclusivement enfouies ou incinérées. Après avoir mis en service en cours d'année dernière une première ligne industrielle sur un site basé dans la Marne, Replace vient d'en lancer une seconde au même endroit et envisage de multiplier les implantations au cours des mois et années à venir. De quoi développer à grande échelle son modèle vertueux de boucles de recyclage locales.*

Les initiatives autour du recyclage des plastiques ne manquent pas. En dépit de son essor, la filière laisse toutefois encore sur le carreau un certain nombre « d'oubliés », tels que les décrit Laurent Villemin. Après avoir travaillé près de trente ans dans l'industrie de la transformation des plastiques et caoutchoucs, l'homme s'est ainsi lancé le défi de parvenir à valoriser ces matériaux exclus des procédés conventionnels de recyclage : plastiques multi-composants post-industriels ou post-consommation et autres emballage aluminisés jusqu'alors incinérés ou enfouis.

Aux côtés de Christian Horn, créateur en 1995 des premières palettes en plastique recyclé du marché, Laurent Villemin a fondé Replace en novembre 2019. « Nous avons cherché à inventer un concept qui permettrait de traiter ces flux "oubliés" ; et ce non pas en les retriant, mais au contraire en les mélangeant », retrace Laurent Villemin, aujourd'hui président de Replace. « L'idée était de profiter des additifs déjà présents dans les différents plastiques, afin de ne pas avoir à en ajouter, et d'avoir malgré cela un

*process performant* », ajoute le co-fondateur de l'entreprise basée en Moselle, dans la région Grand Est.

Les deux spécialistes ont ainsi développé un procédé inédit – et breveté – permettant une transformation directe des plastiques en mélange, en un produit fini lui-même recyclable. Le tout en une seule et unique étape. « *Techniquement, il s'agit d'une forme d'injection, avec plusieurs modifications permettant d'avoir des performances accrues* », décrit Laurent Villemin. De ce procédé breveté est ainsi née une véritable solution industrielle conçue en partenariat avec AISA, leader mondial des machines de production de tubes plastiques et laminés.

## Une première ligne mise en service en 2021

Bénéficiant notamment d'un dispositif d'incubation mis en place par la Région Grand Est et d'aides de l'ADEME, la start-up industrielle est ainsi parvenue à lancer en cours d'année dernière sa première ligne de production. « *Le projet a abouti en un temps extrêmement court. Nous avons été portés par notre élan !* », s'enthousiasme Laurent Villemin. Depuis le 2 janvier dernier, c'est même en « 3x8 » que tourne le site industriel basé dans la Marne. Une usine que Replace a voulu implanter au plus près du gisement de déchets à valoriser. « *Ce démonstrateur capte des déchets qui sont produits dans un rayon de moins de cent kilomètres* », souligne Laurent Villemin. Un gisement constitué notamment par des coiffes de champagne, qui, après transformation via le procédé Replace, donnent naissance à des tuteurs utilisés dans les vignobles de la région. « *C'est vraiment cette logique locale qui nous motive. Nous avons conceptualisé cela avec ce que nous appelons le "Local<sup>3</sup>" [local au cube, n.d.r.]* », dévoile le président de Replace. Un concept labellisé depuis avril 2021 par la Fon-



ation Solar Impulse et basé sur le triptyque « locally sourced, locally transformed, locally used[1] ».

Outre ces tuteurs baptisés Tutofi, déjà écoulés à plus d'un million d'unités en partenariat avec l'entreprise KeepFil et fabriqués à partir de plus de 500 tonnes de déchets plastiques, Replace se penche également sur la production de palettes, ou encore de solutions d'agencements pour les commerces. « L'objectif est de montrer que les produits que nous pouvons réaliser ont une qualité suffisante pour répondre aux besoins de marchés exigeants, pour des usages premiums », justifie Laurent Villemin, avant de préciser que le procédé développé par Replace se destine avant tout aux produits longs et épais. « Nous n'allons pas concurrencer l'injection sur des articles tels que les coques de téléphone ou des bouchons, chacun son métier », glisse le président de Replace, qui prône ainsi la complémentarité des solutions de recyclage, plutôt que la concurrence frontale. « Il faut un arsenal de solutions pour ouvrir le champ des possibles », considère Laurent Villemin.

Côté empreinte carbone, l'analyse de cycle de vie réalisée par Replace montre un net avantage des tuteurs en plastique recyclé produits par l'entreprise par rapport à leur équivalent en plastique vierge, et même en bois. « Le fait de les produire localement permet en effet de drastiquement limiter les transports », souligne Laurent Villemin.

### Vers un déploiement à grande échelle

Après avoir démontré l'efficacité de son procédé dans son démonstrateur marnais, Replace a lancé il y a peu une seconde ligne de production dans cette même usine, avec l'ambition d'en augmenter les capacités, mais également d'élargir la gamme de produits fabriqués à partir de déchets plastiques jusqu'alors impossibles à recycler. « Il s'agit d'une ligne de deuxième génération, qui bénéficie des centaines de points d'amélioration identifiés sur notre première ligne », précise le président de Replace.

Et pour 2023, c'est même un deuxième site bien distinct de l'usine marnaise que la start-up envisage de construire.

Le début d'un déploiement à grande échelle a été permis notamment par une levée de fonds d'un montant de 4 millions d'euros, annoncée en septembre dernier. L'entreprise, qui compte actuellement une dizaine de postes en équivalent temps plein, espère par ailleurs atteindre le seuil d'une quinzaine de salariés d'ici à la fin de l'année. « Nous sommes dans une logique de montée en puissance progressive, de crescendo », note Laurent Villemin. « Notre objectif est véritablement de mailler le territoire avec des sites comportant entre deux et six lignes tout au plus », complète le dirigeant. Des lignes qui peuvent, en outre, être gérées par des employés sans expérience préalable en plasturgie. « Avec Christian Horn, nous avons voulu aller vers une logique gagnant-gagnant pour tout le monde, avec un accent particulier mis sur l'emploi. Nous avons eu à cœur de développer un modèle de ligne pouvant être opérée par des salariés issus par exemple d'entreprises adaptées, comme cela a été le cas lors de notre démarrage. Nous avons prouvé que cela fonctionne », conclut Laurent Villemin, qui voit finalement en Replace une sorte « d'alambic du plastique » : une solution permettant de valoriser au plus près les fruits d'une production locale.

[1] Approvisionné localement, transformé localement, utilisé localement.

16/11/2022

# LES INITIATIVES INDUSTRIELLES EN MATIÈRE DE RECYCLAGE CHIMIQUE DES PLASTIQUES SE MULTIPLIENT

*Maillon indispensable de l'économie circulaire, l'industrie européenne du recyclage est en pleine mutation. Alors que la filière naissante du recyclage chimique suscite un intérêt de plus en plus grand, POLYVIA, l'union des transformateurs de polymères, a répertorié pas moins de 84 initiatives industrielles dans ce domaine en 2020 à travers le globe.*

Pour de multiples raisons, la filière européenne du recyclage mécanique est en difficulté depuis plusieurs années et de nouvelles perturbations sont à craindre, selon la Cour des comptes Européenne :

- La mise en place de restrictions strictes quant à l'exportation de déchets plastiques (modifications de la Convention de Bâle) va perturber la filière, car un tiers du taux de **recyclage des emballages plastiques** européens est le fait d'exportations hors UE !
- Les dernières modifications de la Directive sur les emballages et les déchets d'emballages pourraient compromettre les objectifs européens de recyclage. Le taux de recyclage moyen des Etats européens pourrait ainsi passer de 42 à 30 %.
- De plus, la contribution nationale sur les déchets d'emballages plastiques non recyclés (taxe plastique) s'applique désormais dans l'Union européenne depuis le 1er janvier 2021.

## **Le recyclage chimique, une solution à de nombreux problèmes ?**

Le **recyclage chimique** consiste à modifier la structure chimique des déchets plastiques pour les convertir en molécules plus courtes. Ceci permet en théorie de disposer de molécules utilisables en tant que matière première pour de nouvelles réactions chimiques.

L'intérêt est grand, par exemple pour traiter des déchets **multicouches** particulièrement difficiles à séparer par simple recyclage mécanique. Par ailleurs, le retour au **contact alimentaire** devient envisageable, les nouveaux matériaux obtenus par cette voie ayant des propriétés identiques à celles des matières vierges.

Si les technologies de recyclage chimique sont prometteuses, elles sont encore rarement disponibles à échelle industrielle. Néanmoins, les choses évoluent très vite : selon l'union des transformateurs de polymères (POLYVIA), on peut s'attendre à une production à échelle commerciale d'ici 1 à 2 ans.

## **Près de 50 initiatives en 2020, rien qu'en Europe**

Bibiane Barbaza, chargée de mission économique à Polyvia, a fait l'inventaire des innovations et projets apparus en 2020, dans un rapport publié en janvier 2021 et intitulé *Recyclage Chimique : Où En Sommes-nous ?*

Parmi les 84 initiatives diverses (brevets, projets collaboratifs, installations industrielles, etc.) qu'elle a répertoriées dans le monde, près de 50 sont du fait d'entreprises implantées en Europe. Voici quelques exemples européens.

## **Recyclage du polystyrène**

Le recyclage chimique du **polystyrène** suscite un fort intérêt. En France, le consortium PS25 réunissant CITEO, VALORPLAST, SYNDIFRAIS et plusieurs entreprises utilisant les emballages en polystyrène a pour but de faire émerger une filière française du recyclage du polystyrène pour le contact alimentaire.

Par ailleurs, le recyclage chimique du polystyrène intéresse également de nombreuses entreprises :

- TOTAL, qui compte le tester sur son site de Carling.
- INEOS STYROSOLUTION et TRINSEO vont installer une unité de recyclage du polystyrène à partir de 2023.
- YOPLAIT a déjà expérimenté la fabrication de pots de yaourt en polystyrène recyclé chimiquement.
- MICHELIN investit dans la technologie de la startup canadienne PYROWAVE, dans le but d'intégrer du styrène recyclé dans du caoutchouc synthétique, afin de produire des pneus.

#### **Plastic Energy, une startup très active**

Le spécialiste britannique du recyclage chimique est en mesure de commercialiser des produits chimiques liquides par anaérobiose thermique, grâce à ses deux sites de production en Espagne. En 2020, cette startup très impliquée dans le recyclage chimique a aussi multiplié les partenariats : construction de sites de recyclage chimique par pyrolyse avec INEOS et TOTAL, site de recyclage chimique d'emballages de barres chocolatées avec NESTLÉ, partenariat avec l'américain Sealed Air, etc.

Ces quelques exemples démontrent une volonté européenne de faire émerger rapidement ces technologies à échelle industrielle. Ils ne sont cependant qu'un échantillon : pour une vision globale des avancées en matière de recyclage chimique, nous vous invitons à lire le rapport complet, disponible sur le site de [POLYVIA](#).

05/03/2021

# L'IMPORTANCE CROISSANTE DES PLASTIQUES RECYCLÉS DANS LES EMBALLAGES

*Les plastiques recyclés se développent dans les emballages plastiques comme dans les emballages souples, pouvant associer différents plastiques ou bien des plastiques à d'autres matériaux. Le recyclage des chutes de production reflète ainsi la bonne gestion des matières premières par le transformateur et constitue une pratique usuelle pour une majorité de fabricants. Cependant, qui dit recyclage des déchets plastiques après consommation dit contraintes particulières pour les phases de collecte, de tri et de recyclage...*

Un extrait de [Plastiques biosourcés et plastiques recyclés dans l'emballage](#) par Vincent COLARD

Les producteurs de [matière plastique](#) et d'additif ont développé des solutions pour faciliter le recyclage des produits utilisant leurs matériaux. De par leur connaissance chimique des plastiques, une majorité de ces acteurs a mené des travaux de recherche pour rendre possible le recyclage chimique des déchets plastiques, permettant un retour aux monomères constitutifs. Néanmoins, les conditions ne semblent pas encore réunies pour voir émerger cette forme de recyclage à haute valeur ajoutée technique. Afin de diversifier leur offre, certains producteurs de plastiques vierges ont développé leur propre activité de recyclage mécanique des déchets plastiques. Dès la conception, les fabricants d'emballages évaluent la possibilité d'utiliser des [matières recyclées](#) et améliorent la recyclabilité en fin de vie de leurs produits. Ils travaillent notamment à la compatibilité des matériaux au recyclage, ou à leur séparation, ainsi que sur les quantités maximales de certains additifs pour ne pas impacter l'activité des recycleurs.

**Le travail des recycleurs, des balles de déchets aux**

## **paillettes de plastiques**

Les recycleurs sont des industriels qui transforment des déchets plastiques en de nouvelles matières premières. D'abord, les déchets arrivent sous forme de balles de déchets (300 à 450 kg de déchets compressés), de pain pour les plastiques expansés (broyage, puis compactage pour chasser l'air et réduire le volume 40 fois au minimum) ou de broyats. Les déchets sont ensuite contrôlés et peuvent subir un premier affinage (tri manuel, tri optique). Si la technologie proche infrarouge reste la forme de tri optique la plus utilisée, il existe différentes technologies pour améliorer la qualité. Puis, les déchets sont broyés, lavés et séchés. Les paillettes de plastiques peuvent faire l'objet d'un tri par densité dans l'eau pour séparer les fractions lourdes qui coulent, des fractions légères qui flottent. Sinon, le séchage en centrifugeuse, utilisé dans certains cas, peut également participer au tri par densité.

Une partie des paillettes est alors directement utilisée par des plasturgistes, si le procédé garantit une qualité suffisamment élevée à ce stade. Une autre partie va subir un nouvel affinage (tri optique, tri aéroulque...) afin d'améliorer la qualité de la matière recyclée. Les recycleurs ayant un procédé de recyclage au contact alimentaire vont réaliser une étape de polycondensation, permettant une réaction de [polymérisation](#) pour améliorer les caractéristiques mécaniques et éliminer les dernières traces de produit contenu afin de parfaire la décontamination. Les paillettes plastiques peuvent être transformées en granulés par extrusion, afin de faciliter l'utilisation de la matière par les plasturgistes et de modifier les caractéristiques du composant via l'ajout de matière vierge et d'additifs. Certains recycleurs densifient les paillettes entre elles pour

faciliter leur écoulement dans les procédés industriels de leurs clients. Ainsi, les recycleurs produisent des grades de plastique recyclé répondant aux besoins des fabricants d'emballages, et d'autres produits finis en plastique.

Exclusif ! L'article complet dans les ressources documentaires en accès libre jusqu'au 9 mars 2023 !

*« Plastiques biosourcés et plastiques recyclés dans l'emballage » par Vincent COLARD*

23/02/2023

# LES THÈSES DU MOIS : COMMENT INTÉGRER LES MATÉRIAUX PLASTIQUES DANS UNE ÉCONOMIE CIRCULAIRE ?

Pour vous accompagner et vous fournir une information toujours plus riche, Techniques de l'Ingénieur s'associe au Réseau National des Ecoles Doctorales - Sciences Pour l'Ingénieur (REDOC SPI). Chaque mois, notre partenaire sélectionne des thèses en lien avec notre dossier mensuel afin de vous permettre de creuser plus loin les thématiques développées dans le dossier.

Pour notre dossier de février, "Comment intégrer les matériaux plastiques dans une économie circulaire ? ", voici les thèses sélectionnées par le REDOC SPI. Retrouvez le résumé de ces thèses ainsi que les thèses des mois précédents sur [le site de notre partenaire](#).

**Économie circulaire pour les composites à fibres de carbone : du déchet aéronautique vers les composites carbone+ thermoplastiques recyclés** Yang Shi Thèse de doctorat en Mécanique, soutenue le 21-04-2022 Institut de mécanique et d'ingénierie de Bordeaux

**Étude et ingénierie d'enzymes de dépolymérisation de plastiques pour le développement de procédés de biodégradation et de biorecyclage** Maher Ben khaled Thèse de doctorat en Ingénieries microbienne et enzymatique, soutenue le 06-01-2022 TBI - Toulouse Biotechnology Institute, Bio & Chemical Engineering

**Recyclage des pièces en composite polyester en fibre de verre de grandes dimensions par laminage** Arbia

**Nouigues** Thèse de doctorat en Energétique, thermique, combustion, soutenue le 31-03-2021 Laboratoire de Thermique et Energie de Nantes

**Méthodes catalytiques innovantes de réduction de liaisons carbone-oxygène appliquées à la dépolymérisation réductrice des plastiques oxygénés** Marie Kobylarski Thèse de doctorat en Chimie, soutenue le 06-12-2022 Nanosciences et innovation pour les matériaux, la biomédecine et l'énergie

**Contribution au recyclage et à la valorisation des matières plastiques issues des déchets d'équipements électriques et électroniques contenant des retardateurs de flamme bromés** Layla Gripon Thèse de doctorat en Chimie, Polymères, Matériaux, Science des Matériaux, soutenue le 15-12-2020 CERI Matériaux & Procédés

**Valorisation en circuit court de déchets thermoplastiques pour la conception par impression 3D de structures composites** Pavlo Javier Alejandro Santander Tapia Thèse de doctorat en Génie des systèmes industriels, soutenue le 11-12-2020 Équipe de recherche sur les processus innovatifs

**Recyclage des plastiques par modification chimique de thermoplastiques** Violette Mohring Projet de thèse en Phy-

sique et chimie des matériaux depuis 01-09-2020 *ESPCI  
École supérieure de physique et de chimie industrielles de  
la Ville de Paris*

**Extension et mise à niveau d'un pilote de production de carburants alternatifs à partir de déchets plastiques**

*S-hawki Mazloum* Thèse de doctorat en Energétique, Thermique, Combustion, soutenue le 22-10-2021 *Laboratoire de Génie des procédés – environnement – agro-alimentaire*

**Méthanisation des plastiques biodégradables : performances et diversité microbienne**

*Guillaume Cazaudeh* Thèse de doctorat en Physiologie et biologie des organismes - populations - interactions, soutenue le 11-03-2022 *Institut des sciences analytiques et de physico-chimie pour l'environnement et les matériaux*

**A novel pathway to recover hydrocarbons from polyethylene residues through the combustion-driven pyrolysis process**

*Joao Ferreira duque* Thèse de doctorat en Sciences de la Terre et des Planètes Solides, soutenue le 24-02-2021 *Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse*

23/02/2023

# Gagnez du temps et sécurisez vos projets en utilisant une source actualisée et fiable



RÉDIGÉE ET VALIDÉE  
PAR DES EXPERTS




MISE À JOUR  
PERMANENTE



100 % COMPATIBLE  
SUR TOUS SUPPORTS  
NUMÉRIQUES



SERVICES INCLUS  
DANS CHAQUE OFFRE

- > + de 340 000 utilisateurs chaque mois
- > + de 10 000 articles de référence et fiches pratiques
- > Des Quiz interactifs pour valider la compréhension 

## SERVICES ET OUTILS PRATIQUES



### Questions aux experts\*

Les meilleurs experts techniques et scientifiques vous répondent



### Articles Découverte

La possibilité de consulter des articles en dehors de votre offre



### Dictionnaire technique multilingue

45 000 termes en français, anglais, espagnol et allemand



### Archives

Technologies anciennes et versions antérieures des articles



### Info parution

Recevez par email toutes les nouveautés de vos ressources documentaires

\*Questions aux experts est un service réservé aux entreprises, non proposé dans les offres écoles, universités ou pour tout autre organisme de formation.

## Les offres Techniques de l'Ingénieur

### INNOVATION

- Éco-conception et innovation responsable
- Nanosciences et nanotechnologies
- Innovations technologiques
- Management et ingénierie de l'innovation
- Smart city – Ville intelligente

### MATÉRIAUX

- Bois et papiers
- Verres et céramiques
- Textiles
- Corrosion – Vieillessement
- Études et propriétés des métaux
- Mise en forme des métaux et fonderie
- Matériaux fonctionnels. Matériaux biosourcés
- Traitements des métaux
- Élaboration et recyclage des métaux
- Plastiques et composites

### MÉCANIQUE

- Frottement, usure et lubrification
- Fonctions et composants mécaniques
- Travail des matériaux – Assemblage
- Machines hydrauliques, aérodynamiques et thermiques
- Fabrication additive – Impression 3D

### ENVIRONNEMENT – SÉCURITÉ

- Sécurité et gestion des risques
- Environnement
- Génie écologique
- Technologies de l'eau
- Bruit et vibrations
- Métier : Responsable risque chimique
- Métier : Responsable environnement

### ÉNERGIES

- Hydrogène
- Ressources énergétiques et stockage
- Froid industriel
- Physique énergétique
- Thermique industrielle
- Génie nucléaire
- Conversion de l'énergie électrique
- Réseaux électriques et applications

### GÉNIE INDUSTRIEL

- Industrie du futur
- Management industriel
- Conception et production
- Logistique
- Métier : Responsable qualité
- Emballages
- Maintenance
- Traçabilité
- Métier : Responsable bureau d'étude / conception

### ÉLECTRONIQUE – PHOTONIQUE

- Électronique
- Technologies radars et applications
- Optique – Photonique

### TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION

- Sécurité des systèmes d'information
- Réseaux Télécommunications
- Le traitement du signal et ses applications
- Technologies logicielles – Architectures des systèmes
- Sécurité des systèmes d'information

### AUTOMATIQUE – ROBOTIQUE

- Automatique et ingénierie système
- Robotique

### INGÉNIERIE DES TRANSPORTS

- Véhicule et mobilité du futur
- Systèmes aéronautiques et spatiaux
- Systèmes ferroviaires
- Transport fluvial et maritime

### MESURES – ANALYSES

- Instrumentation et méthodes de mesure
- Mesures et tests électroniques
- Mesures mécaniques et dimensionnelles
- Qualité et sécurité au laboratoire
- Mesures physiques
- Techniques d'analyse
- Contrôle non destructif

### PROCÉDÉS CHIMIE – BIO – AGRO

- Formulation
- Bioprocédés et bioproductions
- Chimie verte
- Opérations unitaires. Génie de la réaction chimique
- Agroalimentaire

### SCIENCES FONDAMENTALES

- Mathématiques
- Physique Chimie
- Constantes physico-chimiques
- Caractérisation et propriétés de la matière

### BIOMÉDICAL – PHARMA

- Technologies biomédicales
- Médicaments et produits pharmaceutiques

### CONSTRUCTION ET TRAVAUX PUBLICS

- Droit et organisation générale de la construction
- La construction responsable
- Les superstructures du bâtiment
- Le second œuvre et l'équipement du bâtiment
- Vieillessement, pathologies et réhabilitation du bâtiment
- Travaux publics et infrastructures
- Mécanique des sols et géotechnique
- Préparer la construction
- L'enveloppe du bâtiment
- Le second œuvre et les lots techniques



## OFFRE



### Plastiques et composites

Choisir et mettre en oeuvre des matériaux capables de remplacer les matériaux traditionnels

Ref : TIP100WEB

## PRÉSENTATION

Toutes les données nécessaires pour appréhender les polymères: propriétés, procédés de mise en oeuvre, essais, conception de pièces, finition, recyclage,

Une étude détaillée des différentes fibres de renforcement et des méthodes de transformation des plastiques renforcés,

Des monographies sur les principaux thermoplastiques et thermodurcissables,

De nombreux développements consacrés au comportement et aux applications des matériaux composites.

## VOTRE COMMANDE :

Référence	Titre de l'ouvrage	Prix unitaire H.T	Qté	Prix total H.T
TIP100WEB	Plastiques et composites	2 295 €	1	2 295 €
Total H.T en €				2 295 €
T.V.A : 5,5%				126,23 €
Total TTC en €				2 421,23 €

## VOS COORDONNÉES :

Civilité  M.  Mme

Prénom \_\_\_\_\_

Nom \_\_\_\_\_

Fonction \_\_\_\_\_

E-mail \_\_\_\_\_

Raison sociale \_\_\_\_\_

Adresse \_\_\_\_\_

Code postal \_\_\_\_\_

Ville \_\_\_\_\_

Pays \_\_\_\_\_

Date :

Signature et cachet obligatoire

## CONDITIONS GÉNÉRALES DE VENTE

Conditions générales de vente détaillées sur simple demande ou sur [www.technique-ingenieur.fr](http://www.technique-ingenieur.fr)

Si vous n'êtes pas totalement satisfait, vous disposeriez d'un délai de 15 jours à compter de la réception de l'ouvrage pour le retourner à vos frais par voie postale. Livraison sous 30 jours maximum.