



**RE.CO.R.D.**

**ETUDE N° 96-0901/1A**

**SYNTHESE DE L'ETUDE**

**FRANÇAIS**

**ÉTAT DE L'ART CONCERNANT LES METHODES DE TRI  
DES MATIERES PLASTIQUES**

**mars 1998**

**J.-J. ROBIN - CEREMAP MEZE**

Annuellement, plus de 4 millions de tonnes de matières plastiques sont consommées en France. De par la grande diversité de propriétés de ces produits, nous sommes en contact journalier avec ces résines que l'on retrouve dans de nombreux secteurs d'activités : emballages (industriels et ménagers), transports, bâtiments, travaux publics, agriculture, produits électriques - électroniques, bureautique, biens d'équipements ménagers, ...

La multitude de niches d'applications que trouvent les matières plastiques conduit à la génération de déchets très variés, qu'ils soient issus d'unité de fabrication ou collectés après usage (post-consommation).

Outre le fait qu'il existe un nombre conséquent de résines, les déchets de matières plastiques se retrouvent sous des formes variées, dans des états de souillures propres à leur utilisation et/ou à leur stockage, en quantités inégales, sous forme de gisements monomatière ou en mélange. Autant de complexités à résoudre dans le cadre de la problématique de la séparation des matières plastiques entre elles, ce qui a conduit au développement de procédés de tri s'appuyant sur les nombreuses caractéristiques de ces matières.

Le présent ouvrage présente une **première approche théorique** de la séparation des matières plastiques, en développant l'ensemble des technologies mise en œuvre à ce jour :

- 1) le **tri manuel**, souvent effectué à la SOURCE, et basé sur un choix de matériaux à conserver ou à éliminer d'un lot en fonction de critères définis au préalable
- 2) la **fragmentation**, mettant en jeu le comportement des matériaux lors des différentes étapes de réduction de taille envisageable
- 3) le **criblage**, qui est une opération de classement dimensionnel, intervenant souvent en aval d'opération de fragmentation
- 4) les **classifications hydraulique et pneumatique** (incluant les procédés de concentration gravimétrique), basées sur les phénomènes régis par les lois du mouvement des solides dans les fluides, le fluide étant respectivement un liquide ou un gaz
- 5) la **séparation par fluide supercritique**, dérivée des procédés de concentration gravimétrique, mettant en oeuvre des fluides dans des conditions de température et de pression supercritiques
- 6) le **tri balistique**, basé sur le mouvement des projectiles dans l'air
- 7) la **flottation-moussage**, mettant en jeu un fluide et un ou plusieurs additifs ayant pour rôle de modifier le comportement de surface des solides vis à vis du fluide
- 8) le **tri magnétique**, faisant intervenir les capacités d'aimantation des particules (cette technique concerne la séparation plastiques / métaux ; elle est très souvent appliquée en amont des lignes de régénération des matières plastiques)
- 9) le **tri électrostatique**, basé sur les phénomènes de répulsion / attraction de particules chargées entre elles
- 10) la **dissolution sélective**, régie par la dissolution des polymères dans des solvants spécifiques

- 11) le **tri par détection**, mettant à profit les propriétés optiques ou thermiques des polymères (nature des polymères, couleur, réflexion / transmission de la lumière, opacité, fluorescence, dégradation, ...)
- 12) le **tri par voie thermique**, basé sur les différences de comportement à la chaleur des polymères

Chacune de ces techniques peut être utilisée séparément, mais dans la plupart des applications industrielles, des combinaisons de plusieurs d'entre elles ont souvent été développées afin d'atteindre et d'optimiser la séparation des matières plastiques recherchées.

La seconde partie de cet ouvrage expose ces mêmes technologies de séparation, au travers de cas concrets développés à l'échelle industrielle ou au stade R&D, pour le traitement de déchets de matières plastiques issus de divers secteurs d'activités tels les déchets ménagers, les films photographiques, le secteur automobile, les produits électriques / électroniques, les textiles et le B.T.P..

### *Déchets ménagers*

La valorisation des emballages plastiques issus des déchets ménagers fait toujours l'objet de développements, et a été le premier secteur étudié dans le cadre de la valorisation matière des plastiques, incluant des étapes de séparation de plus en plus sophistiquées.

Il est nécessaire de mentionner que l'ensemble des technologies citées s'applique à des gisements de déchets de plastiques ménagers issus de la collecte sélective (un premier tri à la source est effectué par les consommateurs). Par la suite, un second tri (manuel ou automatique) par famille de corps creux est réalisé en centre de tri.

La macro-séparation a été le premier type de procédé qui a été automatisé pour le traitement des corps creux issus des déchets ménagers. On la retrouve dans la plupart des procédés de tri impliquant une séparation par détection.

A ce jour, de nombreux développements techniques ont donné naissance à des technologies d'identification des matières plastiques très fiables et opérationnelles, mettant en oeuvre essentiellement la spectroscopie infrarouge, la fluorescence X, le tri par couleur. Un frein persiste cependant quant au débit (de 500 Kg à 1 T/h) et à l'efficacité des séparations par détection, non pas limités par les capteurs (qui fonctionnent encore en sous-capacité), mais par la « mécanique » de tri mise en œuvre lors du déballage des déchets, de leur présentation devant les capteurs et de leur éjection / non-éjection. Cette « mécanique » de tri pose encore de nombreux problèmes à l'échelle industrielle.

La séparation par concentration gravimétrique (flottaison, hydrocyclonage) trouve aussi de nombreuses applications industrielles dans le domaine des déchets ménagers, mais elle ne permet pas toujours d'atteindre des taux de pureté très élevés. Une étape de sur-tri peut être mise en œuvre par la suite pour affiner la pureté des fractions plastiques récupérées.

La séparation électrostatique se situe dans les procédés de microséparation et intervient sur des paillettes de corps creux de granulométries inférieures à une dizaine de millimètres. Elle ne peut pas être appliquée seule, mais intervient dans des étapes de purification après traitement de fractions plastiques par les procédés de flottaison, de tri par détection, ou autres, afin d'affiner la séparation. En ce qui concerne les déchets de corps creux ménagers, cette technologie est appliquée au niveau industriel en sur-tri, afin d'extraire une fraction PVC résiduelle, polluant un gisement de PET.

Bien que conduisant à des taux de pureté et d'efficacité très satisfaisants, les procédés de séparation par flottation/moussage, par fluide supercritique, ou encore par dissolution sélective, présentent des coûts d'investissement, de fonctionnement et/ou environnementaux qui ne permettent pas de réellement développer, à ce jour, une activité industrielle rentable pour le traitement des corps creux. Les résultats de séparation obtenus à l'échelle semi-pilote n'en demeurent pas moins intéressants.

### *Films photographiques / radiographiques*

Il existe différents types de films polyesters utilisés dans les secteurs de la photographie, du cinéma, de la radiographie,..., et il est nécessaire de les trier entre eux avant toute autre opération. Ainsi, il convient de séparer :

- les films PET, des films en triacétate de cellulose,
- les films bleus (radiographie), des films transparents (cinématographie),
- les films avec argent, des films sans argent,

avant d'appliquer un procédé de régénération, propre à chaque catégorie citée ci-dessus.

Cependant, le développement, depuis les années 70, du traitement des films photographiques et radiographiques repose essentiellement sur la récupération de l'argent présent sur ces films. Les procédés développés s'attachent exclusivement à la valorisation de l'argent, la fraction plastique n'étant qu'un sous-produit du procédé. C'est pour cette raison que de nombreux procédés font intervenir des traitements chimiques des films photographiques et radiographiques, sans s'attarder outre mesure sur la problématique de la valorisation matière du support (en PET ou en triacétate de cellulose).

### *Automobile*

La complexité du nombre de plastiques présents dans les véhicules automobiles, ainsi que les différentes formulations existantes, rendent difficiles les opérations de recyclage. La valorisation de ces matériaux peut suivre deux voies bien identifiées qui sont :

- 1) le **démontage** des pièces intéressantes, parmi lesquelles certains pare-chocs, les batteries, ...  
Sont ajoutés à ces pièces issues du démontage des déchets provenant des **rebuts de production** ou des **échanges standards** réalisés sur les véhicules.

2) le **broyage** de tout le reste du véhicule. Les pièces plastiques non accessibles ou ne présentant pas d'intérêt majeur sur le plan économique, se retrouvent dans les **résidus de broyage (R.B.)** avec d'autres matériaux, bien que ces pièces puissent représenter une fraction non négligeable du poids total des matières plastiques.

Ces deux approches ont été développées dans cette étude afin d'identifier les techniques de séparation appliquées au traitement des déchets issus du secteur automobile, qu'ils proviennent de rebuts de production ou bien de véhicules en fin de vie.

Les pièces issues du démontage sont parfois fortement complexes, car constituées de l'assemblage d'éléments en diverses matières, y compris des inserts métalliques. De ce fait, les techniques de séparation pour ce type de produits sont assez variées.

Dans le cas du traitement de ces pièces, le broyage différentiel et les classements dimensionnel et pneumatique sont souvent utilisés en milieu industriel, pour atteindre des taux de pureté satisfaisants. Les équipements de détection manuelle des pièces plastiques par spectroscopie infrarouge et pyrolyse infrarouge sont opérationnelles. Mais de nombreux travaux de R&D sont en cours, notamment en ce qui concerne les technologies de séparation par tri électrostatique et par concentration gravimétrique.

La complexité de la fraction plastique présente dans les résidus de broyage (qui ne représente, de plus, que 20 à 25 % du tonnage de ces R.B.), rend leur valorisation difficile et il est économiquement impossible, en l'état actuel des techniques existantes, de vouloir les purifier à l'extrême pour envisager un recyclage monomatière à l'échelle industrielle. De nombreux travaux sont toutefois réalisés en R&D (notamment par les procédés de flottaison et de dissolution sélective), afin d'enrichir des fractions en certains composants de base : cette approche est avancée dans le cadre de valorisation matière.

Une seconde voie de traitement de ces R.B. s'oriente sur la valorisation énergétique. Mais les R.B. contiennent une teneur en chlore trop importante pour être acceptés en tant que combustibles, notamment dans les cimenteries. L'enjeu actuel est l'extraction des produits chlorés présents (PVC, caoutchoucs chlorés) : de nombreuses études sont actuellement en cours, mais aucune d'entre elles n'a encore fait l'objet d'une industrialisation.

### *Produits électriques / électroniques*

Le secteur des produits électriques et électroniques développe et applique depuis peu les technologies de séparation des matières plastiques. Peu de données sont à ce jour disponibles, l'enjeu du recyclage des matières plastiques issues de ces appareils étant nouveau.

Le traitement industriel des câbles électriques et de télécommunications a été développé depuis plusieurs années déjà, de par l'intérêt important que représente la récupération des métaux. On y retrouve des procédés de classifications hydrauliques (flottaison, table à eau, flottation-moussage), de tri magnétiques et électrostatiques.

Les produits "blancs", qui regroupent tous les produits électro-ménagers et les petits appareils de cuisine, sont, dans la plupart des cas, absorbés avec les résidus de broyage

automobile. Peu de procédés spécifiques à ces produits existent à ce jour. Des études de R&D sont axées sur le développement du broyage différentiel et de la classification dimensionnelle.

Enfin, les produits "bruns", qui regroupent les équipements informatiques, bureautiques, la hifi, la téléphonie, ..., se retrouvent très dispersés et ne suivent pas encore de filière bien établie. Le tri à la source semble dominer pour ce type de produits. Pour cela, des équipements de détection manuelle par spectroscopie infrarouge sont opérationnels depuis peu.

Cependant, les procédés de séparation appliqués aux déchets électriques / électroniques ont été développés initialement dans un but de valorisation des fractions métalliques, les matières plastiques étant considérées comme des produits indésirables, pour lesquels les débouchés ne sont pas clairement identifiés.

### *Textiles : moquettes*

La structure complexe des moquettes, obtenue par assemblage de plusieurs couches de matières diverses, rend leur recyclage assez spécifique. Les trois composants de base des moquettes sont les fibres (essentiellement en polyesters PET, PA, mais aussi en PP, laine, ...), le renfort en polyoléfine (souvent du PP) et le liant (en latex ou en SBR), pouvant comporter des charges minérales. Il n'existe que peu de procédés de séparation physique de ces matériaux, l'intérêt principal actuel dans cette démarche étant la récupération du PA6 pour la régénération de l' $\epsilon$ -caprolactame.

Ainsi, de nombreux procédés de séparation sont étudiés en R&D, mais ne font pas l'objet d'industrialisation à ce jour. Les technologies de séparation des fibres de moquettes par détection infrarouge ont aussi été développées, mais une difficulté persiste quant à la mécanique de la séparation : désenchevêtrement et présentation des fibres devant le capteur, extraction,...

### *B.T.P.*

Selon des estimations récentes de SOFRES Conseil <sup>(225)</sup>, les déchets de matières plastiques trouvant leur origine dans le secteur du B.T.P. représentent environ 0,5 % de l'ensemble des déchets de la construction / déconstruction / réhabilitation, évalués au total à 230 millions de tonnes par an. Mais les déchets de matières plastiques issus de ces chantiers sont aujourd'hui difficiles à extraire car en quantités infimes et éparées. Dans cette catégorie de déchets, les matières plastiques sont plutôt considérées comme des "indésirables" et ne sont pas traitées.

Par contre, les rebuts de production et les chutes de pose sont plus facilement récupérés. Le développement d'unités de valorisation s'est essentiellement basé sur la récupération du PVC provenant des profils de fenêtres. Les technologies utilisées sont la classification pneumatique et le tri couleur des pièces.

# Sommaire de l'ouvrage

## Introduction

1

### GENERALITES SUR LES TECHNIQUES DE SEPARATION DES MATIERES PLASTIQUES

1 - Tri manuel	4
2 - Fragmentation	6
3 - Criblage	8
4 - Classifications hydraulique / pneumatique	10
5 - Séparation par fluide supercritique	15
6 - Tri balistique	17
7 - Flottation - moussage	18
8 - Tri magnétique	21
9 - Tri électrostatique	22
10 - Dissolution sélective	25
11 - Tri par détection	27
12 - Tri par différence de comportement à la chaleur	35
<i>Cas particuliers : l'extrusion-filtration</i>	37

### APPLICATIONS

<b>A - DECHETS MENAGERS / CORPS CREUX</b>	40
A.1 Séparation par détection	41
A.2 Séparation électrostatique	51
A.3 Autres procédés	53
<b>B - FILMS PHOTOGRAPHIQUES / RADIOGRAPHIQUES</b>	55
B.1 Traitement par voie chimique	55
B.2 Procédés par voie enzymatique	57
B.3 Procédés mécaniques	58
<b>C - AUTOMOBILES</b>	59
C.1 - Pièces démontées	59
1.1 Séparation par procédés mécaniques, voie sèche ou mixte	59
1.2 Séparation par procédés mécaniques, voie humide	65
1.3 Comparaison générale des techniques en voie sèche / voie humide	67
1.4 Procédés incluant des technologies de détection	68
C.2 - Résidus de broyage	71

<b>D - PRODUITS ELECTRIQUES ET ELECTRONIQUES</b>	<b>74</b>
<b>D.1 - Déchets de câbles</b>	<b>74</b>
1.1 Séparation par procédés à sec	74
1.2 Séparation par procédés en voie humide	75
1.3 Séparation par procédés mixtes	76
<b>D.2 - Déchets types cartes électroniques / circuits imprimés</b>	<b>77</b>
<b>D.3 - Traitement des produits blancs et bruns</b>	<b>79</b>
3.1 Séparation par procédés mixtes	79
3.2 Séparation par détection manuelle ou automatique	81
<b>D.4 - Traitement de déchets divers</b>	<b>84</b>
4.1 Séparation par procédés à sec	84
4.2 Séparation par procédés en voie humide	84
<b>E - TEXTILES : Moquettes</b>	<b>85</b>
D1 - Procédés de séparation en voie sèche	85
D2 - Procédés de séparation en voie humide	87
D3 - Procédés de séparation par détection	89
<b>F - BATIMENT - TRAVAUX PUBLICS</b>	<b>91</b>
<b>Conclusions</b>	<b>93</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	<b>94</b>
<b>ANNEXES</b>	<b>108</b>
• Compte-rendu de visite	108
* Brüker Spectrospin	108
* Herbold	113
* KHD Humbold	117
* Pallmann	119
* Result SA	123
* Result SA	125
* TU Delft	131
* Veka	
• Tableaux d'adresse	133
• Glossaire	137
<b>LISTE DES FIGURES</b>	<b>139</b>