Les plastiques recyclés dans l'automobile

Quelles perspectives?

Frédéric Viot

Résumé

Parce qu'ils allient légèreté à de hautes performances techniques, les plastiques sont les matériaux de l'allègement des véhicules et de la réduction de leur consommation en carburant. L'automobile représente un peu moins de 5 % de la consommation de plastiques en Europe, essentiellement des polyoléfines (polypropylène et polyéthylène). Les filières professionnelles de recyclage ont traité 1,1 million de véhicules hors d'usage en 2014. Ceux-ci contiennent en moyenne 13 % de plastiques, lesquels doivent être réutilisés ou valorisés. Cet article fait le point sur les techniques de recyclage des matières plastiques issues des VHU; les freins actuels au recyclage des plastiques dans le secteur automobile, tant scientifiques qu'économiques et sociétaux sont mis en lumière. Plusieurs solutions formulées par les acteurs académiques et industriels, avec en perspective des seuils de 20 % de plastiques et une diversité accrue des structures chimiques des polymères mis en œuvre, sont présentées.

Mots-clés

Automobile, véhicules hors d'usage, VHU, recyclage des plastiques, REACH, matériaux polymères.

Abstract

Recycled plastics in the automotive industry: which prospects?

Because they combine lightness with technical high efficiency, the plastics are for vehicles the materials of lightening and fuel consumption reduction. The car represents a little less than 5% of the plastics consumption in Europe, mainly polyolefins (polypropylene and polyethylene). The French professional sectors of recycling "end of life vehicle" (ELV) treated in 2014 1.1 million ELV. Those contain on average 13% of plastics, which must be re-used or developed. This article takes stock of the techniques for the recycling of plastics resulting from ELV. The current barriers to the recycling of plastics in automobile industry, as well scientific as economic and societal are clarified. Several solutions formulated by the academic and industrial actors, with prospects of 20% of plastics and an increased diversity of the chemical structures of polymers implemented, are presented.

Keywords

Automotive, end of life vehicle, ELV, recycled plastics, REACH, polymers.

Généralités

Eléments de réglementation

La Directive européenne 2000/53/CE du 18 septembre 2000 relative aux véhicules hors d'usage (VHU) instaure des enjeux majeurs d'un point de vue environnemental. Elle doit conduire à concevoir des véhicules davantage susceptibles d'être valorisés, à réduire l'utilisation de substances dangereuses, à prévoir des solutions qui facilitent le démontage et à promouvoir l'utilisation de matériaux recyclés. Les États membres doivent en outre prendre les mesures nécessaires pour que la remise d'un véhicule à une installation de traitement s'effectue sans aucun frais pour le dernier détenteur. La directive fixe des objectifs chiffrés à atteindre au 1er janvier 2015, à savoir : un taux minimum de réutilisation et de recyclage de 85 % en masse du VHU; et un taux minimum de réutilisation et de valorisation de 95 % en masse du VHU - la valorisation est essentiellement énergétique.

Les différentes dispositions réglementaires françaises transposant cette directive européenne visent à garantir un stockage et un traitement des VHU dans de bonnes conditions environnementales, ainsi qu'une traçabilité de chaque véhicule jusqu'à sa destruction finale. Pour ce faire, elles prévoient que les VHU ne peuvent être remis par leur détenteur qu'à un démolisseur ou un broyeur agréé.

Plastique recyclé : de quoi parle-t-on ?

Qu'est-ce qu'un plastique recyclé ? D'où vient-il ? Plusieurs définitions cohabitent et méritent d'être commentées : 1 : « Se dit d'un déchet qui peut être réintroduit directement dans le cycle de production en remplacement partiel ou total d'une matière première neuve. » Ce serait donc un déchet que l'on réintroduit directement dans un cycle de production?

2 : « Matière pouvant être réintroduite dans le procédé de production dont elle est issue ou dans un procédé similaire utilisant le même type de matériau. » Le recyclé serait donc une matière issue d'un cycle de fabrication que l'on peut réintroduire dans un procédé de fabrication... directement ? Indirectement?

3 : « Les matières recyclées « pré-consommation » (avant consommation, « pre-consumer ») proviennent de sources de production, telles que les matières provenant de déchets industriels (chutes de fabrication ou de production) ou de produits rappelés qui n'ont pas été utilisés par les consommateurs. » « Les matières recyclées « post-consommation » (après consommation, « post-consumer ») proviennent de sources de déchets de consommation, c'est-à-dire qui ont servi et ont été mis au rebut (papier, journaux, carton, canettes, plastiques, métaux...). » Ici, il est fait mention de deux types de matières recyclées, l'une étant issue de rebuts de production (pré-consommateur) et l'autre de « fin de vie » (post-consommateur).

En fait, toutes ces définitions sont correctes. On peut considérer comme « recyclée » une chute de production que l'on réintroduit dans le même cycle et ce recyclé peut être considéré comme un déchet. Encore faudrait-il préciser ce que l'on appelle déchet ? La troisième définition considère deux types de recyclés sans préciser de notion de réintroduction dans un cycle quelconque de production.

Le sujet abordé ici ne portera que sur le recyclé « fin de vie ». En effet, réutiliser des chutes de production, par essence relativement propres et avec des caractéristiques connues, est relativement simple. De plus, ce n'est pas ce type de recyclé qui va développer les filières de recyclage, les usines n'ayant pas vocation à faire des rebuts pour pouvoir les recycler ensuite. Les producteurs travaillent à réduire au maximum ces rebuts et c'est bien normal. Il faut donc travailler sur le recyclage « fin de vie » pour développer les filières de recyclage et mettre de plus en plus de recyclés sur le marché.

Différence entre recyclable et recyclé

Quelle est la différence en effet, entre ces deux termes? Je propose de retenir cette définition: le premier est une possibilité future (« -able ») et le second est une réalité (« é »).

Tout réside dans la nuance entre « réalisable » et « réalisé »! En effet, en théorie et en investissant beaucoup d'argent, on pourrait imaginer que tous les plastiques sont recyclables. Beaucoup de communications scientifiques, techniques, commerciales affirment que tels ou tels composites peuvent être recyclés en utilisant des moyens plus ou moins conséquents... Très souvent, le postulat de base est de démarrer la phase de recyclage avec le plastique que l'on veut recycler relativement pur...; ceci est vrai pour les rebuts de production, mais comme expliqué auparavant, ce n'est pas ce type de recyclé qui nous intéresse. Il faut donc prendre en compte le fait que le plastique étudié sera, en « fin de vie », mélangé avec un grand nombre d'autres matières, plastiques ou non, en quantités plus ou moins élevées, avec des caractéristiques (composition moléculaire, densité, aspect...) très proches qui empêchent de l'isoler ou qui, dans le meilleur des cas, permettent de le concentrer avec d'autres matières.

Le concentré obtenu, si l'équation économique permet de l'obtenir, est composé donc majoritairement d'une famille de polymères et de 10 à 20 % d'autres matières plastiques, végétales, ferreux, non-ferreux... Ce concentré doit être encore purifié pour obtenir une matière utilisable pour être recyclée.

Toutes ces étapes de tri, purification et l'étape de recyclage avec les impuretés finales ne sont, pratiquement, que très rarement prises en compte dans les publications, ce qui tend à faire penser au grand public que tous les plastiques sont recyclés, alors que nous sommes loin de cet idéal comme nous le verrons plus loin.

Ainsi pour conclure ces généralités, le secteur automobile est soumis à une règlementation qui impose un taux de recyclage de 85 % du poids du VHU plus 10 % de valorisation

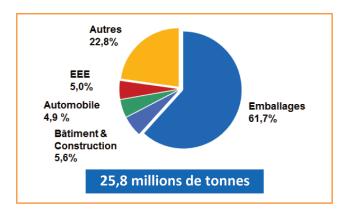


Figure 1 - Répartition de la consommation européenne de plastiques en 2014 par grands secteurs industriels (source : PlasticsEurope [1], avec leur aimable autorisation).

énergétique (soit 5 % de déchets ultimes, non valorisables). Nous avons vu les deux définitions de polymères recyclés, sachant que nous ne parlerons ici que de recyclés « fin de vie » qui sont effectivement recyclés et pas recyclables, tout en proposant des pistes d'amélioration.

Panorama automobile

Les plastiques en Europe et pour l'automobile

Il convient de se rappeler que la fabrication annuelle de plastiques dans le monde représente environ 270 millions de tonnes (Mt) et que pour cela, la pétrochimie utilise environ 4 % de la production de pétrole (les 96 % restants sont essentiellement utilisés pour le chauffage et les transports). En Europe, nous consommons environ 26 Mt de plastiques, dont la répartition est présentée sur la figure 1. L'automobile représente un peu moins de 5 % de cette consommation. Si nous regardons les grandes familles de plastiques utilisées, nous pouvons voir que les polyoléfines – polypropylènes (PP) et polyéthylènes (PE) – sont les plus employées.

Dans le secteur automobile, les polymères les plus utilisés sont les polyoléfines (PP et PE, pour les pare-chocs, les réservoirs de carburant ou autres pièces intérieures...), le polyuréthanne (PU, mousses pour les sièges), les polyamides (PA, pièces techniques sous capot), les styréniques (ABS, PS), le PVC et beaucoup de « divers » : thermoplastiques élastomères (joints caoutchouc), thermodurs chargés en fibre de verre pour carrosserie ou poly(méthacrylate de méthyle) (PMMA) pour les feux... (figure 2).

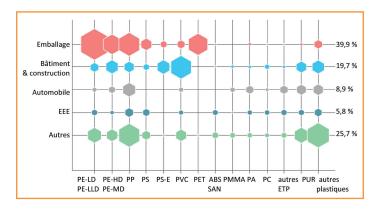


Figure 2 - Familles de polymères par secteurs industriels en 2015 (source : PlasticsEurope [1], avec leur aimable autorisation).

La répartition des plastiques dans un véhicule en Europe

La quantité de plastiques a augmenté de façon importante en quelques années. Elle était de 13 à 14 % au début du siècle et sera de 20 à 22 % en 2020. Parce qu'ils allient légèreté à de hautes performances techniques, les plastiques sont les matériaux de l'allègement des véhicules et de la réduction de leur consommation en carburant. Une réduction de 100 kg du poids de la carrosserie d'un véhicule standard abaisse ses émissions de CO₂ de 10 g/km. Pour réduire les émissions de CO₂ de leurs véhicules, les constructeurs ont introduit des matériaux plastiques dans la carrosserie, les pièces d'habitacle et le compartiment moteur, y compris dans des fonctions mécaniques (*figure 3*). Chez Renault par exemple, l'objectif est de faire encore « maigrir » la voiture de demain de 220 kg d'ici à quelques années.

Parmi les pièces concernées, on peut citer par exemple : - sous le capot : face avant technique (supports feux, supports radiateur, durites, réservoirs divers)...

- électricité/éclairage : feux, clignotants, faisceaux électriques...
- habitacle : sièges, planche de bord, panneaux de porte...
- extérieur : pare-chocs, hayons, joints divers...

Une notion également importante à prendre en compte est la durée de vie d'un véhicule. En effet, comme nous le verrons ci-après, cela a une importance assez forte sur le recyclage d'un véhicule en fin de vie. Celle-ci s'allonge régulièrement et elle est maintenant d'environ quinze ans en Europe.

Le recyclage d'un véhicule en fin de vie

Le recyclage en France est assurée par une filière professionnelle de 1 600 centres VHU (appelés aussi démolisseurs ou, beaucoup plus anciennement, « casse auto ») et 60 broyeurs répartis sur l'ensemble du territoire (figure 4). En 2014, ceux-ci ont traité 1,1 million de véhicules hors d'usage.

Globalement, ces véhicules sont d'abord traités par les centres VHU pour dépolluer le véhicule (batteries, lampes au mercure, pneus, fluides divers...) et revendre quelques pièces d'occasion (pièces de carrosserie, moteur, pièces électriques...). La carcasse est ensuite revendue à un broyeur qui va déchiqueter le véhicule dans d'immenses installations puis récupérer les métaux ferreux (acier) par aimantation et les non ferreux (cuivre, aluminium, magnésium...) par induction, type courant de Foucault. Le reste, appelé résidus

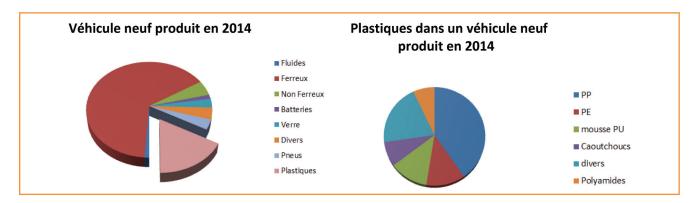


Figure 3 - Composition globale d'un véhicule moyen produit en Europe en 2014 et répartition des plastiques dans ce même véhicule (source interne).

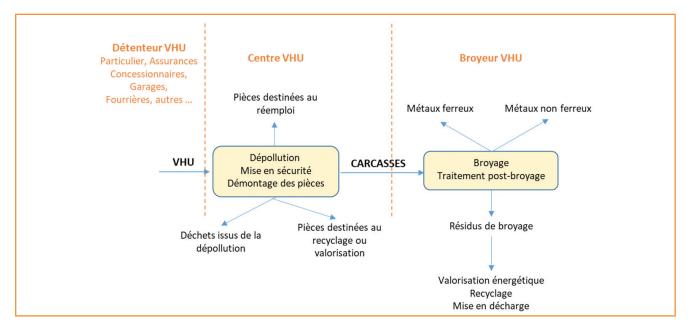


Figure 4 - Schéma simplifié du traitement d'un VHU (source : Ademe).

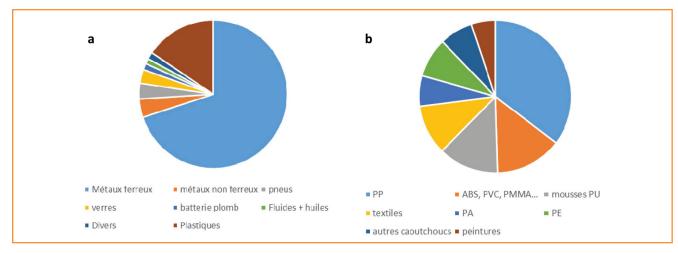


Figure 5 - Composition en 2014 en France : a) d'un VHU ; b) des 13 % de plastiques contenus dans un VHU [2].

de broyage automobile (RBA), est trié sur d'autres machines après un rebroyage plus fin afin d'extraire de ce mélange les non ferreux restants et quelques familles de plastiques.

L'Ademe, avec l'aide d'un outil déclaratif que possède l'ensemble des professionnels du traitement « fin de vie » automobile, fait chaque année un bilan précis de la composition des VHU traités et mesure la destination finale pour chacune de ces matières afin de pouvoir fournir ces résultats en termes de recyclage et valorisation aux instances européennes.

En 2014, un VHU en France avait en moyenne dix-sept ans et comportait environ 13 % de plastiques (*figure 5*). Dans ces 13 % de plastiques « fin de vie », il y a un peu plus de 50 % de polyoléfines (PE, PP), 14 % de mousse (PU) et 17 % de divers⁽¹⁾ (sans compter les pneus traités dans une filière spécifique). Les résultats globaux sur ce 1,1 million de VHU obtenus en France sont les suivants :

- taux de recyclage et de réutilisation : 85,9% (objectif : 85%) :
- taux de réutilisation et de valorisation : 91,3 % (objectif : 95 %).

Ces résultats sont corrects pour la partie recyclage et réutilisation et un peu faibles pour le taux de réutilisation et valorisation. Si nous analysons plus finement les données, nous constatons que nous sommes proches des 100 % de recyclage ou valorisation pour les fluides, pneus, métaux ferreux, non ferreux et batteries, mais loin de ce bilan pour les plastiques qui sont eux recyclés à hauteur de 40,5 % (soit 5,2 % du poids du VHU) et valorisés à 34,6 % (soit 4,5 % du poids du VHU).

Le bilan de l'activité 2014 montre des VHU contenant 13 % de plastiques ; qu'en sera-t-il dans quelques années où nous serons avec des seuils de 20 % de plastiques et une diversité accrue ? La part de plastiques continue à croitre et surtout la répartition n'est plus la même avec une augmentation surtout des « divers » (polymères spécifiques et composites variés) qui multiplie les difficultés pour envisager un recyclage ou une valorisation.

L'automobile est un consommateur important de plastiques. Cette consommation s'accroit et va continuer à croitre dans les années à venir pour faire face à la règlementation sur les émissions de CO₂ (allègement du véhicule). Les objectifs globaux de recyclage et valorisation ne sont pas tenus en partie à cause des plastiques, et ils seront de plus en plus difficiles à atteindre au vu de l'augmentation du poids des plastiques dans les véhicules récents et de leurs diversités.

Les freins au recyclage des plastiques dans le secteur automobile

Matières plastiques

D'un point de vue chimique, les polymères sont constitués d'un très grand nombre de macromolécules de compositions chimiques souvent similaires enchevêtrées entre elles.

Il existe deux grandes familles de matières plastiques: les thermoplastiques et les thermodurs. Pour les thermoplastiques, la fabrication part de poudres, de granulés ou de semifinis (plaques, films) solides. Un apport d'énergie permet de « démêler » les macromolécules et fait passer la matière de l'état solide à l'état visqueux; la mise en forme est alors possible dans un moule ou une filière, par exemple. L'objet est ensuite figé dans la forme voulue par un système de refroidissement, mais il est possible de changer ultérieurement la forme ou l'état de la pièce: le processus est *réversible*, les pièces peuvent être remises en forme (thermoplastiques).

Dans le cas des thermodurs, les produits de base (prépolymères thermodurcissables, durcisseurs) sont livrés à la transformation et mis en forme dans un moule. Sous l'action de la chaleur et de catalyseurs, des réactions chimiques conduisent à un matériau réticulé. Les chaines sont liées les unes aux autres par des liaisons chimiques covalentes. Le démoulage n'intervient que lorsque ces réactions sont suffisamment avancées pour que le produit présente les propriétés requises. La mise en forme définitive est *irréversible*: les thermodurs seront beaucoup plus difficiles à recycler.

Ces matériaux thermoplastiques ou thermodurs peuvent être des composites. Un matériau composite est un assemblage d'au moins deux matériaux non miscibles (mais ayant une forte capacité d'adhésion entre eux) ; il est généralement constitué de deux composants : une ossature, appelée renfort ou charge, qui assure la tenue mécanique, et une protection, appelée matrice ou polymère, qui assure la cohésion de la structure et le transfert de charges entre les renforts. Le nouveau matériau ainsi élaboré possèdera des performances supérieures à celles des éléments pris séparément. Les composites peuvent donc être constitués de un, deux, trois... renforts différents, avec des stabilisants qui vont permettre une pérennité des caractéristiques du composite ainsi fabriqué. Ces renforts peuvent avoir plusieurs formes (sphériques, bâtonnets, fibres, tissées...), différentes tailles (du mètre au nanomètre), différentes compositions (verre, minéral, carbone, végétal) et différents taux d'incorporation (jusqu'à 70 %).

Tout ceci offre d'énormes possibilités pour mettre sur le marché le composite qui correspond le mieux aux besoins, mais complexifie encore plus le recyclage car souvent les charges, polymères, additifs ne sont pas interchangeables, voire sont incompatibles entre eux, ce qui multiplie donc les difficultés.

Durée de vie (notion de fonction ?)

Un recyclage bien connu et assez maitrisé est celui des bouteilles en plastique de type eau minérale ou soda. Le polymère utilisé est le même pour tous, à savoir le poly(éthylène téréphtalate) (PET) non chargé. La durée de vie est en moyenne de quelques mois (entre la fabrication de la bouteille, le remplissage, la distribution, la vente, l'utilisation, la collecte et le recyclage). Vous pouvez ainsi mettre sur place des filières de recyclage matière qui peuvent s'appuyer sur des caractéristiques matière qui ne vont pas ou peu évoluer, et donc trouver des partenaires avals qui peuvent réutiliser une matière avec des caractéristiques reproductibles et connues (textile ou réemploi en dilution avec de la matière neuve pour la mise en forme de nouvelles bouteilles).

Ceci est totalement différent pour des produits avec une durée de vie plus longue et avec des fonctions et prix disparates: un fer à repasser, trois ans; un aspirateur, dix ans; un réfrigérateur, vingt ans... et une voiture, quinze ans en moyenne en Europe. Les qualités esthétiques, usuelles, techniques de ces objets ne sont pas égales d'un appareil à un autre et la composition pour une même pièce ne sera donc pas identique. De plus, pensez que pour un pare-chocs par exemple, vous utiliserez exactement la même matière pour cette fonction quinze ans après est une négation du progrès... Les matières ne sont plus les mêmes pour des raisons de cahiers des charges, de prix, de procédés... Le recyclage ISO fonction n'est applicable que pour des produits à durée de vie relativement courte.

Fin de vie « propriétaire » ou pas ?

Plusieurs exemples existent de recyclage de pièces plastiques « fin de vie » pris en charge par l'entreprise ou le secteur qui a mis ces biens sur le marché (éoliennes, avions, containers...) et qui met en place des filières de recyclage aval avec des résultats intéressants, soit parce qu'ils sont en location et que le metteur sur le marché est toujours propriétaire de ce bien, soit parce qu'ils assurent la maintenance du bien durant toute sa durée de vie. Dans ces cas, la composition de la pièce est parfaitement connue par l'industriel et il peut envisager une conception favorisant le traitement du produit en fin de vie et mettre en place celui-ci. Dans le cas de l'automobile, c'est « Monsieur Tout-le-Monde » qui est propriétaire de son véhicule et qui l'a modifié, entretenu... à sa façon.

Bien que chaque constructeur automobile fasse des efforts d'écoconception, il est très difficile pour toute la profession des démolisseurs et broyeurs de valoriser ces efforts et d'identifier les modifications que le véhicule aura subies.

Les acteurs de la « fin de vie »

Sur l'année 2014, presque 1,1 million de VHU ont donc été traités et déclarés officiellement par ce secteur industriel. Il est fréquent de penser que 25 % de VHU ne sont pas enregistrés (démolisseurs non autorisés, ventes hors Europe, déclarations non réalisées...). Les démolisseurs (ou centres VHU) traitent en moyenne trois VHU par jour avec une forte

disparité puisque nombre va jusqu'à dix à quinze pour certains centres. Leur rôle s'est longtemps cantonné à revendre quelques pièces d'occasion localement puis à revendre les carcasses aux broyeurs les plus offrants. Ce sont en majorité des petites PME qui peinent à se mettre en réseau afin de proposer un plus large choix de prestations.

Une fois dépolluée et quelques pièces revendues en occasion ou démontée pour recyclage, la carcasse est vendue au poids aux broyeurs - le prix ne prend pas souvent en compte la composition du VHU et est fortement indexé sur celui de la ferraille dans le monde. Ceci explique en partie les stocks plus ou moins fluctuants de carcasses dans les centres VHU et les résultats en termes de recyclage ou réutilisation. Une forte hausse des prix de la ferraille accompagnée d'une grosse demande des broyeurs... et les taux de recyclage et de réutilisation chutent. Le broyeur récupère donc des carcasses dépolluées avec une composition variable et va déchiqueter ces VHU afin de collecter essentiellement les métaux ferreux et non ferreux. Ces broyeurs sont très souvent intégrés dans de grosses sociétés internationales. Les démolisseurs et broveurs ont chacun des obiectifs de recyclage et de valorisation fixés en France par décret sous menace de se voir retirer leur agrément⁽²⁾ (démolisseurs: 3,5 et 5 %; broyeurs: 3,5 et 6 %).

Il est à noter que la filière de recyclage des VHU en France n'est pas financée par une taxe ou écocontribution à l'achat du véhicule; ce qui n'est pas le cas en Autriche, aux Pays-Bas et en Suisse ou pour d'autres secteurs industriels (équipements électriques ou électroniques : 13 € par réfrigérateur neuf en France, ou pneu de 2^e monte par exemple). Les pays ayant fait le choix d'une taxe à l'achat du véhicule neuf ont de meilleurs résultats au global et surtout en termes de recyclage dans les centres VHU favorisant plus de démontage manuel des pièces mono-matières (les coûts de main d'œuvre et la logistique sont pris en charge en partie par cette taxe).

Un autre acteur important dans la filière de recyclage des plastiques fin de vie est le recycleur ou « compoundeur » de plastiques. Celui qui récupère les pièces démontées en mono-matière ou le concentré de plastique va faire avec ces « déchets » une matière première secondaire pouvant être utilisée par différents secteurs industriels. Il doit donc connaitre le fonctionnement des différentes filières amont et aval. ce sont souvent des PME et seuls guelques sites sont intégrés à des groupes internationaux.

Quelles techniques pour recycler les plastiques ?

Les plastiques sont souvent des matériaux ayant une structure carbonée linéaire ou ramifiée et, suivant les polymères concernés, des atomes d'oxygène ou d'azote pour les plus grandes familles et donc différents types de liaisons entre ces atomes. Ceci ne fait pas une panoplie importante et limite le nombre de « signatures » spécifiques par analyse. Dans l'automobile, un grand nombre de plastiques sont de couleur noire, ce qui limite aussi l'identification du polymère par analyse spectroscopique, le faisceau source étant absorbé en grande partie par l'échantillon noir. Ces polymères ont une densité relativement proche, comprise entre 0,9 et 1,5 t/m³, et des propriétés électriques isolantes similaires. Ils peuvent aussi voir leurs caractéristiques propres évoluer si on leur incorpore une charge à différents taux (talc, carbonate, fibres de verre...), ce qui multiplie les difficultés pour les trier.

Nous avons vu précédemment qu'un grand nombre des plastiques très diversifiés se retrouvent dans les résidus de

broyage avec les tissus, le bois, la mousse des sièges, etc., le tout après dix-sept ans de service et un certain nombre d'opérations industrielles (démontage, transport, broyage, stockage...) qui peuvent polluer ou altérer la surface des polymères à trier et rendre aussi délicat le tri par des techniques d'analyses de surface à grande vitesse - nous parlons de milliers de tonnes de morceaux broyés de quelques cm² à trier... Aussi, si nous croisons densité particulière/volume à traiter/facilité à être réutilisé..., la technique la plus utilisée est la flottaison : les polyoléfines (PE et PP) sont les seuls plastiques à avoir une densité inférieure à 1 kg/m³ et ce, même chargés jusqu'à 12 %. Ce sont les polymères les plus utilisés et ils ne nécessitent pas de conditions particulières pour être recyclés (séchage, température...), mais ceci limite au grand maximum à moins de 50 % des plastiques utilisés. D'autres techniques de tri existent en complément ou sont actuellement en tests (optique, laser, traçage chimique des matériaux...). Le mélange restant pourrait aussi avantageusement être préparé (taille, composition...) pour être valorisé énergétiquement plutôt que d'être envoyé en centre d'enfouissement.

Nous obtenons donc à ce moment un concentré de polymère mono-matériau à environ 90 %. Pour l'affiner, le recycleur (ou compoundeur) qui récupère ce produit sous forme de broyats de quelques cm² va le rebroyer plus finement, laver ces broyats, les refondre et les additiver lors d'une phase d'extrusion pour obtenir des granulés similaires à de la matière vierge et utilisables directement par différentes industries. Toute la difficulté du recycleur est de connaître les spécificités de son client (procédé machine, procédé pièce, cahier des charges...) et de savoir comment y répondre par le biais de charges ou d'additifs ajoutés lors de la phase d'extrusion et de mise en œuvre. Il faut alors de solides connaissances en chimie des polymères pour recycler un plastique qui a vécu dix-sept ans et le remettre au niveau des exigences actuelles. Par exemple, nous utilisons maintenant des matériaux dix fois plus fluides qu'il y a vingt ans pour mouler des pare-chocs (temps de cycle, puissance des presses, épaisseur des pièces...). Il serait illusoire de penser que nous pourrions réutiliser des matériaux avec des fluidités si basses dans des conceptions actuelles. Il faudra donc modifier la fluidité de ces recyclés pour envisager de les réutiliser.

D'une manière générale, l'ensemble des recycleurs filtrent leurs matières recyclées à hauteur de 200 µm en moyenne, ceci pour éliminer les dernières traces de paillettes peinture, de végétaux, d'infondus divers. Cette filtration écarte d'office tout matériau chargé avec des fibres (colmatage des filtres). Aussi, quand nous parlons de matière recyclée fin de vie automobile, il faut essentiellement parler de polyoléfines chargées maximum à 12 % avec des minéraux type talc, carbonate...

Les matériaux

Nous avons pour simplifier trois catégories de polymères en fin de vie : les thermoplastiques, les thermodurs et les composites.

En ce qui concerne les thermoplastiques, ne sont recyclées essentiellement que les polyoléfines (PP et PE) avec une particularité: ce sont des polymères incompatibles dès que vous avez plus de 5 % de l'un dans l'autre. Si dans le broyé qu'il est envisagé de compounder avec une extrudeuse il y a plus de 5 % de l'un dans l'autre, la matière plastique obtenue présente de très faibles caractéristiques techniques. Aussi est-il nécessaire de diminuer ce pourcentage, ou bien d'ajouter un compatibilisant qui va rendre miscible le PE avec le PP

et permettre d'obtenir un plastique avec de bonnes propriétés techniques [3-4].

Très peu de thermodurs sont recyclés en fin de vie. Les quelques procédés existants sont au niveau du pilote et sont peu viables économiquement (thermolyse, solvolyse...). Cela nécessiterait surtout de trier ces matériaux dans les résidus de broyage... il n'y a pas de solution technico-économique.

Dans le cas des composites, si la matrice est de type thermodur, le composite ne sera pas recyclé. S'il s'agit de polyoléfine et que la charge est composée de minéraux à un taux inférieur de 12 %, il peut être recyclé.

La réglementation

Le dernier point est règlementaire : l'ensemble des substances chimiques commercialisées en Europe doit répondre au règlement REACH (Registration, Evaluation and Autorisation of Chemicals) [5-6]. Pour simplifier, ce règlement fait passer en évaluation toxicologique l'ensemble des substances chimiques commercialisées en Europe jusqu'à un volume de 1 t/an. Les substances qui seront considérées comme toxiques ou dangereuses ne devront plus être utilisées pour faire de nouvelles pièces. Cette liste évolue régulièrement en fonction des évaluations réalisées.

Premier problème: des substances que l'on utilisait il y a dix ans peuvent, suite à évaluation toxicologique, s'avérer dangereuses. Nos matières qui ont quinze à dix-sept ans peuvent en contenir... Que fait-on?

Deuxième problème : comment assurer une pérennité de conformité REACH (si conformité suite à analyses par exemple) à des matières dont nous ne connaissons pas la provenance exacte ?

À ce jour, les recycleurs achètent un déchet (non soumis à REACH), le transforment en matière première secondaire, fournissent des fiches de données de sécurité (FDS), mais beaucoup ne le sortent pas officiellement du statut de déchet... sinon il y a obligation de respecter REACH.

Aspect sociétal

Il faut développer les filières de recyclage: il y aura ainsi plus de recyclé sur le marché. Il faut donc en utiliser plus dans les industries, c'est-à-dire que tout le monde dont les différents acheteurs industriels en achètent plus et acceptent de l'acheter à un prix proche du vierge. En effet, si une pièce en recyclé a les mêmes caractéristiques qu'une pièce en vierge, pourquoi la matière recyclée serait-elle moins chère?

Pour développer les filières de recyclage, il faut aussi que le recyclé ne se cantonne pas à des produits « bas de gamme » (faibles caractéristiques, faible prix, faible valeur ajoutée...) mais accède à des produits « haut de gamme ». Il faut que le plastique recyclé prenne la place du plastique vierge sinon « M. Tout-le-Monde » va être contraint d'acheter chaque année vingt pots de fleurs et cinq bancs en polymère recyclé dont il ne sera quoi faire...

Pour conclure sur les freins au développement du recyclé, nous avons vu que, techniquement, tous les plastiques en fin de vie n'étaient pas recyclables. L'investissement pour recycler ce qui est recyclable est conséquent, que ce soit via le démontage de pièces mono-matériau (démonter, stocker, broyer et expédier) ou via le tri après broyage (broyer, stocker, trier et expédier). Les recycleurs ont besoin d'ingénieurs compétents dans le domaine de la chimie des polymères et de commerciaux qui connaissent bien ses clients. L'approche réglementaire pour la prise en compte des recyclés dans

REACH va être une étape importante pour le déploiement des filières de recyclage en Europe. Globalement, toute la filière de recyclage VHU doit monter en puissance pour être capable de proposer des matières recyclées pouvant rivaliser avec des matières vierges, tant sur un point de vue technique qu'économique.

Conclusions et perspectives

Le constat listé ici n'est pas nouveau et les résultats de recyclage des VHU et des plastiques « fin de vie » s'améliorent chaque année, mais nous sommes dans une phase où il nous faut lever les points de blocage pour continuer à avancer.

La réglementation

Il faut que les plastiques recyclés soient inclus dans REACH à la prochaine réouverture du règlement (en 2017 ? 2018 ?), et ce de façon pragmatique. Il faudra améliorer la traçabilité, améliorer les conditions de travail des salariés de la filière, faire des analyses...; cela rassurera le consommateur final, mais il faudra autoriser certaines substances dans les plastiques recyclés à des taux très faibles, sinon il n'y aura plus de recyclage « fin de vie » en Europe.

Le décret 2016/703 impose aux garagistes de proposer des pièces détachées d'occasion à leurs clients dès le 1 er janvier 2017. Sont concernés les pièces de carrosserie amovibles, les vitrages non collés, les pièces optiques, ainsi que certaines pièces mécaniques ou électroniques comme les moteurs, boites de vitesses et organes de transmission. Cela va permettre aux démolisseurs de vendre plus de pièces démontées sur les VHU.

Pour augmenter les volumes, il faut que l'ensemble des VHU passe dans des centres agréés afin ne pas perdre 20 à 25 % de véhicules « fin de vie » traités sans aucune traçabilité et en dépit de règles environnementales et sociales imposées aux centres agréés. Il va par contre falloir plus de traçabilité, plus de protection sanitaire des salariés, plus d'analyses et un catalogue de pièces de rechange plus important.

La technique

- Filière aval (centre VHU/broyeur) : faut-il démonter au maximum puis broyer le reste, ou tout broyer et trier après ? La vérité doit être au milieu et c'est l'équation économique qui fera pencher la balance d'un côté ou de l'autre. Sans écotaxe, cette balance bouge au gré du prix du pétrole et de la ferraille. Ceci dit, il faut se concentrer sur les gros volumes de plastiques et ceux qui sont recyclables réellement, donc, dans un premier temps, optimiser le recyclage des polyoléfines et valoriser énergétiquement les autres plastiques plutôt que de les enfouir.
- Filière amont (recycleur) : il faut des chimistes, des ingénieurs et des commerciaux chez les recycleurs pour pouvoir analyser les entrants et les sortants du procédé, assurer la conformité à la réglementation, optimiser ce procédé et être capable de choisir la bonne chimie à appliquer au moment de l'extrusion pour optimiser la matière recyclée.

Pour cela, il semble inéluctable que l'ensemble de la filière doit se professionnaliser. Plus de la moitié des 1 600 centres VHU en France n'ont aucune certification et beaucoup de VHU sont traités dans des « casses » sauvages. Pour utiliser facilement le logiciel IDIS (logiciel international d'aide au démantèlement des véhicules documenté par tous les

constructeurs), avoir un catalogue complet de pièces détachées d'occasion, avoir du poids face aux broyeurs lorsque le démantèlement est correctement fait..., il faut que les démolisseurs se rapprochent en réseau - environ 70 % des centres VHU n'appartiennent actuellement à aucun réseau.

Les broyeurs doivent continuer à développer leurs compétences et investissements dans le tri des plastiques en se concentrant dans un premier temps sur les polyoléfines. Il faut mettre moins de plastiques en enfouissement et favoriser le recyclage, mais aussi la valorisation énergétique.

Les recycleurs doivent avoir dans leurs équipes des ingénieurs et chimistes pour assurer un niveau de performances élevé et pérenne des recyclés mis au point. Cela passera aussi peut-être par des rapprochements de recycleurs, mais également par des travaux scientifiques avec des laboratoires universitaires car le milieu industriel évoluant sans cesse, les matériaux et par conséquence les recyclés évoluent aussi... Il faut chercher en permanence de nouvelles solutions pour pouvoir concurrencer les plastiques vierges avec ces nouvelles matières premières secondaires. Cela passera sans doute par une maitrise des procédés de purification (lavage. densimétrie...) et de l'extrusion réactive, des connaissances pointues des additifs, de la chimie des polymères et de l'analyse pour rassurer les clients industriels et le client final.

D'un point de vue général, il faut que l'approche « utilisation de matière recyclée fin de vie » ne soit plus vue uniquement du côté économique - « J'utiliserai du recyclé parce que cela sera moins cher » -, mais comme une vraie alternative aux matières vierges avec une vraie valeur ajoutée : elle est recyclée et donc elle n'utilise pas de ressources naturelles!

Equipementiers et constructeurs doivent faire attention aux nouveaux matériaux plastiques utilisés dans les véhicules afin de ne pas avoir d'impacts négatifs sur les filières de recyclage existantes, en prévoyant, par exemple, l'utilisation de recyclé dans ces nouveaux matériaux... qui sont composites pour la plupart.

Enfin, il faut que l'utilisateur final, c'est-à-dire nous tous, considère le plastique recyclé comme une vraie matière première secondaire, qui n'est secondaire que parce qu'elle a une seconde vie.

Notes et références

- Les « divers » (4 % du poids du VHU) constitués des pots catalytiques, des faisceaux électriques, de la peinture et de textiles ont des taux qui oscillent entre et 60 et 100 %, avec une moyenne aux alentours de 56 %. Le verre (3 % du poids du véhicule) est lui recyclé/valorisé à 40 %
- L'agrément ne demande pas que des objectifs de recyclage et de valorisation mais a aussi de nombreuses exigences en termes d'installations industrielles
- (étanchéité des sols, traitement des effluents, etc.). PlasticsEurope, *Plastics the Facts 2016. An analysis of European plastics* production, demand and waste data, www.plasticseurope.org/documents/document/20161014113313-plastics_the_facts_2016_final_version.pdf
- Ademe, Rapport annuel de l'Observatoire de la filière des véhicules hors d'usage. Données 2014, www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/observatoire_vhu_2014_201610_rapport_annuel.pdf
 Viot F., Réflexions autour du recyclage des plastiques. Présentation d'un example congest i la physical plant de vio la función de la función de
- exemple concret: le polypropylène fin de vie, In *Impact environnemental* et sociétal des matières plastiques, Lavoisier, **2014**, chap. 11, p. 299-309.

 Massardier V., Compatibilité des matières plastiques. État de l'art, **2001**, RECORD, www.record-net.org/storage/etudes/00-0904-1A/rapport/Rapport_
- record00-0904_1A.pdf
 Directive REACH n° 1907/2006 EU.
 ECHA, Guidance for monomers and polymers. Guidance for the implementation of REACH, 2012, https://echa.europa.eu/documents/10162/23036412/ polymers_en.pd



Frédéric Viot

est responsable Écoconception et Recyclage, Plastic Omnium Sigmatech*, et président de CREER (Club de Recherche: Excellence en Écoconception et Recyclage).

Plastic Omnium Sigmatech, Avenue du bois des Vernes, F-01150 Sainte-Julie, Courriel: fviot@plasticomnium.com