

Comprendre les plastiques pour les rendre plus circulaires

Par Dr. Arnaud Parenty, directeur scientifique et innovation 2ACR et maître de conférences associé à l'Université de Lille.

Selon le rapport « Déchets Chiffres Clés Edition 2016 » publié par l'ADEME¹, les plastiques recyclés ont représenté, en 2014, seulement 6% de la consommation française totale de plastiques en France. Par comparaison, les matériaux recyclés pour les papiers cartons, le verre ou les métaux ferreux ont représenté respectivement 66%, 58% et 51% de la consommation totale sur cette même période.

Le matériau le plus proche du plastique est le papier, puisque c'est aussi un matériau polymère.

Se pose alors la question suivante : **pourquoi est-ce aussi difficile de recycler les plastiques ?**

Afin de tenter de répondre à la question, il est essentiel de comprendre ce qu'est un plastique et ce qu'il représente dans notre vie de tous les jours.

Nous ne traiterons ici que le cas des thermoplastiques. Un autre article sera dédié au cas des polymères thermodurcissables et des composites.²

Un matériau très adaptable et omniprésent

Si les matériaux plastiques ont pris une place très importante dans nos vies quotidiennes, c'est principalement en raison du fait qu'ils présentent de nombreux avantages par rapport à d'autres matériaux (métaux, verre, béton...) :

- La légèreté : Les matières plastiques ont une densité allant de 0.04 (polystyrène expansé) à 1.5 (certains PVC) environ, alors que les autres matériaux ont des densités nettement supérieures (béton de 1.9 à 2.8, verre 2.5, aluminium 2.7, acier 7.8),
- Le coût, par rapport aux fonctions demandées,
- La durabilité : La particularité des plastiques classiques est leur durabilité. En effet, ces plastiques ne se dégradent pas ou très lentement. C'est important lorsqu'il s'agit d'un produit, mais c'est problématique quand il s'agit d'un déchet, en particulier dans la nature.

Au-delà de ces 3 points, les plastiques ont un autre atout majeur, **leur adaptabilité**, qui leur permet d'être plus à même de répondre aux fonctionnalités techniques et marketing, attendues.

En effet, en fonction de la composition du plastique, ces matériaux peuvent être :

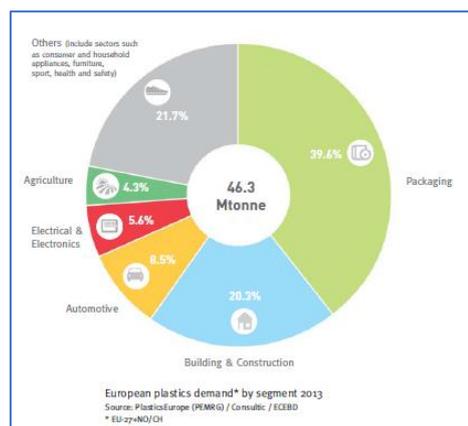
- Souples ou rigides,
- Transparents ou opaques,
- Etirables/Rétractables,
- Isolants thermiques (mousses), acoustiques, électriques,
- Barrières à l'eau, à l'oxygène, à la vapeur d'eau, au CO₂, aux UV...
- Amortissants (mousses),
- Résorbables ou biocompatibles,
- Ignifuges,
- Inertes chimiquement,
-

¹ <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/dechets-chiffres-cles-edition-2016-8813.pdf>

² De manière simpliste, les polymères thermoplastiques sont des matériaux polymères qui vont « fondre » ou se ramollir lorsqu'on les chauffe. A l'inverse, les polymères thermodurcissables vont se durcir quand ils sont chauffés

Grâce à tous ces avantages, les plastiques ont trouvé des applications et des usages dans pratiquement tous les secteurs comme le montre le graphe ci-contre (Figure 1) : En premier lieu l'emballage, suivi du bâtiment, de l'automobile, des équipements électriques et électroniques, de l'agriculture et enfin de nombreux autres secteurs comme les dispositifs médicaux, les textiles et ameublements, les articles de sports, la signalisation et communication, jouets et articles pour enfants...

Figure 1 : Utilisation des plastiques en Europe par secteur



Composition d'un plastique

La grande adaptabilité des plastiques aux besoins de chaque secteur s'explique par le fait qu'il n'existe pas un type de plastiques, mais une multitude de plastiques... lié à la diversité même de leur composition.

Chaque matériau plastique est composé d'une résine polymère et d'un certain nombre d'additifs qui vont lui permettre d'avoir différentes propriétés comme celles citées précédemment.

La résine : la base du plastique

Le type de résine va définir certaines propriétés de base du matériau comme par exemple la transparence, la résistance chimique, la stabilité thermique...

Plusieurs paramètres sont importants dans la résine :

1) Les briques de bases de la résine sont les monomères.

Il existe commercialement un grand nombre de monomères qui apportent de nombreuses fonctionnalités très différentes.

Les 5 principaux³ monomères sont décrits dans la figure 2, ci-contre, mais **on en dénombre beaucoup plus (au moins une vingtaine)**.

La recherche actuelle de nouveaux plastiques d'origine biosourcées ou avec des nouvelles fonctionnalités, comme la compostabilité conduit à l'émergence de nouveaux monomères.

A titre de comparaison, dans le cas du papier, il n'existe qu'un seul et unique monomère le D-glucose qui forme la cellulose !

Sigle	Structure moléculaire	Designation courante
PE		polyéthylène
PP		polypropylène
PVC		poly(chlorure de vinyle)
PS		polystyrène
PET		poly(téréphtalate d'éthylène)

Figure 2 : Principaux polymères et leurs monomères respectifs

2) Les monomères vont être assemblés entre eux pour former un polymère

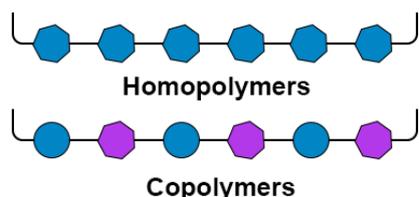


Figure 3 : Représentation des homopolymères et des copolymères

Quand il n'y a qu'un seul monomère, on parlera d'homopolymères, s'il y en a plusieurs, on parlera de copolymères (Figure 3). A titre d'exemple, le polystyrène est un homopolymère, alors que l'ABS très utilisé dans les équipements électriques et électroniques est un copolymère composé de 3 monomères : l'Acrylonitrile, le Butadiène et le Styène.

Le choix du ou des monomères utilisés conditionne en grande partie les propriétés physiques et mécaniques du produit comme, par exemple, la résistance chimique, les propriétés barrières ou les propriétés optiques.

³ Principaux au sens de volume de production

Le polyéthylène (PE) ou le polypropylène (PP) sont plutôt très résistants chimiquement, alors que le polyéthylène téréphtalate (PET) présente de bonnes propriétés barrières aux gaz comme l'oxygène et le dioxyde de carbone.

Enfin, le poly méthacrylate de méthyle (PMMA) a des propriétés optiques nettement supérieures aux deux autres (PET et PP).

3) La structure physique du polymère est également importante.

Elle conditionne un certain nombre de propriétés, notamment physiques et mécaniques. Par exemple, la taille du polymère (nombre moyen de répétition du monomère) et sa « polydispersité » (I_p), aussi appelée distribution moléculaire autour de cette taille moyenne du polymère, sont deux caractéristiques qui vont influencer les propriétés mécaniques du plastique.

Si toutes les chaînes polymères sont exactement de la même taille, alors la polydispersité sera de 1. Plus la taille des chaînes sera hétérogène et plus la polydispersité sera importante (Figure 4).

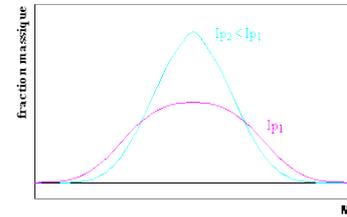


Figure 4 : Représentation de la polydispersité d'un polymère (polydispersité plus faible pour le polymère bleu, plus centré autour de la même masse moyenne)

Dans sa structure de base, le polymère peut aussi avoir un caractère linéaire (a), ramifié (b) ou réticulé (c), qui est conditionné par la structure chimique du polymère (voir ci-dessous).

Pour les polymères linéaires, il faut imaginer des spaghettis.

Une structure ramifiée (ou branchée) est un polymère en forme de peigne. Il s'agit souvent un copolymère, car cela nécessite d'avoir un monomère permettant de créer cette ramification.

Enfin, les polymères réticulés sont finalement d'immenses toiles d'araignées, composées de polymères linéaires qui ont été reliés entre eux. C'est par exemple le cas des mousses polyuréthanes très utilisées dans le bâtiment et l'ameublement⁴ ou des résines dites « polyesters » ou « époxy » utilisées pour former des composites, thermodurcissables que l'on retrouve dans le nautisme, le transport ferroviaire et aéronautique.



Figure 5 : Représentation schématique des différents types de structures polymères

Les copolymères peuvent être alternés, aléatoires, par blocs ou « branché/greffé » comme le montre la figure 6 ci-contre, où A est un premier monomère et B un second.

Alterné	A-B-A-B-A-B-A-B-A-B-A-B-A-B-A-B
Aléatoire	A-A-A-B-A-A-B-B-B-A-A-A-A-A-B-A-A-B-B-B
A Bloc	A-A-A-A-A-B-B-B-B-B-B
Branché	A-A-A-A-A-A-A-A-B-A-A-A-A-A-A-A-A L A-A-A-A

Dans un copolymère alterné, les monomères A et B se suivent alternativement. L'exemple typique de ce genre de polymère est le PET constitué d'éthylène glycol et acide téréphtalique.

Figure 6 : Représentation des types de copolymères

Dans un copolymère aléatoire, A et B sont distribués totalement au hasard sur la chaîne.

Dans le copolymère à bloc, le polymère va être très organisé avec un bloc de A, puis un bloc de B. Ce sont souvent des polymères à architecture contrôlée et donc à plus forte valeur ajoutée.

Enfin dans les polymères branchés, le monomère B va servir de zone de ramification.

⁴ Un article sera consacré aux mousses qui peuvent présenter des caractéristiques très différentes selon leurs structures chimiques (monomère, réticulation...) et leur fabrication. Les approches de recyclage sont différentes de celle des thermoplastiques.

Quels liens entre structure chimique, propriétés physiques et usages ? Exemple des polyoléfines

Le polyéthylène (PE), dont la base est le plus simple des monomères (éthylène), va conduire à des matériaux aux propriétés mécaniques, et donc des usages très différents, suivant son caractère linéaire ou ramifié (Figure 7).

- Le PEHD (polyéthylène haute densité), qui est un homopolymère (un seul monomère au sein du polymère), est utilisé notamment pour les bouteilles plastiques (Lait, détergent...),
- Le PEBD (LDPE en Anglais) (polyéthylène basse densité), et le PEBDL (polyéthylène basse densité linéaire) (LLDPE en Anglais) sont des copolymères ramifiés qui sont utilisés pour la fabrication de films et de sacs (classiques, étirables ou rétractables).

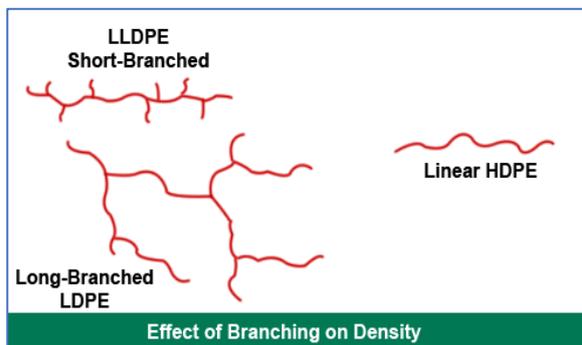


Figure 7 : Différentes structures de polyéthylènes

Il existe d'autres types de PE qui permettent encore d'autres applications comme les gilets pare-balles ou les implants chirurgicaux (PE de très hautes masses), et dans les gaines de câbles (PE réticulé comme à la figure (c), dont la réticulation rend le polymère très résistant physiquement, et donc plus difficile à recycler, dans la mesure où la réticulation conduit à un matériau qui n'est plus thermoplastique⁵ même s'il peut exister des solutions de recyclage. ...

Le polypropylène (PP), dont le monomère de base est le propylène, est principalement commercialisé sous 3 formes :

- le PP homopolymère,
- le PP copolymère à bloc,
- le PP copolymère aléatoire.⁶

Selon les propriétés recherchées, le copolymère peut être de l'éthylène ou un élastomère. Ainsi, les pare-chocs automobiles sont fabriqués avec du PP copolymères à blocs incluant un élastomère comme de l'EPDM, qui lui confère sa capacité à absorber les chocs. A l'opposé, certaines barquettes alimentaires peuvent être fabriquées en PP homopolymères ou en PP copolymères « aléatoire » (souvent éthylène) selon les caractéristiques souhaitées. Le PP copolymère aléatoire rend les barquettes plus transparentes et plus résistantes aux chocs que celles en PP homopolymère, qui sont à l'inverse plus opaques....

	1. Highest	2. Intermediate	3. Lowest	Rigidity	Abuse Resistance	Transparency
Homopolymers				1	3	2
Heterophasic Copolymers				2	1	3
Random Copolymers				3	2	1

Figure 8 : Lien entre les propriétés physiques et le type de structure du PP⁷

La taille moyenne du polymère est inversement proportionnelle à une mesure classiquement utilisée notamment pour les PP et PE, qui est le *Melt Flow Index* (MFI) aussi appelé *Melt Flow Rate* (MFR).

⁵ C'est aussi le cas des mousses polyuréthanes utilisés dans le bâtiment, dans les réfrigérateurs ou dans les matelas

⁶<http://www.societechimiquedefrance.fr/extras/Donnees/mater/pp/texpp.htm>

⁷<https://www.hmcpolymers.com/pp-properties>

Cette mesure « traduit » la viscosité à chaud du polymère. Plus celle-ci est élevée, plus le polymère est fluide à chaud. Il s'écoulera alors nettement plus facilement.

Un MFI élevé correspond à des masses moléculaires moyennes faibles et cette caractéristique de longueur de chaîne va impacter les propriétés du matériau comme le montre le graphique de gauche ci-dessous (Figure 9). A titre d'exemple, pour un même polymère, plus le MFI est élevé, donc plus la masse moléculaire est basse, plus le polymère sera fluide, mais aussi plus le taux de cristallinité du polymère sera important. Cette dernière propriété conditionne notamment la transparence du matériau. En revanche, cela se fait au détriment de sa résistance aux chocs. Le MFI et donc la masse moléculaire du polymère, va être particulièrement importante, notamment pour la technologie de mise en œuvre du matériau comme on le verra par la suite.

La polydispersité (Molecular Wt Distribution) va également avoir un impact sur les propriétés et sur la mise en œuvre du plastique comme le montre le graphique (b). En effet, plus celle-ci est large ou élevée (« broad » sur la figure) plus la rigidité (rigidity) augmente par exemple. Par contre, cela réduit la résistance à l'impact (Impact Strength)



Figure 9 : Relation entre les données physiques du polymère (MFI et polydispersité) et certaines propriétés physiques et mécaniques⁸

L'ajout d'additifs : une étape essentielle dans la formulation d'un plastique

Au-delà de la structure chimique et physique même du polymère, l'ajout d'additifs est nécessaire et va aussi jouer un rôle important dans les propriétés finales du matériau obtenu. Ces additifs peuvent être de plusieurs types : additifs fonctionnels, charges ou renforts.

1) Les additifs fonctionnels

Ils vont permettre d'apporter des propriétés supplémentaires et/ou de « gommer » certaines faiblesses intrinsèques du polymère : par exemple, en termes de stabilité ou d'aptitude à la mise en forme.

Parmi les grandes familles d'additifs, on peut citer les antistatiques, les antioxydants, les anti-UV, les plastifiants, les stabilisants thermiques, les colorants, les agents ignifuges, etc...

Ces agents peuvent dans certains cas, représenter - en masse - une part importante du plastique. Par exemple, le PVC peut être rendu souple grâce à l'ajout de plastifiants, ces additifs pouvant représenter jusqu'à plusieurs dizaines de % de la masse du plastique. Des agents stabilisants sont aussi ajoutés au PVC (quelques %) pour limiter sa dégradation lors de sa mise en œuvre.

2) Les charges

Les additifs charges sont en général des matières minérales (parfois organiques comme des farines de bois), non miscibles qui sont dispersées dans la résine. Le rôle de ces additifs est principalement de réduire le coût de fabrication des pièces, mais ils peuvent également améliorer certaines propriétés du matériau, telle que la rigidité, ou l'adhésivité des matières plastiques....

⁸<https://www.hmcpolymers.com/pp-properties> ; Flow = Fluidité, Crystallinity = Taux de cristallinité, Rigidity = Rigidité, Shrinkage = retrait, Impact Strength = résistance aux chocs, Melt Strength = résistance à l'état fondu, warpage = déformation, shear sensitivity = sensibilité au cisaillement

3) Les renforts

Les additifs de type renforts sont souvent ajoutés dans les plastiques pour améliorer les propriétés mécaniques du plastique. Ces renforts sont en général d'origine fibreuse. Les fibres de verre sont très largement utilisées. Les fibres de carbone sont moins répandues. On voit aussi de plus en plus souvent l'emploi de fibres naturelles, comme le lin ou le chanvre, ou de manière plus anecdotique de fibres textiles ou plastiques (matériaux bi matières).

L'utilisation de renforts conduit à une catégorie de matériaux qui rentrent dans la catégorie des **composites thermoplastiques**.

Transformation des plastiques en produits : la mise en œuvre

La mise en œuvre des plastiques se fait principalement par 6 techniques : l'extrusion, l'injection et leurs dérivés l'extrusion soufflage et l'injection soufflage, le thermoformage et le rotomoulage, décrites rapidement ci-dessous :

- L'extrusion va permettre d'obtenir des produits longs et continus, qui pourront être découpés ensuite : tubes, goulottes, profilés, plaques ou feuilles épaisses.
- L'injection va permettre d'obtenir des produits à structure plus complexe (moulages), comme par exemple des bouchons, des barquettes, des préformes, des pièces automobiles...
- L'extrusion-soufflage va permettre de préparer notamment des films et des sacs, alors que l'injection-soufflage sert notamment à la fabrication de bouteilles.
- Le thermoformage va permettre d'obtenir des produits en 3D, à partir d'une plaque passée dans une presse avec un moule, pour fabriquer, par exemple, les assiettes à usage unique, les barquettes... La plaque est, en général, précédemment obtenue par extrusion avec une sortie plate (calandrage), puis chaque plaque est découpée avant d'être thermoformée.
- Enfin, le rotomoulage permet d'obtenir notamment des pièces creuses de grandes dimensions comme les réservoirs, bidons ou mobiliers de jardin creux, à partir de poudres plastiques placée dans un moule chauffé et fermé qui sera mis en mouvement dans tous les sens pour que le plastique recouvre l'ensemble du moule .

Importance de la formulation dans la mise en œuvre

Pour une résine donnée, l'ensemble des caractéristiques chimiques (monomère principal, comonomère, longueur de chaîne, polydispersité, existence de blocs ou de ramification, additifs...) définit le grade du matériau. Celui-ci va être choisi en fonction de l'application recherchée et donc de la mise en œuvre du plastique.

On parlera alors par exemple de grade alimentaire ou automobile ou film dans un secteur et/ou de grade extrusion, injection...

Il est important de noter que dans le cas des polyoléfinés (PP et PE), les MFI (de l'ordre de 3 à 5) bas correspondent à des grades « extrusion », alors que les MFI plus élevé (>10) correspondent plutôt à des grades « injection ».

Lors de la mise en œuvre, certains produits plastiques aussi peuvent être « décorés » à l'aide d'une « peau », rajoutée par des procédés de métallisation, peinture, co-extrusion, de surmoulage ou à l'aide d'autocollants déposés à la surface du plastique.

Ces éléments sont importants pour des questions de marketing ou d'esthétique, mais peuvent poser des problèmes au moment de la régénération, en venant contaminer le plastique par d'autres matériaux (peinture, métaux, autres plastiques, adhésif papiers), qui seront parfois difficiles à désolidariser ou qui poseront des problèmes lors du tri, et/ ou lors de la régénération.

Utilisation et fin de vie des plastiques

Au cours de leur utilisation, les produits en plastiques vont subir des agressions et/ou des contaminations multiples d'ordres physiques ou chimiques.

En effet, selon l'utilisation, certains produits vont s'adsorber⁹ à la surface du plastique, voire s'absorber par diffusion et donc pénétrer dans le matériau.

Le schéma ci-contre explique la différence entre adsorption ou absorption. L'adsorption correspond à une pénétration non souhaitée, au contraire de l'absorption !

C'est, par exemple, le cas des produits gras dans les barquettes de beurre, l'essence dans les réservoirs automobiles ou les détergents des lessives dans les emballages ménagers.

De plus, le matériau va aussi vieillir dans le temps notamment sous l'effet par exemple des rayons UV. Par exemple, certains plastiques vont devenir cassant ou jaunir, signes d'une dégradation du matériau.



Figure 10 : représentation schématique de la différence entre l'adsorption et l'absorption

En fin de vie / d'usage, les produits contenant des plastiques vont se retrouver lors de la collecte des déchets mélangés à la fois entre eux et avec de nombreux autres produits. Certains flux ou types de produits sont maintenant assez bien séparés, comme c'est le cas dans les filières à responsabilité élargie du producteurs dites Filières REP (emballages ménagers, Equipements Electriques et Electroniques EEE, Automobile, Ameublement, Produits de l'agrofourriture...). Il n'en demeure pas moins qu'une diversité importante de matériaux subsiste dans chacune de ces filières.

A titre d'exemple, dans le cas « relativement simple » des emballages ménagers, le flux de déchets plastiques creux, composé des bouteilles et flacons, inclut 3 résines majoritaires (PET, PEHD, PP...). Les bouteilles d'eau et de soda sont en général en PET de grade similaire, mais l'existence de bouteilles claires et de bouteilles fortement colorées (par exemple pour les marques Perrier ou Badoit) impose un tri entre ces deux types de bouteilles. Les bouteilles claires sont utilisées pour refaire des bouteilles, alors que les colorées dont le mélange des couleurs conduirait à des bouteilles d'une couleur douteuse sont recyclées en fibre dont la couleur importe peu vue sa finesse.

Le tri du PET des emballages s'est complexifié avec le développement du PET opaque, qui a permis d'utiliser le PET pour réaliser des bouteilles de lait. Les additifs du PET opaque (dioxyde de titane par exemple), nécessaires pour la nouvelle fonctionnalité développée (opacité), impactent le recyclage classique du PET. En effet, dans les filières de tri, ce nouveau matériau suivait la voie du PET coloré, mais la présence de ces opacifiants pose problème pour la réalisation de fibres dès que le PET opaque dépasse un seuil massique (8 à 10% du flux).

L'extension des consignes de tri¹⁰ en cours ajoute dans la collecte sélective des emballages, l'ensemble des films plastiques en général en PEBD, des pots et barquettes en PET, PP et PS, le tout avec des différents grades.

Si ces 5 résines (PET, PEHD, PP, PEBD et PS...) représentent plus de 90% des emballages ménagers, les matériaux, dont ils sont issus représentent une diversité beaucoup plus importante, liée aux fonctionnalités attendues pour chaque emballage.

Le constat est identique dans les autres filières. Ce tri par filière est cependant essentiel aussi bien pour des raisons techniques, sanitaires qu'environnementales. En effet, chaque grande filière a ses grandes catégories de matériaux et de grades. La collecte sélective permet ainsi de limiter les opérations de tri ultérieurs et les risques de pollution des flux par des substances absentes de ce flux.

⁹ Diffusion retardée dans le cas de l'adsorption

¹⁰ De plus, pour chaque résine, il peut y avoir plusieurs grades différents à la fois en en terme de mise en œuvre (injection, injection soufflage, extrusion soufflage, thermoformage) et d'utilisation comme les grades alimentaires pour les bouteilles de lait et non alimentaire pour les bouteilles de lessives toutes deux en PEHD.

Après la collecte en fin de vie, les différents types de plastiques sont triés principalement par type de résine majoritaire dans chaque flux, mais aussi en fonction d'autres caractéristiques comme la présence de charge ou d'additifs anciens maintenant à éliminer. Les plastiques entrent ensuite chez le régénérateur qui va poursuivre le tri, opérer les différentes étapes nécessaires à la régénération et va ainsi préparer une matière plastique recyclée, qui pourra être utilisée directement, ou quelquefois indirectement (via un compounder), par un plasturgiste.

En effet, dans certains cas, une étape supplémentaire de formulation peut être nécessaire. La matière régénérée pourra alors être mélangée avec d'autres sources de plastiques (vierges ou recyclées) et/ou complétée avec des additifs, nécessaires pour répondre aux besoins techniques de l'application choisie. Cette formulation peut être réalisée par le régénérateur, par un compounder intermédiaire ou par le plasturgiste selon les cas.

Le plastique : un matériau, qui a le défaut de ses grandes qualités

Cette capacité d'adaptation des matériaux plastiques aux besoins techniques de nombreux secteurs en a fait un matériau qui a conquis tous les secteurs, mais sous des formulations très différentes, comme cela a été montré précédemment.

Théoriquement, en comparaison d'un polymère thermodurcissable, un plastique thermoplastique « pur » peut être facilement recyclé, en le faisant simplement refondre.

La réalité est plus délicate dans la mesure où le plastique est un matériau plus complexe et technique qu'il n'y paraît. En effet, le grand nombre de résines différentes, la multitude des formulations possibles (en termes de grade) et la multiplicité des usages qui rendent également plus difficile les collectes des produits en fin de vie contenant des plastiques, viennent rapidement compliquer le recyclage.

De plus, toute leur vie, ces plastiques sont susceptibles d'avoir subi des dégradations et pollutions qui peuvent complexifier leur recyclage. [Remarque valable aussi pour le papier-carton]

Enfin, compte tenu de la durée de vie possible (raison du choix du plastique !) de certains produits (produits pour le bâtiment, automobile, équipements électriques et électroniques...), ces plastiques peuvent contenir des substances dangereuses maintenant ou prochainement interdites par les différentes réglementations (REACH, POP, RoHS, Directive cadre sur l'eau...). **Garantir l'innocuité des plastiques recyclés est cependant une contrainte indispensable.**

Compte tenu de la diversité des formulations pour un polymère donnée (exemple du PP), le mélange de plusieurs formulations conduit généralement à des propriétés « abaissées » par le mélange de différentes sources de polypropylènes, alors qu'on avait initialement des propriétés techniques et d'usage plus élevées. Dans ce cas, les propriétés dégradées de ces matériaux limitent de facto les applications possibles à des usages à valeur ajoutée inférieure, où le coût matière est essentiel et/ou les obligations réglementaires éventuellement plus faibles.

L'enjeu d'aujourd'hui est de développer le recyclage à plus forte valeur ajoutée des plastiques, comme c'est par exemple le cas pour la bouteille PET qu'on recycle en bouteille PET. L'atteinte de cet objectif nécessite de travailler en optimisation de l'ensemble de la chaîne de valeur (figure 11) pour créer des gisements, dont l'homogénéité pourra permettre un recyclage à plus forte valeur ajoutée.

Cette création d'homogénéité a cependant aussi un coût (collecte, tri...), tant économique qu'environnemental, même si les bénéfices environnementaux du recyclage ne sont pas remis en question.

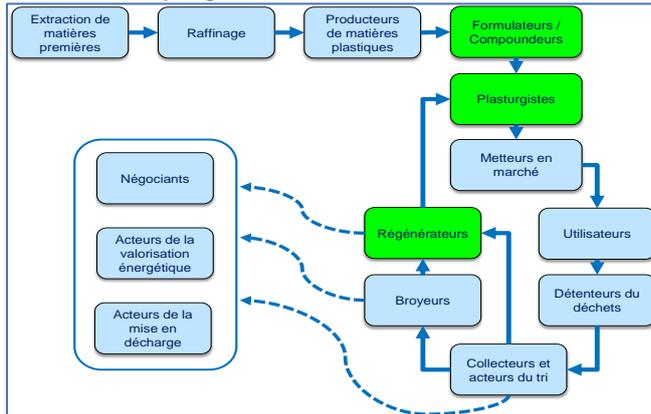


Figure 11 : représentation schématique de la chaîne de valeur d'un produit plastique

La réutilisation de MPR passera donc par une optimisation « sélective », où tous les acteurs devront être impliqués, depuis l'écoconception par les fabricants de produits et de plastiques, jusqu'aux acteurs de la collecte et de la régénération.

Les pouvoirs publics ont un rôle clé à jouer en mettant en place un cadre réglementaire et économique adapté aux enjeux, en premier lieu en créant la cohérence entre les différentes législations, en particulier celles liées aux produits, substances et déchets.

Les citoyens auront aussi un rôle essentiel à jouer, à la fois du côté de la demande pour des produits plus respectueux de l'environnement et plus faciles à recycler, mais aussi pour la fin de vie de ces produits, en réalisant un tri efficace, respectant les organisations mises en place dans le pays.

Ce premier article avait pour objectif de présenter les différents éléments constitutifs des plastiques. Ils conduisent à la palette exceptionnelle des potentialités des plastiques, mais aussi à la complexité de leur recyclage !

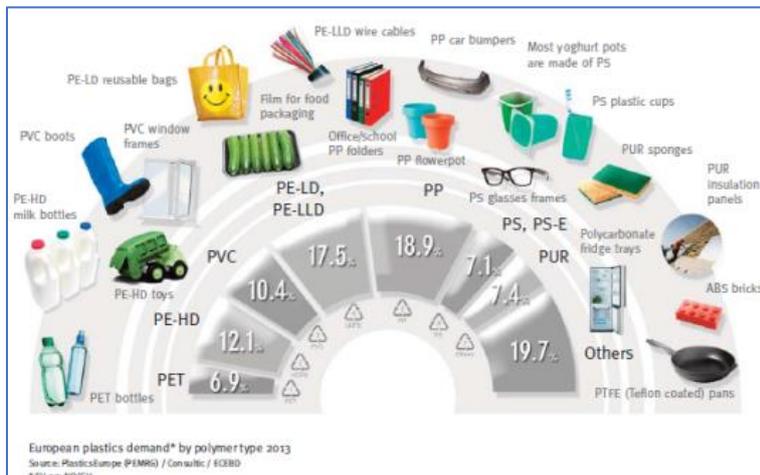


Figure 12 : Illustration de la diversité des produits incluant du plastique

Les plastiques sont aussi présents dans tous les secteurs comme le montre cette infographie de Plastics Europe (figure 12) !

Le prochain article aura donc pour objectif de vous présenter les divers systèmes de collecte, qui permettent aujourd'hui de traiter les produits en fin de vie, et ainsi de récupérer les parties/ éléments plastiques qu'ils contiennent.

Comprendre cette première phase de collecte et de séparation des plastiques sera un élément essentiel pour contribuer à gérer la complexité intrinsèque du recyclage des plastiques.