



RE.CO.R.D.

ETUDE N° 00-0905/1A

SYNTHESE DE L'ETUDE

FRANÇAIS / ANGLAIS

**1° - ETAT DE L'ART CONCERNANT LES GRANDS PROCEDES DE
MISE EN OEUVRE DES MATIERES PLASTIQUES ISSUES DE
PROCESSUS DE REGENERATION DE DECHETS**

**2° - EFFICACITE ECONOMIQUE DES FILIERES DE RECYCLAGE DES
PLASTIQUES**

janvier 2003

M. MELAS - CEREMAP

Fiche de Synthèse

La présente étude se propose de faire un point complet sur les technologies existant dans le domaine de la transformation des matières plastiques régénérées en vue de la fabrication de produits finis ou semi-finis. Tous les procédés, sans exception (extrusion, intrusion, compression, injection hautes et basses pressions...), permettant de mettre en œuvre une matière plastique, quel que soit le processus de régénération dont elle est issue, ont été examinés dans le détail. Il s'agit d'aborder, par une analyse technique et économique, les technologies actuellement employées par l'industrie du recyclage ou en cours de développement, constituant ainsi une aide précieuse à la décision pour les techniciens et les entrepreneurs désireux de faire des acquisitions.

Cet "Etat de l'Art" sur les technologies de mise en œuvre se positionne tout naturellement après les deux études réalisées précédemment par le CEREMAP : "Etat de l'Art concernant les méthodes de tri des matières plastiques" et "Etat de l'Art concernant les grands procédés de régénération des déchets de matières plastiques en vue de leur recyclage sous la forme de produits finis".

Afin de réaliser une analyse complète dans le domaine, le CEREMAP a ensuite tenté de lier ces trois études pour la mise au point d'une méthode permettant de démontrer l'efficacité économique des filières de recyclage mécanique des déchets de matières plastiques.

1^{ère} PARTIE

ETAT DE L'ART CONCERNANT LES GRANDS PROCÉDES DE MISE EN ŒUVRE DES MATIÈRES PLASTIQUES ISSUES DE PROCESSUS DE RÉGÉNÉRATION DE DÉCHETS.

Les gisements

L'étude porte sur les technologies permettant de traiter les déchets de matières plastiques les plus fréquemment rencontrés. Ces dernières sont exclusivement des thermoplastiques, pouvant être chargés, et provenant de produits de post consommation issus des gisements suivants :

- Emballages
- Agriculture
- Automobile
- Electrique / Electronique
- BTP

Une analyse économique de ces différents gisements est abordée dans le document.

Etude technique

Un inventaire complet des technologies actuellement utilisées dans la mise en œuvre des matières plastiques issues ou non de processus de régénération a été réalisé. Après un bref passage en revue des procédés classiques de transformation des matières plastiques à partir de granulés provenant de matières recyclées, l'effort s'est porté sur les technologies de mise en œuvre directe, c'est à dire, sans passage par une phase intermédiaire de granulation. En effet, jusqu'à maintenant, bon nombre de techniques de recyclage découlent de la transformation de matières plastiques vierges. On s'intéressera donc ici aux procédés permettant la production directe de produits finis ou semi finis à partir de matières pré-traitées (broyage, lavage si nécessaire...). Un tel cheminement permet une réduction des coûts et limite les dégradations de la matière dues à la fusion occasionnée par la phase de granulation.

Ce travail a été réalisé en essayant de déterminer les relations pouvant exister entre la nature des gisements de déchets de matières plastiques les plus fréquemment rencontrés et les technologies permettant de les transformer.

LES GRANDS PROCÉDES DE MISES EN ŒUVRE DES MATIÈRES PLASTIQUES

A - L'EXTRUSION

L'extrusion est une technique de transformation des matières thermoplastiques qui permet d'obtenir des objets finis ou semi-ouvrés par un processus technologique continu. Cette technique, modifiée par l'adaptation d'un matériel approprié, permet d'élargir l'assortiment d'objets fabriqués, et d'étendre la gamme de produits à partir des profilés rigides et souples à la fabrication des plaques, des feuilles, des films, des objets creux, des granulés plastifiés, des câbles multifils et multicolores, des films et des feuilles stratifiés, des profilés expansés et allégés, etc.

La presque totalité des matières thermoplastiques est au moins extrudée une fois lors de sa préparation, mais seulement une partie en sort sous forme d'objets finis. L'extrusion est largement utilisée pour la fabrication des granulés et des compounds transformés ensuite par d'autres méthodes (exemple : injection) et des produits semi-ouvrés tels que : plaques, feuilles, films, tubes, etc.

B - L'EXTRUSION SOUFFLAGE

L'extrusion-soufflage est un processus qui, utilisant plusieurs types de matériels plus ou moins sophistiqués, permet la production de récipients ou de corps creux, en matériaux thermoplastiques, dans une gamme de capacités pouvant s'étendre de quelques centimètres cubes à 1 000 litres et plus.

Trois étapes principales peuvent être distinguées dans le processus d'extrusion-soufflage :

- extrusion d'un tube de résine fondue appelé paraison,
- mise en place de la paraison entre les deux moitiés d'un moule,
- soufflage de la paraison pour lui faire prendre la forme du moule

C - LE CALANDRAGE

Le calandrage est une technique de fabrication de feuilles, de plaques ou de films par laminage d'une matière thermoplastique entre plusieurs cylindres parallèles constituant la machine appelée : calandre. Cette dénomination est accordée à toutes les machines équipées de cylindres indépendamment du procédé auquel elles sont prédestinées.

On peut les ranger en trois groupes :

- les calandres utilisées pour la fabrication de feuilles, de films et de plaques souples à partir d'un mélange d'une résine thermoplastique avec les différents additifs. Ce sont les calandres de production ;
- les calandres destinées à la finition de feuilles ou de plaques extrudées ou co-extrudées par la filière plate. On les appelle les calandres de lissage ;
- les calandres auxiliaires utilisées par plusieurs techniques de finition, telles que : complexage, plaxage, enduction, contre-collage et grainage. On peut les appeler les calandres légères.

D - L'INJECTION

Dans le moulage par injection, la matière est fluidifiée dans un organe approprié puis injectée sous forte pression dans l'empreinte (ou les empreintes) du moule. L'une des caractéristiques les plus appréciées du moulage par injection est la possibilité de travailler à cadence élevée. Pour un objet de dimension moyenne (quelques centaines de grammes), la durée du cycle est de quelques dizaines de secondes. Elle peut être bien inférieure pour des objets de faible épaisseur (une fraction de seconde pour des gobelets) et bien supérieure pour des objets de forte épaisseur (quelques dizaines de minutes pour des containers de grande capacité). Par suite de la mauvaise conductibilité thermique des matières plastiques, c'est souvent la durée de refroidissement qui conditionne la durée du cycle. Pour des raisons économiques, la limite supérieure de l'épaisseur des parois pour les objets moulés par injection se situe au voisinage de 6 mm. Au delà, la durée de refroidissement devient prohibitive.

E - L'INJECTION MULTIPHASEE

On peut vouloir obtenir des pièces composées de différentes matières ou couleurs, ce que l'on définira comme plusieurs phases. Les différences peuvent être une juxtaposition de zones de couleurs différentes (type feux arrières de voitures) ou une association d'une matière intérieure recouverte d'une (ou plusieurs) matières en surface (type sandwich) et même, depuis peu, des pièces creuses moulées avec l'assistance d'un gaz comme deuxième phase, c'est l'IAG.

F - L'INJECTION-SOUFFLAGE

L'injection-soufflage permet de réaliser des corps creux qui présentent de bonnes propriétés mécaniques. Cette technique est essentiellement réservée aux thermoplastiques. Le cycle de fabrication se compose de quatre étapes.

- 1°) Réalisation par injection d'une préforme.
- 2°) Transfert de cette préforme dans une station de réchauffage pour que le matériau soit réchauffé dans un domaine d'état caoutchoutique.
- 3°) Transfert de la paraison chaude dans un moule et soufflage pour que le polymère vienne en contact avec les parois du moule.
- 4°) Refroidissement et éjection de la pièce.

G - LE THERMOFORMAGE

La technique de thermoformage utilise les matériaux semi-ouvrés tels que les plaques ou feuilles rigides en matière thermoplastique pour les transformer en objets tridimensionnels avec une épaisseur de paroi proche de l'épaisseur du matériau de départ.

L'utilisation de cette technique est possible grâce au comportement des matières thermoplastiques (plus marqué pour les amorphes) qui prennent une consistance caoutchouteuse au-dessus de leur température de transition vitreuse et peuvent donc être aisément formées et figées dans cet état par refroidissement.

H - LE MOULAGE PAR ROTATION (ROTOMOULAGE)

Le moulage par rotation est conçu pour réaliser des corps creux de toutes dimensions. La méthode de fabrication est très simple : la matière (thermoplastique) est introduite dans un moule sous forme de poudre très fine ($\sim 300 \mu\text{m}$) ou de liquide, le moule est fermé puis chauffé ; pendant que la matière devient fluide, l'ensemble est mis en double rotation (ou rotation plus une oscillation) pour que la matière tapisse toutes les parois. Lorsque la matière est fondue et correctement répartie dans l'empreinte, le moule est introduit dans un système de refroidissement.

LES PROCÉDES DE MISES EN ŒUVRE PLUS SPÉCIFIQUES AUX DÉCHETS DE MATIÈRES PLASTIQUES

Après avoir présenté de façon détaillée les grands procédés de mise en œuvre des matières plastiques, nous avons souhaité aborder, au travers de ce chapitre, des techniques plus spécifiques à la mise en œuvre des déchets de matières plastiques, ne se présentant pas sous forme de granulés.

Ces techniques, très peu nombreuses, reposent sur des principes issus de la plasturgie. Elles ont été mises au point dans un but économique, c'est-à-dire avec comme objectif la réalisation de pièces finies ou semi-finies avec un minimum d'étapes de traitement de régénération des déchets. En effet, un des avantages de ces techniques est de pouvoir mettre en œuvre des déchets de matières plastiques hétérogènes sans étapes de lavage, de tri ou de séparation. Comme nous l'avons montré au cours de l'étude RECORD N° 99-0903/1A, les processus de régénération présentant des étapes de tri, de lavage, de séparation, de séchage... sont généralement très coûteux (traitement des eaux usées...). Toute technique permettant de réaliser des pièces finies, en supprimant les étapes intermédiaires de préparation du déchet, conduit nécessairement à un avantage économique.

A - L'INTRUSION

Comme nous l'avons sommairement présenté au paragraphe ID-6, l'intrusion est un procédé généralement utilisé dans la mise en œuvre des déchets de matières plastiques. Il permet notamment de mouler directement, à basse pression, des profilés de dimensions variés à partir de déchets hétérogènes (par exemple des balles de corps creux en PEHD issues de collecte sélective des déchets ménagers).

Une ligne classique d'intrusion (type **JET INTERNATIONAL, ART ou PALETTI GmbH**) est composée :

- d'un système intégré de pré-broyage et plastification (type **EREMA**),
- d'une extrudeuse adiabatique spéciale,
- d'un système de moulage en continu.

B - L'INJECTION - COMPRESSION

Dans le même esprit de pré-traitement minimum du déchet, la société EREMA, qui participe en tant que développeur dans la partie compacteur-déchet, propose des lignes de fabrication de produits finis basées sur le concept de l'injection-compression (REMAPLAN Process). A la différence du procédé d'injection classique où la matière fondue est injectée sous pression dans un moule fermé, ici l'injection a lieu dans un moule entre ouvert. La matière est ensuite comprimée dans le moule, non par la pression d'injection et de maintien, mais par la fin de la fermeture des plateaux et donc du moule. Il en résulte une forte diminution de l'orientation de la matière ainsi qu'une bonne répartition des pressions et de la matière. De plus, la matière subit un seul traitement thermique car on supprime la phase d'extrusion - granulation.

C - LE CAS PARTICULIER DU PET EN ISOFONCTION

La collecte des bouteilles en PET ne cesse d'augmenter et le gisement à traiter prend des proportions qui incitent les industriels à développer de nouvelles technologies pour faire face à cette croissance. Une des difficultés dans le recyclage du PET concerne sa perte de viscosité intrinsèque au cours des traitements de régénération. Il s'ensuit une baisse des propriétés mécaniques et des performances générales des produits réalisés à partir de granulés recyclés. Il existe toutefois des solutions pour remonter la viscosité intrinsèque (IV) du PET lors de son recyclage. Ces solutions font appel à des additifs chimiques ou à l'utilisation de réacteurs. Ces techniques limitent le potentiel de réutilisation du PET en contact alimentaire. En France, la société SCHMALBACH LUBECA (Beaune) a toutefois obtenu l'autorisation de l'utilisation du PET recyclé en contact alimentaire grâce à son procédé de traitement SUPERCYCLE. La

quantité de PET recyclé incorporée dans les nouvelles bouteilles ne dépasse pas actuellement les 25% en poids.

Les sociétés EREMA/WAREMA développent un nouveau procédé de recyclage du PET, qui permet de transformer les déchets de bouteilles PET en granulés cristallisés utilisables à 100% comme matière première dans la production de nouvelles bouteilles en PET.

D - L'EXTRUSION EN FILIERE FROIDE

La filière froide calibrante a été développée, notamment par la société SCAMIA pour pouvoir extruder des profilés à partir de déchets hétérogènes et peu purifiés. Cette solution consiste à procéder à la conformation dans la filière. La matière, refroidie dans la filière, ressort sous forme solide. Cette filière n'est pas perturbée par les variations de viscosité ou les gaz. Elle produit des profilés à parois minces (< 3 mm), avec des déchets mélangés non lavés. Un polymère lubrifiant est co-extrudé sur les surfaces intérieures et extérieures des profilés pour éviter les blocages et les pression trop élevées. La filière est longue pour permettre le refroidissement de la masse. La capacité de production est liée à la section du profilé et à l'épaisseur des parois (entre 3 et 15 mm). Aujourd'hui, la vitesse maximale est de 10 m/h, quelle que soit la section.

VISITES DE SITES

Quelques visites de sites nous ont permis d'appréhender la réalité du secteur de la mise en œuvre des déchets de matières plastiques. Nous avons tenté d'effectuer une analyse fine des systèmes en fonctionnement réel, en fonction de la volonté des dirigeants des différentes sociétés à nous communiquer ou pas leurs données techniques.

- **BOXTER RECYCLING**
- **EUROFLACO**
- **PLASTIC OMNIUM SYSTEMES URBAINS**

SOMMAIRE

Pages

AVANT-PROPOS	1
---------------------	----------

1^{ère} PARTIE

I - QUELQUES CHIFFRES	4
------------------------------	----------

A - LES MATIERES PLASTIQUES ET L'EMBALLAGE	4
B - LA VALORISATION DES EMBALLAGES PLASTIQUES MENAGERS	6
C - LA VALORISATION DES EMBALLAGES INDUSTRIELS ET COMMERCIAUX	8

II - LES GRANDS PROCEDES DE MISES EN ŒUVRE DES MATIERES PLASTIQUES	12
---	-----------

A - L'EXTRUSION	12
------------------------	-----------

A - 1 GENERALITES	12
A - 2 EXTRUDEUSES ET LEUR CONSTRUCTION	14
A - 3 LIGNES D'EXTRUSION	19
A - 4 MODIFICATIONS SPECIFIQUES POUR LE RECYCLAGE	24

B - L'EXTRUSION SOUFFLAGE	26
----------------------------------	-----------

B - 1 PRINCIPE	26
B - 2 PROCESSUS D'EXTRUSION-SOUFFLAGE	26
B - 3 EXTRUSION-SOUFFLAGE AVEC BI-ETIRAGE	28
B - 4 CONCEPTION DES OBJETS	29

C - LE CALANDRAGE	31
--------------------------	-----------

C - 1 GENERALITES	31
C - 2 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	31

D - L'INJECTION	32
------------------------	-----------

D - 1 PHASES D'INJECTION	32
D - 2 CONCEPTION DES MACHINES	32
D - 3 CONCEPTION DES MOULES	34
D - 4 REMPLISSAGE DES EMPREINTES	34
D - 5 COMPRESSION, INJECTION-COMPRESSION	35
D - 6 INTRUSION	35

E - L'INJECTION MULTIPHASEE	36
E - 1 GENERALITES	36
E - 2 INJECTION MULTIMATIERES	36
E - 3 INJECTION ASSISTEE PAR LE GAZ (IAG)	37
F - L'INJECTION-SOUFFLAGE	39
F - 1 PRINCIPE DE L'INJECTION-SOUFFLAGE	39
F - 2 INJECTION-SOUFFLAGE AVEC BI-ETIRAGE	39
F - 3 CONCEPTION DES OUTILLAGES	40
F - 4 MACHINES	40
F - 5 COMPARAISON DE L'INJECTION-SOUFFLAGE ET DE L'EXTRUSIONSOUFFLAGE	40
G - LE THERMOFORMAGE	42
G - 1 PRINCIPE	42
G - 2 MATIÈRES THERMOFORMÉES ET EXEMPLES	42
G - 3 TECHNIQUE DU THERMOFORMAGE	42
G - 4 CONCEPTION DES PIÈCES THERMOFORMÉES	43
H - LE MOULAGE PAR ROTATION (ROTOMOULAGE)	45
H - 1 PRINCIPE	45
H - 2 MATIÈRES UTILISÉES	45
H - 3 CARACTÉRISTIQUES DES OBJETS	45
H - 4 CONCEPTION DES MACHINES ET DES OUTILLAGES	45
H - 5 CAS PARTICULIER DU PA 6 (POLYCAPROLACTAME)	46

III - FORMES, DIMENSIONS ET SERIES	47
---	-----------

IV - LES PROCÉDES DE MISES EN ŒUVRE PLUS SPÉCIFIQUES AUX DECHETS DE MATIÈRES PLASTIQUES	49
--	-----------

A - L'INTRUSION	49
B - L'INJECTION-COMPRESSION	50
C - LE CAS PARTICULIER DU PET EN ISOFONCTION	51
D - L'EXTRUSION EN FILIERE FROIDE	52

ANNEXES

- Annexe 1 - Glossaire
- Annexe 2 - Exemples d'applications
- Annexe 3 - Compte-rendu de visites
- Annexe 4 - Coordonnées fournisseurs

2^{ème} PARTIE

EFFICACITE ECONOMIQUE DES FILIERES DE RECYCLAGE DES PLASTIQUES.

Au travers de cette étude, nous avons souhaité :

- Analyser quelques systèmes représentatifs de collecte et de recyclage des déchets de matières plastiques en Europe au travers de différents secteurs (emballages et non-emballages ; déchets industriels et de post-consommation).
- Analyser les principaux facteurs de blocage et de progrès de différents procédés actuels afin de définir (ou de déduire) les facteurs critiques de succès qui déterminent la faisabilité ou l'échec d'une filière de recyclage des plastiques.
- Identifier les caractéristiques spécifiques propres à une région ou un pays afin d'analyser les conséquences.
- Proposer une méthode de réflexion à l'aide d'un outil d'aide à la décision afin de faciliter la mise en place ou l'extension de filière de recyclage des plastiques.

L'analyse générale du secteur du recyclage des déchets de matières plastiques tendrait à démontrer que les contraintes ou les opportunités non techniques domineraient largement les aspects purement techniques dans la mise en place d'une filière.

Ainsi, quatre grandes catégories de contraintes / opportunités non techniques peuvent être envisagées : économique, légale, sociale et organisationnelle. En fait, les questions d'ordre technique peuvent être incluses dans la catégorie "économique".

Si l'on souhaite neutraliser certaines contraintes, ou les transformer en opportunités, il est souhaitable d'aborder le schéma dans l'ordre suivant :

1. Economique
2. Légal
3. Social
4. Organisationnel

Pour chacune de ces catégories, nous avons essayé de dresser un inventaire des facteurs de blocage ou de progrès associés à la filière envisagée. De plus, nous avons essayé de tenir compte de l'influence de facteurs environnementaux dans l'existence de ces filières.

Puis nous avons déduit des critères décisifs qui vont influencer la réussite ou l'échec d'une filière de recyclage des matières plastiques. Similaires aux catégories "contraintes/opportunités", les critères décisifs peuvent être classés par thème : économique, légal, social et organisationnel.

➤ **Critères économiques :**

Prix des matières vierges, quantités de déchets plastiques non recyclés collectables, nombre de détenteurs, niveau de contamination des déchets plastiques, marchés des produits secondaires, menace de substitution des applications envisagées, coûts du recyclage.

➤ **Critères légaux :**

Existence de lois ou de directives, agréments gouvernementaux des initiatives de recyclage, existence d'obstacles commerciaux ou présence de normes pour des produits spécifiques.

➤ **Critères sociaux :**

Existence de coopération de filière, existence de coopération de secteur, participation positive des détenteurs de déchets, impératifs liés à la pression sociale, existence de filière de recyclage comparable ayant débouchée sur un succès.

➤ **Critères organisationnels :**

Existence d'un système de collecte, existence d'une logistique de reprise, capacité de recyclage disponible, certification des produits secondaires.

Le poids de chacun de ces critères décisifs a ensuite été évalué de façon qualitative pour chaque cas envisagé. On obtient alors, à titre purement indicatif, une appréciation générale de l'efficacité économique d'une filière de recyclage.

ETUDE DE CAS

LES EMBALLAGES MENAGERS

➤ **Analyse des systèmes de recyclage des bouteilles et flacons en PET**

Les bouteilles en PET sont devenues le principal produit de substitution des bouteilles en verre dans l'emballage des eaux minérales et des boissons non alcoolisées. Toutes sortes d'autres liquides alimentaires ou non alimentaires sont aujourd'hui emballés dans des bouteilles en PET. L'avantage de ce matériau, par rapport au verre, réside dans sa légèreté et dans sa résistance aux chocs. Lors de cette approche, nous sommes intéressés principalement aux bouteilles en PET de volume 1,5 à 2 litres pour l'emballage des eaux minérales et des boissons non alcoolisées.

LES EMBALLAGES INDUSTRIELS ET COMMERCIAUX

➤ **Analyse des systèmes de recyclage des films industriels et commerciaux**

Les films industriels et commerciaux sont généralement des films en PE, la majorité étant des films en LDPE ainsi que des films LLDPE et HDPE. Le LLDPE est utilisé pour des applications utilisant un film étirable pour attacher des marchandises sur des palettes. Les films rétractables sont produits à partir du LDPE et servent à attacher de petites quantités de marchandises ensemble ou sur un plateau en carton ondulé. Le LDPE, comme le HDPE, est également utilisé pour la fabrication de sacs. On peut déduire à partir des descriptifs des applications, que la plupart des films usagés ne devraient pas être particulièrement contaminés. Les films provenant de bureaux ou de magasins (supermarchés, par exemple) n'entrent pas en contact direct avec les produits alimentaires, par exemple, et ne sont pas contaminés au cours de leur transport.

➤ *Analyse des systèmes de recyclage des emballages en PSE*

En 1996, 700.000 tonnes de polystyrène expansé (PSE) ont été utilisées en Europe ; 70% à des fins d'isolation, 28% pour l'emballage et 2% pour d'autres applications. Pour l'emballage, le PSE est utilisé sous forme de couche protectrice (absorption des chocs). Sa densité est très faible, variant de 10 à 80 kg/m³, ce qui signifie un volume important par rapport au poids. Ceci rend ce matériau très utile pour l'emballage, mais renchérit son coût du transport sous forme déchets.

En raison de sa composition, le PSE est recyclé avec succès partout dans le monde. Il y a une forte demande pour une grande quantité d'emballages en PSE usagés de la part des recycleurs. La proportion d'emballages en PSE usagés récupérés, principalement pour un recyclage mécanique, a plus que doublé au cours des deux années écoulées.

AUTRES SECTEURS

➤ *Analyses des systèmes de recyclage des films agricoles*

La plupart des plastiques pour les applications agricoles sont utilisés sous forme de films ou de feuilles, que ce soit pour l'ensilage, la couverture des récoltes ou les sacs d'engrais. Ces films sont fabriqués, en grande majorité, en PEBD ou en PEBDL (polyéthylène à basse densité ou polyéthylène à basse densité linéaire) et ont une durée de vie relativement courte, habituellement moins de deux ans. Une distinction doit être faite entre les films épais (supérieur ou égal 0,1 mm) et les films minces (comme par exemple, les films étirables (~ 25 µm)), le premier groupe étant le plus intéressant pour le recyclage.

➤ *Analyses des systèmes de recyclage des profilés pour fenêtres en PVC*

Le recyclage des profilés usagés de fenêtres en PVC est une activité récente car le produit lui-même n'est apparu que récemment sur le marché. Il a été introduit en 1965 et possède une durée de vie de 40 à 50 ans. Par conséquent, seules de faibles quantités de profilés usagés en PVC pour fenêtres sont aujourd'hui disponibles pour le recyclage.

Dans quelques pays européens, tel que l'Allemagne et la Hollande, il existe des dispositifs de reprise pour les profilés usagés en PVC pour fenêtres. Ces schémas entrent dans le cadre d'un système de recyclage organisé par la chaîne elle-même sur l'initiative des producteurs de fenêtres et de profilés.

➤ *Analyses des systèmes de recyclage des pare-chocs automobiles*

Le démontage des véhicules en fin de vie est une activité courante dans l'ensemble des pays européens. Cette activité est conforme à la Directive Européenne sur les VHU qui favorise un développement du recyclage de matériaux provenant de Véhicules Hors d'Usage. Les plastiques font partie des matériaux visés et les pare-chocs représentent un exemple de parties volumineuses facilement accessibles.

OUTIL D'AIDE A LA DECISION

Un outil d'aide à la décision est proposé en fin d'étude. Cet outil permet de soulever un certain nombre de points indispensables dans la réflexion à suivre pour la mise en place d'une filière de recyclage des plastiques.

Les principales lignes de réflexion sont les suivantes :

- Inventaire des quantités de déchets accessibles non encore recyclées
- Inventaire du niveau de mélange des déchets plastiques à collecter
- Inventaire des marchés
- Inventaire du niveau des coûts de recyclage de la future unité
- Inventaire des possibilités de coopération de filières
- Inventaire des possibilités de coopération dans le secteur concerné
- Analyse de la disposition des détenteurs

SOMMAIRE

Pages

2ème PARTIE	
I - METHODOLOGIE	1
II - ETUDE DE CAS	4
A - LES EMBALLAGES MENAGERS	4
<i>A-1 L'Europe et les emballages ménagers</i>	<i>4</i>
<i>A-2 Analyse des systèmes de recyclage des bouteilles et flacons en PET</i>	<i>10</i>
B - LES EMBALLAGES INDUSTRIELS ET COMMERCIAUX	18
<i>B-1 Analyse des systèmes de recyclage des films industriels et commerciaux</i>	<i>18</i>
<i>B-2 Analyse des systèmes de recyclage des emballages en PSE</i>	<i>25</i>
C - AUTRES SECTEURS	32
<i>C-1 Analyses des systèmes de recyclage des films agricoles</i>	<i>32</i>
<i>C-2 Analyses des systèmes de recyclage des profilés pour fenêtres en PVC</i>	<i>38</i>
<i>C-3 Analyses des systèmes de recyclage des pare-chocs automobiles</i>	<i>44</i>
III - OUTIL D'AIDE A LA DECISION	51
ANNEXES	54
<i>Annexe I : Références Bibliographiques</i>	<i>55</i>
<i>Annexe II : Cours des résines vierges (2000)</i>	<i>58</i>
<i>Annexe III : Evaluation des différents programmes de recyclages</i>	<i>60</i>
<i>Annexe IV : Organisations internationales</i>	<i>67</i>

Summary sheet

The aim of the present study is to make a full analysis of the existing technologies in the field of regenerated plastics processing with a view to the manufacture of finished or semi-finished products. Without exception, all the methods (extrusion, intrusion, compression, high and low-pressure injection, etc.) used to process plastics, irrespective of the regeneration process at their origin, have been examined in detail. Using a technical and economic analysis, we have addressed the technologies currently employed by the recycling industry or those being developed, thereby constituting a precious decision-making aid for technicians and entrepreneurs who wish to make acquisitions.

This "State of the Art" concerning processing technologies follows on naturally from the two studies carried out previously by CEREMAP: "State of the Art concerning the methods for sorting plastics" and "State of the Art concerning the main processes for the regeneration of waste plastics with a view to recycling them into finished products".

In order to achieve a complete analysis, CEREMAP then attempted to link these three studies to develop a method for demonstrating the economic efficiency of the approaches to mechanical recycling of plastic waste.

1st PART

STATE OF THE ART CONCERNING THE MAIN METHODS FOR PROCESSING PLASTICS FROM WASTE REGENERATION PROCESSES.

Sources

The study covers the technologies used to process the most commonly encountered waste plastics. These are exclusively thermoplastics, may contain fillers and originate from post-consumption products from the following sources:

- Packaging
- Agriculture
- Automobile
- Electrics / Electronics
- Building & Public Works

An economic analysis of these different sources is made in the document.

Technical study

A full inventory of the technologies currently used in the processing of plastics, from regeneration processes or otherwise, was carried out. After a brief review of the standard methods for processing plastics from pellets originating from recycled matter, the study focused on the direct processing technologies, in other words those without an intermediate granulation phase. Until now, a large number of recycling techniques have followed on from the processing of virgin plastics. Here, we will focus on the processes used for the direct production of finished or semi-finished products from pre-processed materials (crushing, cleaning if necessary, etc.). This sort of process reduces costs and limits the deterioration that arises from the fusion caused by the granulation phase.

This work attempted to determine the relationships that can exist between the nature of the most commonly encountered sources of plastic waste and the technologies used to process it.

THE MAIN METHODS FOR PROCESSING PLASTICS

A - EXTRUSION

Extrusion is a technique for processing thermoplastics which obtains finished or semi-finished products via a continuous technological process. This technique, modified by the adaptation of the appropriate equipment, widens the variety of objects manufactured and extends the range of products from rigid and flexible sections to the manufacture of panels, sheets, films, hollow objects, plasticized pellets, multi-wire and multicolour cables, laminated films and sheets, expanded and lightened sections, etc.

Virtually all thermoplastics are extruded at least once during their preparation, but only a part of them end up as finished objects. Extrusion is widely used in the manufacture of pellets and compounds which are then processed using other methods (e.g. injection), and of semi-finished products such as panels, sheets, films, tubes, etc.

B – BLOW EXTRUSION MOULDING

Blow extrusion moulding is a process which, using several types of equipment with varying degrees of sophistication, produces thermoplastic containers or hollow containers with capacities ranging from a few cubic centimetres to 1000 litres or more.

There are three main stages in the blow extrusion stage:

- extruding a melted resin tube called the parison,
- placing the parison between the two halves of a mould,
- blowing the parison to give it the shape of the mould

C - CALENDERING

Calendering is a technique for manufacturing sheets, panels or films by laminating a thermoplastic material between several parallel cylinders that are part of a machine called a calender. This name is given to all machines equipped with cylinders, independently of the process for which they are designed.

They can be grouped into three categories:

- calenders used to manufacture sheets, films and flexible panels with a mixture of thermoplastic resin and various additives. These are production calenders;
- calenders designed for the finishing of sheets or panels that are extruded or co-extruded by flat die. These are called smoothing calenders;
- auxiliary calenders used in several finishing techniques such as complexing, sleeving, coating, impregnating/laminating and graining. These can be called light calenders.

D – INJECTION MOULDING

In injection moulding, the material is fluidised in an appropriate unit then injected under high pressure into the recess (or recesses) of the mould. One of the most appreciable features of moulding by injection is the possibility of working at a fast rate. For a medium-sized object (a few hundred grams), the cycle lasts a few dozen seconds. This duration can be much shorter for thin objects (a fraction of a second for plastic cups) and much longer for very thick objects (several minutes for large-capacity containers). Owing to the poor heat conductivity of plastics, it is often the length of the cooling period that conditions the cycle duration. For economic reasons, the upper limit for the thickness of the walls of injection-moulded objects is in the region of 6 mm. Above this value the cooling period becomes prohibitively long.

E – MULTIPHASE INJECTION

It may be necessary to obtain parts composed of different materials or colours, which can be defined as several phases. The differences may be a juxtaposition of different colour zones (for example rear lights of vehicles) or a combination of an interior material covered by one or more surface materials (sandwich type) or even – and this is recent – hollow parts moulded with the assistance of a gas as the second phase: GAIN.

F – BLOW INJECTION MOULDING

With blow injection it is possible to make hollow containers presenting good mechanical properties. This technique is essentially reserved for thermoplastics. The manufacturing cycle comprises four stages.

5°) Injection to make a pre-form.

6°) Transfer of this pre-form to a heating unit for the material to be heated into a rubbery state.

7°) Transfer of the hot parison into a mould, and blowing so that the polymer comes into contact with the walls of the mould.

8°) Cooling and injection of the part.

G - THERMOFORMING

The thermoforming technique uses semi-finished materials such as rigid thermoplastic sheets or panels and transforms them into three-dimensional objects with a thickness close to the material's initial thickness.

This technique is possible thanks to the behaviour of thermoplastic materials (more marked with amorphous plastics), which take on a rubbery consistency when they exceed their vitreous transition temperature and can therefore be formed easily and then set in this state by cooling.

H – ROTATION MOULDING

Rotation moulding is designed to make hollow containers of all dimensions. The manufacturing method is very simple: the material (thermoplastic) is introduced into a mould in the form of very fine powder (~ 300 µm) or liquid, the mould is then closed and heated; while the material is becoming fluid, the mould is double rotated (or rotation plus one oscillation) so that the material covers all the walls. When the material is melted and properly distributed in the recesses, the mould is introduced into a cooling system.

PROCESSING METHODS THAT ARE MORE SPECIFIC TO WASTE PLASTICS

After the detailed description of the main plastic processing methods, this chapter deals with techniques that are more specific to the processing of waste plastics that are not in the form of pellets.

These techniques are few and far between and are based on the principles of plasturgy. They have been developed with an economic objective in mind, which is to say the manufacture of finished or semi-finished items with a minimum number of waste regeneration treatment stages. Indeed, one of the advantages of these techniques is that they can process heterogeneous plastic waste without any cleaning, sorting or separation stages. As we demonstrated in the study RECORD N° 99-0903/1A, regeneration processes that involve sorting, cleaning, separation, drying, etc. are generally very costly (waste water treatment, etc.). Any technique that can produce finished items while getting rid of the intermediate preparation stages necessarily presents an economic advantage.

A - INTRUSION

As we briefly presented in paragraph ID-6, intrusion is a process generally used in the processing of plastic waste. With this technique it is possible to mould directly and at low pressure sections of varying dimensions from heterogeneous waste (for example, HDPE bales of hollow containers from the selective collection of household waste).

A standard intrusion line (of the **JET INTERNATIONAL**, **ART** or **PALETTI GmbH** type) is composed of:

- an integrated pre-crushing and plasticizing system (**EREMA** type),
- a special adiabatic extruder,
- a continuous moulding system.

B - COMPRESSION INJECTION

With the same idea of minimal waste pre-treatment in mind, the company EREMA, which participated in the development of the shredder-compactor part, proposes finished-product manufacturing lines based on the compression injection concept (REMAPLAN Process). In contrast to the traditional injection process whereby the melted material is injected under pressure into a closed mould, here injection takes place in a half-open mould. The material is then compressed in the mould, not by the injection and holding pressure but by the end of the closing of the plates and thus of the mould. The result is a radical diminution in the orientation of the material and a good distribution of both pressure and material. Furthermore, the material undergoes a single heat treatment because the extrusion-granulation phase is suppressed.

C – THE PARTICULAR CASE OF BOTTLE-TO-BOTTLE PET RECYCLING

The volume of PET bottles collected is constantly increasing and the amount to be processed has reached proportions that have incited industrialists to develop new technologies to cope with this growth. One of the difficulties in recycling PET concerns its loss of intrinsic viscosity during reclamation treatments. This results in a drop in the mechanical properties and general performances of the products made using recycled pellets. There are, however, solutions to increase the intrinsic viscosity (IV) of the PET when it is recycled. These solutions involve the use of chemical additives or reactors. These techniques limit the potential for reuse of PET in contact with foodstuffs. In France, the firm SCHMALBACH LUBECA (Beaune) has, however, obtained authorisation to use recycled PET in contact with foodstuffs, thanks to its SUPERCYCLE treatment process. The quantity of recycled PET incorporated in the new bottles does not exceed 25% by weight at present.

The companies EREMA/WAREMA are developing a new PET recycling process that transforms PET bottle waste into crystallised pellets that are 100% useable as raw materials in the production of new PET bottles.

D – COLD EXTRUSION

The calibrating cold die has been developed by the company SCAMIA, among others, to be able to extrude profiled sections from heterogeneous, little-treated waste. This solution consists in carrying out the forming in the die. The material, cooled in the die, comes out in a solid form. This die is not disturbed by variations of viscosity or by gases. It produces thin-walled profiled

sections (< 3 mm) with mixed, unwashed waste. A lubricating polymer is co-extruded on the inner and outer surfaces of the profiled sections in order to avoid blockages and overly high pressure. The die is long, allowing the mass to cool. Production capacity is related to the section of the profiled section and the thickness of the walls (between 3 and 15 mm). Today, the maximum speed is 10 m/hr, irrespective of the section.

SITE VISITS

We visited several sites in order to grasp the realities of the plastic waste processing sector. We attempted to make an in-depth analysis of the actual operating systems, with varying degrees of success depending on the willingness of the directors of the different companies to communicate their data.

- **BOXTER RECYCLING**
- **EUROFLACO**
- **PLASTIC OMNIUM SYSTEMES URBAINS**

CONTENTS

Pages

FOREWORD	1
-----------------	----------

1st PART

I – A FEW FIGURES	4
--------------------------	----------

A – PLASTICS AND PACKAGING	4
B – RECOVERY OF HOUSEHOLD PLASTIC WASTE	6
C – RECOVERY OF INDUSTRIAL AND COMMERCIAL WASTE	8

II – THE MAIN PLASTICS PROCESSING METHODS	12
--	-----------

A - EXTRUSION	12
----------------------	-----------

A - 1 GENERAL	12
A - 2 EXTRUDERS AND THEIR CONSTRUCTION	14
A - 3 EXTRUSION LINES	19
A - 4 SPECIFIC MODIFICATIONS FOR RECYCLING	24

B – BLOW EXTRUSION	26
---------------------------	-----------

B - 1 PRINCIPLE	26
B – 2 BLOW EXTRUSION PROCESS	26
B - 3 BLOW EXTRUSION WITH BI-DRAWING	28
B - 4 CONCEPTION OF OBJECTS	29

C - LE CALENDERING	31
---------------------------	-----------

C - 1 GENERAL	31
C - 2 OPERATING PRINCIPLE	31

D - INJECTION	32
----------------------	-----------

D - 1 INJECTION PHASES	32
D - 2 DESIGN OF MACHINES	32
D - 3 DESIGN OF MOULDS	34
D - 4 FILLING THE RECESSES	34
D - 5 COMPRESSION, INJECTION-COMPRESSION	35
D - 6 INTRUSION	35

E – MULTIPHASE INJECTION	36
---------------------------------	-----------

E - 1 GENERAL	36
---------------	----

E - 2 MULTI-MATERIAL INJECTION	36
E - 3 GAS-ASSISTED INJECTION MOULDING (GAIN)	37
F – BLOW INJECTION	39
F - 1 PRINCIPLE OF BLOW INJECTION	39
F - 2 BLOW INJECTION WITH BI-DRAWING	39
F - 3 DESIGN OF TOOLS	40
F - 4 MACHINES	40
F - 5 COMPARISON OF BLOW INJECTION AND BLOW EXTRUSION	40
G - THERMOFORMING	42
G - 1 PRINCIPLE	42
G - 2 THERMOFORMED MATERIALS AND EXAMPLES	42
G - 3 THERMOFORMING TECHNIQUE	42
G - 4 DESIGN OF THERMOFORMED PARTS	43
H - ROTATION MOULDING	45
H - 1 PRINCIPLE	45
H - 2 MATERIALS USED	45
H - 3 CHARACTERISTICS OF OBJECTS	45
H - 4 DESIGN OF MACHINES AND TOOLS	45
H - 5 PARTICULAR CASE OF PA 6 (POLYCAPROLACTAME)	46
III - FORMS, DIMENSIONS AND QUANTITIES	47
IV – PROCESSING METHODS THAT ARE MORE SPECIFIC TO WASTE PLASTICS	49
A - INTRUSION	49
B - INJECTION-COMPRESSION	50
C – THE SPECIFIC CASE OF BOTTLE-TO-BOTTLE PET RECYCLING	51
D – COLD EXTRUSION	52
ANNEXES	
Annexe 1 - Glossary	
Annexe 2 - Examples of applications	
Annexe 3 – Report of visits	
Annexe 4 – Supplier details	

2nd PART

ECONOMIC EFFICIENCY OF THE PLASTICS RECYCLING TECHNIQUES

The objectives of this study are:

- Identification of the most successful collection and recycling schemes in Europe for product sectors (packaging as well as non-packaging; post-use consumer and industrial waste).
- Identification of the specific characteristics of the selected schemes, because large variations between countries in the different sectors may exist.
- Analysis of the main blocking and progress factors of the different schemes in order to enable the definition (or deduction) of the critical success factors that determine the feasibility or failure of a recycling scheme.
- Indication of the attractiveness for recycling on the basis of several criteria through an approach of “ranking” of the schemes in a general hierarchy.
- Making available useful guidelines to serve as a supportive evaluation and decision tool in order to facilitate the implementation or extension of proven sensible recycling activities.

A general characterisation of the material recycling area demonstrates that the non-technical constraints/opportunities dominate rather than the technical ones. The technical aspects can be translated into economical constraints/opportunities.

Four main categories of non-technical constraints/opportunities for mechanical recycling exist: economical, legal, social and organisational. Other constraints can be reduced to these four categories. A general inventory of these main categories of constraints/opportunities has been executed. If we want to neutralise the constraints or turn them into opportunities, the constraints have to be tackled in the next sequence:

1. Economical
2. Legal
3. Social
4. Organisational

From the overviews of the progress/blocking factors the so-called decisive criteria of the recycling schemes are deduced. Decisive criteria are those criteria that influence the success or the failure of a recycling scheme and can reduce the constraints. These criteria are not scheme specific, but general criteria that play an important role considering the feasibility of plastics recycling.

Similar to the constraints/opportunities the decisive criteria can be seen as economical, legal, social and organisational ones:

- *Economical criteria;*

Price virgin plastics, quantity of collectable not recycled plastic waste, number of disposers, contamination level of the plastics to be recycled, markets for the secondary plastics, substitution threats for the applications observed, recycling costs.

- *Legal criteria:*

Existence of laws/directives, governmental agreement of the recycling initiatives, existence of trade obstacles by legal rules or application norms for specific products.

- *Social criteria;*

Existence of chain co-operation, existence of sector co-operation, positive participation of the disposers, imperative society pressure, existence of comparable successful recycling schemes.

- *Organisational criteria;*

Existence of a disposal system, existence of take-back logistics, availability of sufficient processing capacity, the certification of secondary products/materials.

During the execution of the study the decisive criteria per recycling scheme have been weighted qualitatively using a specifically developed weighting procedure.

CASE STUDY

NON INDUSTRIAL PACKAGING WASTES

➤ **Scheme analysis PET bottles**

PET bottles have become the main substitute for glass bottles for the packaging of mineral waters and soft drinks. Also all kinds of other liquid food and non-food products are packed in PET bottles nowadays. The advantage of PET bottles over glass is that they are lightweight and much less breakable. This Appendix mainly deals with PET bottles (1.5 - 2 litres) for mineral waters and soft drinks.

INDUSTRIAL PACKAGING WASTES

➤ **Scheme Analysis Commercial and Distribution Films**

Commercial and distribution films are mainly PE films, of which LDPE is mostly used alongside LLDPE and HDPE. LLDPE is used for stretch wrap applications, to secure goods to pallets. Shrink wrap is produced from LDPE and is used to secure smaller quantities of goods together or to a corrugated tray. Another application for LDPE, as for HDPE, is in bags. From this description of applications it can be deduced that most of the waste films should not be very contaminated. Films from offices or stores (like supermarkets) don't have direct contact with products like food and should not get dirty during transport.

➤ **Scheme Analysis Industrial EPS Packaging**

In 1996 a total of 700,000 tons of Expanded Polystyrene (EPS) were used in Europe: 70% was used for insulation purposes, 28% for packaging and 2% for other

applications. In packaging applications EPS is used as protective layer (shock-absorber). It has a very low density, varying from 10 to 80 kg/m³, which means a large volume per weight. This makes the material very useful as packaging material, but makes transportation of the waste material expensive. On the other hand, an advantage for recycling is the easy identification of the material.

Because of its monostructure, EPS is also being successfully recycled throughout the world. There is great demand for large quantities of used EPS packaging by recyclers. The proportion of used EPS packaging that is recovered mainly through mechanical recycling, has more than doubled in the past two years.

OTHERS SECTORS

➤ Scheme Analysis Agricultural Films

Most of the plastics in agricultural applications are used as film or sheet for silage wrap, crop cover and fertiliser sacks. These films are made of LDPE or LLDPE and typically have a relatively short lifetime, usually less than two years. A rough distinction can be made between thick films (≥ 0.1 mm) and stretch films (~ 25 μm), of which the first group is most interesting for recycling.

➤ Scheme Analysis PVC window profiles

The recycling of post use PVC window profiles is still a young activity, because the product itself is not so long on the market. With the introduction in 1965 and a product lifetime of about 40-50 years nowadays only small amounts of post-use windows are becoming available for recycling. In some European countries such as Germany and The Netherlands a take back system for used PVC windows exists as part of a recycling scheme, organised by the chain itself on initiative of the window and profile producers.

➤ Scheme Analysis Automotive bumpers

Dismantling of End of Life Vehicles (ELVs) is a common activity in several European countries with the aim of recycling of different materials. The related activities are in line with the European Directive of ELVs, which favours an increasing recycling of the materials of discarded vehicles. Plastics are among the targeted materials with bumpers as an example of larger, more easily recyclable parts.

GUIDELINES FOR SENSIBLE PLASTIC RECYCLING

A tool of decision-making aid is proposed at the end of the study. This tool makes it possible to raise a certain number of points essential in the reflexion to be followed for the installation of a plant for recycling plastics wastes.

The principal lines of reflexion are as follows:

- Inventory of disposed quantity which is not yet recycled
- Inventory of contamination level of the plastic waste to be collected
- Inventory of markets
- Inventory of the level of recycling costs when implementation will occur
- Inventory of the possibilities for chain co-operation
- Inventory of the situation concerning sector co-operation
- Inventory of the disposer behaviour

CONTENTS

Pages

2nd PART

I - METODOLOGY	1
-----------------------	----------

II - CASE STUDY	4
------------------------	----------

A - NON INDUSTRIAL PACKAGING WASTES	4
--	----------

A-1 Europe and domestic packaging 4

<i>A-2 Scheme analysis PET bottles</i>	9
--	---

B - INDUSTRIAL PACKAGING WASTES	18
--	-----------

<i>B-1 Scheme Analysis Commercial and Distribution Films</i>	18
--	----

<i>B-2 Scheme Analysis Industrial EPS Packaging</i>	27
---	----

C - OTHERS SECTORS	35
---------------------------	-----------

<i>C-1 Scheme Analysis Agricultural Films</i>	35
---	----

<i>C-2 Scheme Analysis PVC window profiles</i>	42
--	----

<i>C-3 Scheme Analysis Automotive bumpers</i>	48
---	----

III - GUIDELINES FOR SENSIBLE PLASTIC RECYCLING	57
--	-----------

CONTACTS	60
-----------------	-----------