

# Le polypropylène

en boucle courte<sup>1</sup>,  
une opportunité pour  
le secteur automobile

par



Agathe **ZENI-GUIDO**  
Ingénieur INSA Lyon  
Master ISIGE Fontainebleau



Toni **GALLONE**  
Développement  
Industriel  
RENAULT  
ENVIRONNEMENT

## PRÉAMBULE

*Le recyclage des plastiques PP (polypropylène) s'appuie sur certaines entreprises et entités scientifiques ayant la volonté de faire émerger une filière industrielle Française de produits techniques issus du recyclage des plastiques de véhicules fin de vie. Ces industriels (**MTB Recycling (TREPT)**, **SYNOVA SAS (Tilliers sur Avre)**) ont décidé de collaborer pour échanger les meilleures techniques et envisager des solutions viables et rentables.*

*Le Groupe Renault a une politique volontariste d'intégration de matières recyclées dans ses véhicules depuis Mégane II avec un taux moyen de matières recyclés de 30% à fin 2014. Il est aussi devenu un acteur de référence dans le domaine du recyclage des V.H.U via Indra et le projet Life+ « **Icarre 95** » (démonstrateur industriel de l'atteinte des 95% de valorisation des V.H.U.) et aussi sur la mise en œuvre de programmes d'économie circulaire (remanufacturing de pièces, pièces de réemploi, boucles courtes matières, ...).*

---

**L**e plastique, deuxième famille de matériau majoritaire au sein des véhicules après le métal, voit sa part augmenter dans la composition des voitures. Il répond à de nouvelles fonctionnalités techniques avec des grades à haute performance mécanique. Cependant son recyclage est complexe et les méthodes utilisées : déchiquetage, broyage, tri ; ne s'avèrent pas assez sélectives, induisant des pertes importantes.

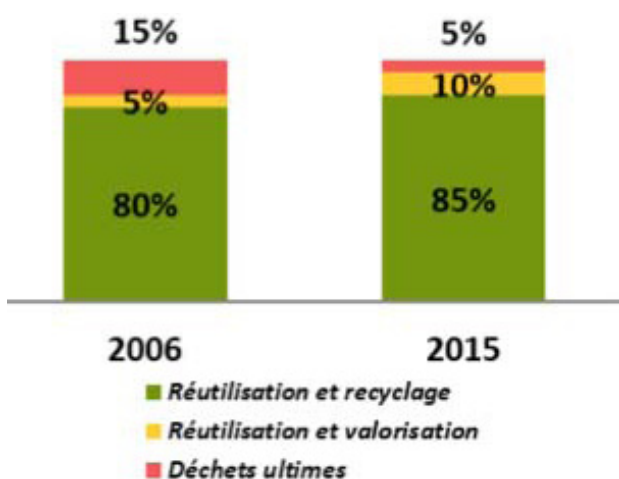
Face à ce constat, le Groupe Renault a lancé une étude visant à augmenter le rendement et la valeur de transformation des matières de type polypropylène (PP) dont l'automobile est un gros consommateur. Chaque année plus d'un million de tonnes est utilisé par les constructeurs européens.

## L'épuisement des ressources, un enjeu à prendre en compte dès maintenant

Les ressources non renouvelables comme le pétrole, nécessaire à la fabrication de la plupart des plastiques vierges, sont amenées à manquer dans le futur. Afin de diminuer la pression sur l'exploitation des ressources naturelles, une alternative serait l'utilisation de **matière première secondaire** c'est-à-dire de matière recyclée. La régénération de plastique permet de plus de diviser par deux la quantité d'énergie nécessaire par rapport au plastique vierge.

## Des objectifs réglementaires ambitieux

Une fois arrivés en fin de vie, les **Véhicules Hors d'Usage (VHU)**, considérés comme des déchets dangereux au regard de la réglementation, doivent être dépollués et valorisés. Afin de répondre aux exigences de la **Directive Européenne 2000/53/CE** les gestionnaires de VHU sont tenus depuis le 1er janvier 2015 de les valoriser à 95% en masse ; dont 85% recyclé et 10% valorisé énergétiquement.



Objectifs de valorisation des VHU selon la directive 2000/53/CE

Conformément au principe de la responsabilité élargie du producteur (REP), les constructeurs automobiles doivent ainsi organiser et favoriser le processus de gestion des déchets issus de leurs produits.

## Le cours des matières, un enjeu de compétitivité

Le cours des matières premières influence le prix de la matière recyclée. En effet, le marché des plastiques recyclés n'est pas encore mature et les prix ne sont pas tout à fait corrélés à la réalité technique ; plutôt que d'être fonction des coûts de transformation, ils sont en grande partie indexés sur le prix de la résine vierge. L'usage de matière recyclée sera uniquement privilégié lorsqu'elle présente un coût inférieur à celui de la matière vierge.

En réponse à ces enjeux, le Groupe Renault travaille activement à l'émergence et à l'optimisation des filières de recyclage pour la valorisation des VHU. Plus d'un million de VHU sont traités chaque année en France, ceci équivaut à un potentiel de matières supérieur à un million de tonnes. L'objectif est double : accroître la valorisation des Véhicules Hors d'Usage et augmenter la quantité de matière recyclée disponible pour un nouvel usage automobile.

*1 Boucle courte : terme utilisé au sein du Groupe Renault pour signifier que les opérations de recyclage, collecte, logistique, préparation et transformation de la matière sont des opérations courtes (géographiquement et réintroduction dans le même secteur).*

La stratégie développée dans ce but par Renault s'inscrit dans le cadre de l'**économie circulaire 2**.

## Développer des boucles courtes pour le propylène (PP)

La demande pour les plastiques recyclés dans l'automobile est croissante. Mais plus de 80% du gisement utilisé est aujourd'hui issu de rebuts de fabrication. L'ambition de Renault est de proposer une alternative qui soit issue des déchets de sa propre filière : les Véhicules Hors d'Usage (VHU). C'est ce que l'on appelle un schéma de recyclage en **boucle courte**, par opposition à la boucle ouverte où la matière recyclée est utilisée dans un autre secteur industriel.

Dans les années 90, le groupe Renault a initié l'introduction du plastique recyclé dans les véhicules. Depuis 2011 il a été plus loin dans sa démarche et a mis en place des boucles courtes de réutilisation de pièces et de matières à travers le projet ICARRE 95 cofinancé

par le programme européen Life +. Les filières ont été développées de la collecte jusqu'au produit final pour trois familles de matières : plastiques, métaux et mousses & textiles.

La boucle courte développée pour le plastique de type polypropylène (PP) consiste à transformer des pare-chocs automobiles (boucliers) et des écrans de passage de roue (EPDR) en matière directement réutilisable pour l'injection de nouvelles pièces automobiles.

Les pièces hors d'usage sont compactées en balle pour faciliter le transport puis broyées et introduites dans une cuve de flottaison afin de trier les différentes qualités de plastique en fonction de leur densité. La matière triée est enfin compoundée : ajout de charges, additifs et/ou matière vierge, pour améliorer les caractéristiques techniques du plastique et correspondre au cahier des charges client.



Balles de boucliers automobiles

La boucle courte sur le PP est le résultat d'une coopération étroite entre divers acteurs, chacun apportant sa compétence :

- **INDRA pour le démontage matière :**

joint-venture de Renault et SITA/Suez Environnement spécialisée dans la déconstruction automobile,

- **SYNOVA pour le développement et la transformation de la matière :**

chimiste transformateur qui crée des compounds à partir de la matière recyclée issue de la boucle,

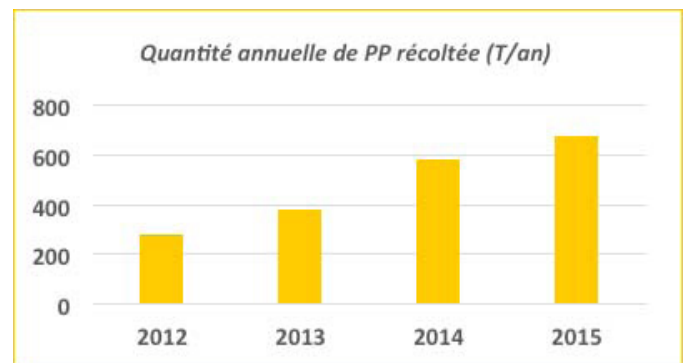
- **Les ateliers des concessions Renault :**

ils récupèrent des Pièces Hors d'Usage (PHU) sur les véhicules qu'ils réparent. Elles contribuent à alimenter la boucle de recyclage.

- **Gaia coordonnateur et acteur de**

**la préparation de la matière :** filiale à 100% de Renault, elle gère la logistique et la vente de matière issue du modèle d'économie circulaire du Groupe. Gaia s'assure également que le processus respecte les différentes attentes des acteurs de la chaîne.

Les volumes de PP récoltés par Gaia augmentent chaque année. Les 680 tonnes de PP récupérées en 2015 représentent l'équivalent de près de 42 000 véhicules auxquels on aurait retiré les pare-chocs avant et arrière ainsi que les EPDR.



Balles de boucliers automobiles

## Les freins au recyclage du polypropylène

La préparation de la matière génère de nombreuses pertes : lors du broyage et du séchage de la matière mais surtout lors de l'étape de flottaison. Cette méthode densimétrique est utilisée pour séparer les différents grades plastiques. Plusieurs difficultés affectent cette séparation. Tout d'abord les plages de densité des différents plastiques sont concentrées entre 0,9 et 1,4. D'autre part la présence de charges dans les matériaux comme les charges minérales, les fibres naturelles, les fibres de verre... va augmenter la densité de la matière qui va couler lors de la flottaison. Une part non négligeable de PP (chargé au-delà de 15%) va ainsi couler dans les bains de densité 1.02, valeur généralement fixée dans les installations de flottaison (densité de l'eau sale). La fraction coulante sera considérée comme du déchet et perdue pour une éventuelle valorisation.

2 L'économie circulaire s'inspire de la nature et du fonctionnement cyclique des écosystèmes. L'objectif de ce nouveau modèle est de passer d'un schéma linéaire (extraire, fabriquer, utiliser, jeter) à un schéma sous forme de boucle. En France, la notion d'économie circulaire a été inscrite récemment et pour la première fois dans le code de l'environnement, via la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte (été 2015).



Le schéma de traitement suivi actuellement par la majorité des recycleurs est basé quasi-exclusivement sur la densimétrie et les coulants sont peu voire non valorisés. Ainsi en moyenne un quart de la matière injectée dans la boucle courte est écartée. Cela constitue une perte importante qui se traduit par un double coût : d'abord pour son achat, son transport et le traitement qu'elle subit ; ensuite pour la gestion de sa fin de vie par stockage ou valorisation énergétique.

Les perspectives d'optimisation du traitement et du tri des plastiques automobiles doivent se focaliser sur un **taux de récupération de matière** le plus élevé possible tout en conservant une **bonne qualité de produit** en sortie. Afin d'optimiser ces paramètres il est nécessaire de connaître les caractéristiques du flux entrant, pour pouvoir adapter le tri à la récupération des matières visées et l'élimination des autres.

## A quoi ressembleront nos VHU en 2030 ?

L'âge moyen des véhicules réceptionnés en centre VHU a tendance à augmenter, il est de 17,5 ans en 2014.

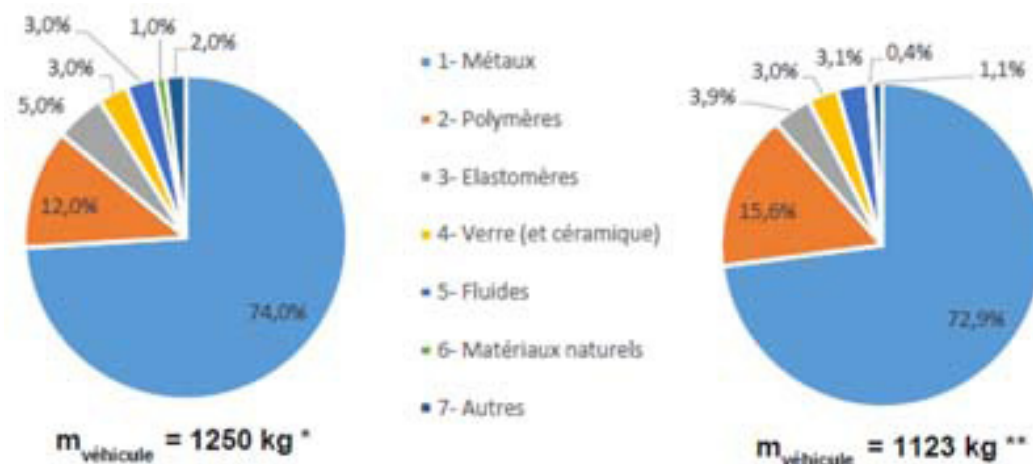
C'est-à-dire que les véhicules actuellement sur le marché arriveront en fin de vie à l'horizon 2030.



Une analyse de la composition des véhicules récents a permis d'identifier l'évolution probable de la composition des futurs VHU ; ils contiendront en moyenne 25 kilogrammes de plastique supplémentaires. Ces estimations rendent compte d'un **accroissement de l'utilisation de matières plastiques dans l'automobile**, souvent en substitution de

pièces auparavant en métal ou bien pour ajouter des pièces esthétiques et/ou de confort en intérieur habitacle.

Il faut cependant bien distinguer la fraction facilement démontable constituée de plastiques homogènes, de celle plus hétérogène : plastiques multi-matières, inserts métalliques, élastomères...



Estimation de la composition des VHU en 2015 (à gauche) et en 2030 (à droite)

## Focus sur le bouclier automobile

Le bouclier automobile est un élément de sécurité obligatoire sur tous les véhicules, il s'agit de la partie basse de la carrosserie à l'avant et à l'arrière qui permet de protéger contre les chocs car il est déformable. Il est généralement en plastique mais sa matière et sa décoration sont variables : peint ou non dans la couleur de la carrosserie, insertions chromées ou aluminium, pièces décoratives...



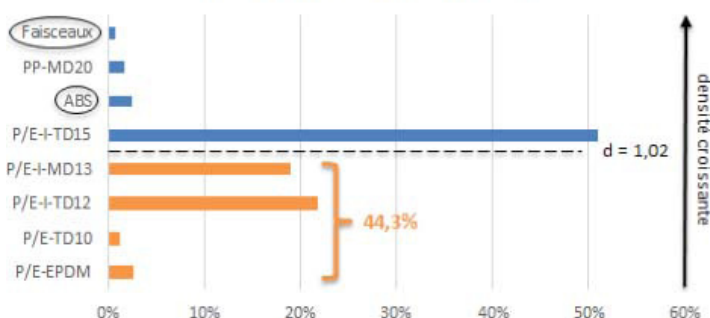
Bouclier avant Renault Captur (2013)

L'étude de la composition de boucliers sur différentes marques et modèles montrent qu'ils sont constitués quasi-exclusivement de

polyoléfines 3, que ce soit à l'avant comme à l'arrière (à plus de 91%). Cette concentration est intéressante dans le cadre de la valorisation matière des pièces, d'autant que cette tendance est constatée sur plusieurs véhicules de marques différentes.

Par exemple, le bouclier avant du Renault Captur contient seulement 44,3% de matière dont la densité est inférieure à 1,02 ; ce qui signifie que 4,7 kg de matière vont couler dans le bain et être perdus.

Bouclier avant du Renault Captur



Composition du bouclier avant du Renault Captur

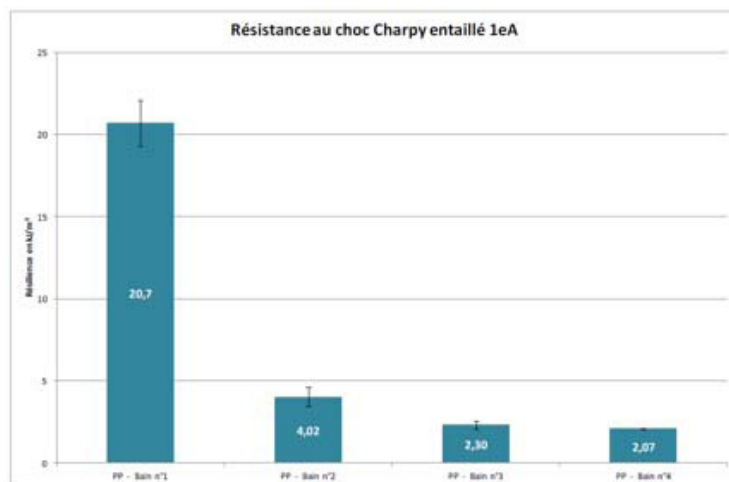
## Un changement de schéma de traitement nécessaire

L'étude estime que si l'on traitait un lot de boucliers multi-constructeur de futurs VHU 2030 selon le procédé actuel, il y aurait au final une perte supplémentaire de matière de 9,5% en moyenne. C'est-à-dire que si l'on ne fait aucune modification, **les rendements de récupération de matière vont inévitablement baisser dans le futur.**

Ce phénomène va s'aggraver dans le temps, il faut donc dès maintenant réfléchir à des modifications du process de broyage / lavage / flottaison permettant de diminuer les pertes pour une meilleure valorisation du PP issu de VHU.

La proposition de l'étude s'attache à éliminer les impuretés : polymères styréniques 4, mousses et films. En effet, les styréniques ont un effet néfaste s'ils restent dans le compound final de PP ; la résistance au choc par exemple chute drastiquement.

Pour éliminer ces indésirables, l'usage de technologies de type aéraulique comme le zig zag ou la table densimétrique sont particulièrement intéressants. Une autre proposition est l'usage de la **séparation électrostatique** pour un surtri des coulants.



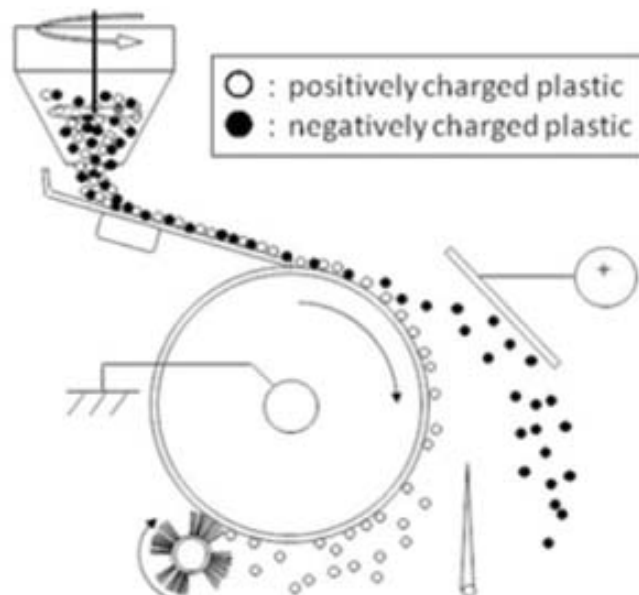
Résultat des caractérisations au choc Charpy d'éprouvettes issues de quatre lots.

La densité moyenne des échantillons va croissante : 1,008 / 1,046 / 1,052 / 1,056 avec la densité des bains de séparation. La résistance au choc est divisée par plus de quatre entre le bain 1 et les autres, ceci est dû à une densité de bain supérieure dans les bains 2, 3 et 4 qui a engendré la flottaison de matières de type styrénique.

Cette technique permet de trier les particules selon la charge qu'elles acquièrent ; au lieu de la densité habituellement utilisée. Or c'est bien le recouvrement des plages de densités des polymères (et d'autres éléments à écarter comme les élastomères ou le bois) qui pose le plus de problème.

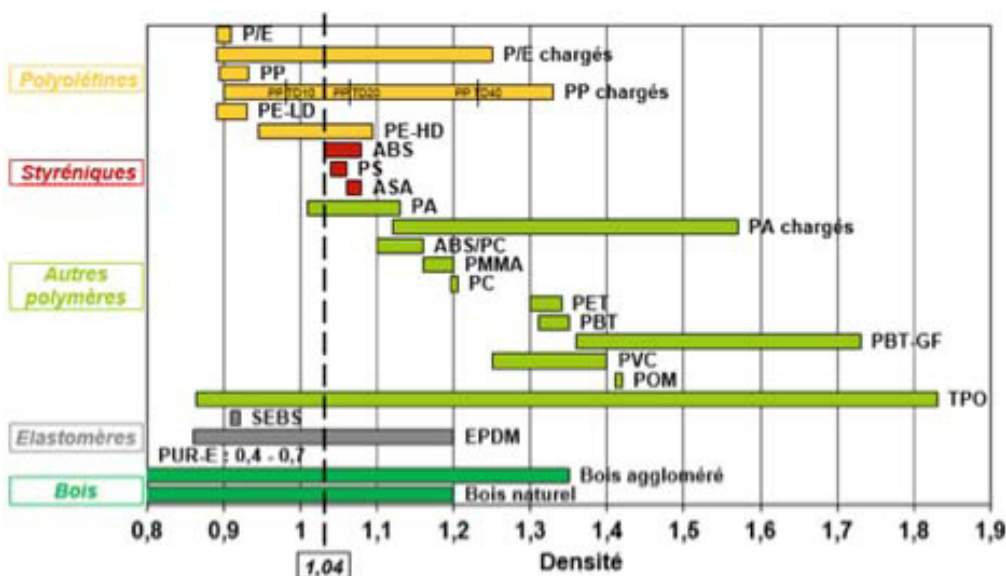
Le tri électrostatique repose sur l'aptitude des particules à se charger positivement ou négativement, il existe deux moyens de charger les particules : les soumettre à un champ électrique (charge Corona) ou bien les charger par friction intensive entre elles (charge électrostatique). La première technique est adaptée à la séparation des conducteurs des non-conducteurs, la deuxième convient bien à la séparation des plastiques. Dans tous les cas, les matières à traiter doivent impérativement être propres et sèches (humidité inférieure à 0,1%). La taille des fragments est variable entre 1 mm et 1 cm.

L'usage de cette technique permettrait d'obtenir divers flux à valoriser séparément. Elle présente un intérêt pour la réduction de la quantité de déchets et permettrait d'ouvrir la voie à une nouvelle opportunité : créer un marché pour le PP chargé régénéré. De plus, l'ABS également contenu dans les coulants de flottaison pourrait être récupéré de la même manière et bénéficier des avancées techniques réalisées pour le PP.



Principe de la séparation électrostatique 5

Les particules de plastique sont chargées par friction dans un tambour rotatif. Elles échangent des électrons entre elles : une matière devient positivement chargée et l'autre négativement. Les particules chargées - sont attirées par l'électrode chargée +.



Recouvrement des plages de densité

## Traiter des flux multi-sourcing

La matière plastique issue de pièces démontées sur les VHU devra être traitée en complément d'autres sourcing pour massifier davantage les flux, utiliser la capacité maximale de traitement de la ligne et augmenter l'intérêt de l'optimisation de la ligne de tri. Ceci doit s'accompagner d'une demande client plus importante pour la matière recyclée.

L'augmentation de volumes « entrants » pourrait provenir des Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques (DEEE) ou bien

des déchets d'emballage divers, comme par exemple ceux issus de l'extension des consignes de tri (barquettes, films plastiques, pots de yaourts ...). Ces déchets pourraient être traités en différentes campagnes sur la ligne. Ces secteurs sont en effet confrontés aux mêmes problématiques : diversité des matériaux sur un produit et tri de matériaux mélangés en fin de vie ; même si les résines polymères employées sont assez différentes de celles du secteur automobile.

<sup>3</sup> Les polyoléfines sont une famille de polymères dont font notamment partie le polypropylène (PP) et le polyéthylène (PE). Ils ont la particularité de flotter dans l'eau claire (densité inférieure à 1).

<sup>4</sup> La famille des polymères styreniques comprend tous les polymères issus du monomère styrène, comme par exemple le polystyrène (PS), l'acrylonitrile-butadiène-styrène (ABS), l'acrylonitrile-styrène-acrylate (ASA)...



## Augmenter la technicité des résines recyclées

Les plastiques recyclés sont pour le moment utilisés surtout pour des pièces peu techniques ou non visibles. Lorsque les flux de matières à transformer ou à transporter ont une valeur relativement faible la compétitivité est plus difficile à atteindre (coûts fixes de transport). Il est alors intéressant de s'orienter sur des applications à plus haute valeur ajoutée comme les pièces visibles en intérieur habitacle.

Par exemple, dans la Clio IV restylée (2016) les plastiques recyclés sont utilisés majoritairement dans le bouclier ou les EPDR. L'habillage intérieur premier débouché en masse des plastiques de la Clio avec près de 40 kilogrammes, contient au contraire très peu de matières recyclées. Il y a donc une grande marge de progression et surtout un débouché très important pour des polymères techniques à développer en recyclé. Cette évolution est possible à condition de respecter certaines logiques de traitement : exclusion de matières PP souillées (batterie, réservoir, résidus de broyage automobile...) et des matières plastiques indésirables (PUR, POM, PMMA, styréniques...).

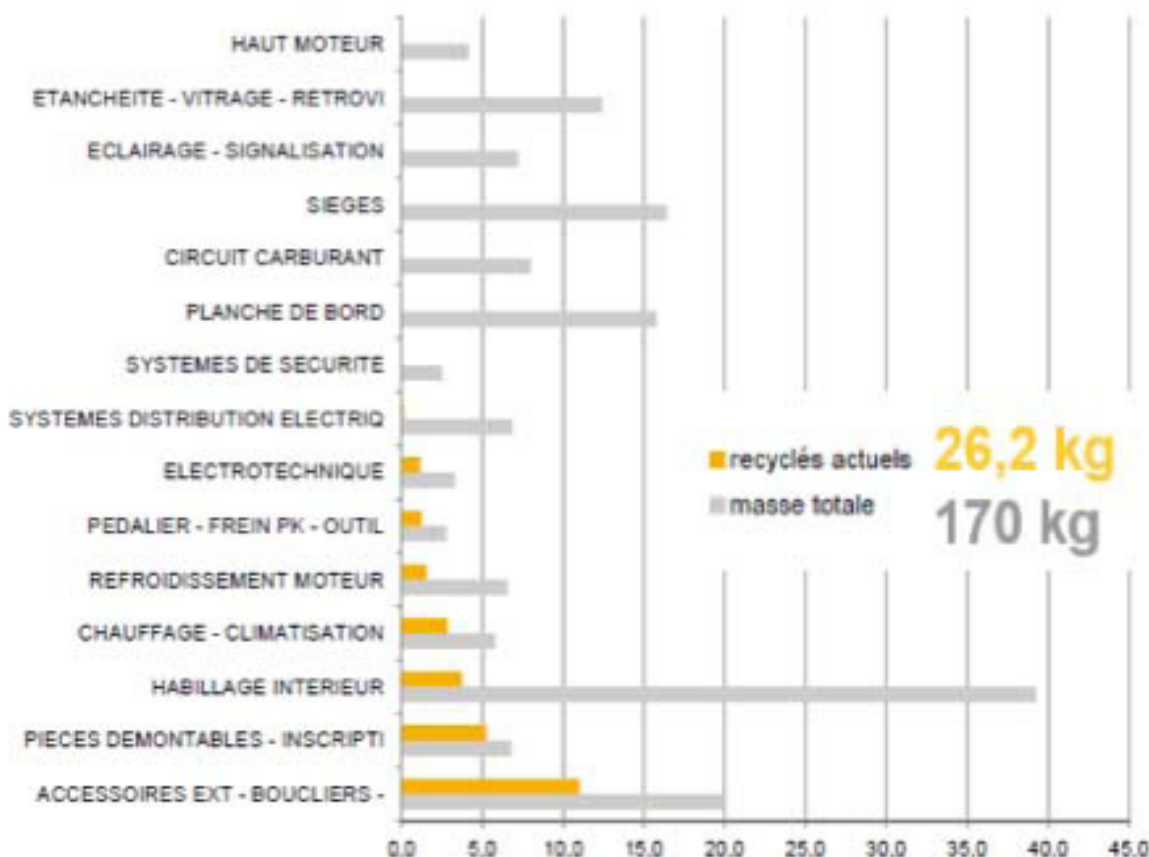
La qualité sortante admissible devient

incontournable pour des grades techniques, les problématiques rencontrées sont différentes pour les pièces destinées à l'intérieur ou à l'extérieur du véhicule :

- pour la validation des matières en intérieur visible les caractéristiques **d'aspect (couleur et texture), l'odeur et les émissions de COV** doivent être maîtrisés,
- pour les accessoires extérieurs les freins sont plutôt liés à la **mise en peinture** et la **durabilité (vieillesse, ensoleillement, tenue de la peinture)**

Dans les deux cas, la fluidité des matières doit être contrôlée pour permettre la mise en œuvre des pièces avec ces matières recyclées.

Les applications des plastiques automobiles sont multiples et demandent des niveaux de technicité différents. Il est pertinent de développer différentes qualités de matière, ceci permet de limiter les pertes lors du tri et de proposer une réponse pour des applications diverses. Les cahiers des charges automobiles restent néanmoins très exigeants et de nombreux critères doivent être vérifiés pour pouvoir utiliser des matières plastiques recyclées dans ce secteur.



Répartition massique des plastiques vierges et recyclés au sein de la Renault Clio IV re stylée (2016), Gérard Liraut  
5 Source : <http://www.hitachizosen.co.jp/english/technology/hitz-tech/material.html>



## Enseignements de l'étude

L'étude a permis de mettre en avant des points indispensables pour la mise en place d'une ligne de traitement et de tri optimisée pour la valorisation des plastiques :

- la nécessité d'un volume important de matière plastique à traiter,
- des sourcings multiples : VHU, DEEE, déchets ménagers etc.
- une compétence en interne pour l'utilisation d'équipements tels que la flottaison, la table densimétrique, le séparateur électrostatique...
- l'obtention de flux de différentes qualités pour minimiser les pertes,
- a recherche de débouchés pour ces flux : le broyé/flotté de PP ainsi que le flux d'ABS et de PP chargé,
- l'association avec un compounder capable de transformer les flux obtenus pour des besoins spécifiques clients.

## CONCLUSION

La régénération des plastiques automobiles et notamment du polypropylène présente un gros potentiel pour une nouvelle source d'approvisionnement du domaine automobile tout en permettant de répondre aux objectifs réglementaires de valorisation des VHU.

L'optimisation du schéma de traitement et de tri contribue à la **compétitivité de ces matières recyclées**. L'augmentation du rendement de récupération du PP se traduit ainsi par une **meilleure rentabilité**, un **renforcement de la chaîne de valeur du recyclage** et une ouverture au **développement de nouveaux grades techniques**.

Les recycleurs voient leurs revenus augmenter, les pertes de matière supportées par Renault sont moindres et les grades développés peuvent contribuer à alimenter les 52 000 tonnes de plastiques recyclés consommés annuellement par le groupe. L'ambition est d'augmenter durablement les tonnages.

---