

Les grands procédés de mise en oeuvre des matières plastiques issues de processus de régénération de déchets

*Efficacité économique des filières de recyclage des plastiques
Etat de l'art*



C4H5O2_5 2/ 9/99 THERMC 4H 50 2 0G 300.000 5000.000 1392.000 1
1.64121890E+01 1.20184883E-02-4.40468566E-06 7.30124728E-10-4.42784365E-14 2

**ETAT DE L'ART CONCERNANT LES GRANDS PROCÉDES DE
MISE EN OEUVRE DES MATIERES PLASTIQUES ISSUES DE
PROCESSUS DE REGENERATION DE DECHETS**

**EFFICACITE ECONOMIQUE DES FILIERES DE RECYCLAGE
DES PLASTIQUES**

RAPPORT FINAL

janvier 2003

M. MELAS - CEREMAP

Créée en 1989 à l'initiative du Ministère en charge de l'Environnement, l'association RECORD – REseau COopératif de Recherche sur les Déchets et l'Environnement – est le fruit d'une triple coopération entre industriels, pouvoirs publics et chercheurs. L'objectif principal de RECORD est le financement et la réalisation d'études et de recherches dans le domaine des déchets et des pollutions industrielles.

Les membres de ce réseau (groupes industriels et organismes publics) définissent collégalement des programmes d'études et de recherche adaptés à leurs besoins. Ces programmes sont ensuite confiés à des laboratoires publics ou privés.

Avertissement :

Les rapports ont été établis au vu des données scientifiques et techniques et d'un cadre réglementaire et normatif en vigueur à la date de l'édition des documents.

Ces documents comprennent des propositions ou des recommandations qui n'engagent que leurs auteurs. Sauf mention contraire, ils n'ont pas vocation à représenter l'avis des membres de RECORD.

- ✓ Pour toute reprise d'informations contenues dans ce document, l'utilisateur aura l'obligation de citer le rapport sous la référence :

RECORD, Etat de l'art concernant les grands procédés de mise en oeuvre des matières plastiques issues de processus de régénération de déchets. Efficacité économique des filières de recyclage des plastiques, 2003, 175 p, n°00-0905/1A.

- ✓ Ces travaux ont reçu le soutien de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie)
www.ademe.fr

© RECORD, 2003

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 ŒVRE 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

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

AVANT-PROPOS

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

EFFICACITÉ ÉCONOMIQUE DES FILIÈRES DE RECYCLAGE DES PLASTIQUES.

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, seront examinés dans le détail. Il s'agira 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 propose ensuite 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

Etude technique

1°) Il s'agit de dresser un inventaire complet des technologies actuellement utilisées dans la mise en œuvre des matières plastiques issues ou non de processus de régénération. Après un bref passage en revue des procédés classiques de transformation des matières plastiques à partir de granulés provenant de matières recyclées, l'effort 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.

L'accent sera ainsi mis sur :

- les principes de fonctionnement, les matières traitées, les types de produits obtenus
- les performances, les coûts énergétiques, les limites d'utilisation...

Les principaux problèmes découlant de la mise en œuvre directe des déchets sont abordés. C'est le cas par exemple de :

- la nécessité d'assurer une certaine macro-homogénéisation des lots de déchets transformés (mode gestion des stocks de déchets, nécessité de silos homogénéisateurs...)
- la régulation des débits et des aspects techniques en découlant (pompes, capteurs..)
- le contrôle qualité (amont et aval) des produits

2°) Dans un second temps, des visites d'installations fonctionnant sur le principe du recyclage direct seront organisées. Les discussions avec les opérateurs permettront de dégager les principales caractéristiques des procédés appliqués :

- avantages et inconvénients des procédés, limites actuelles,
- types de déchets traités et souillures admissibles dans le procédé
- polyvalence des équipements pour la fabrication de divers produits finis
- débits réels des équipements
- types de produits fabriqués, taux de rebuts de production...

Parallèlement à ces données techniques, des entretiens avec les utilisateurs permettront de dégager un certain nombre de données importantes telles que :

- critères retenus pour le choix de la technologie, degré de satisfaction
- modifications éventuelles apportées aux procédés et coûts éventuels
- temps moyens d'arrêts machine et coûts de maintenance
- garanties contractuelles et degré de satisfaction.

I - QUELQUES CHIFFRES CLES

A - LES MATIERES PLASTIQUES ET L'EMBALLAGE

➤ L'emballage plastique en France en 2000

Les matières plastiques représente :

- ☞ le 1^{er} matériau d'emballage en UVC (unité de vente consommateurs), toujours en augmentation avec cependant un maintien des tonnages grâce aux actions de prévention.
- ☞ le 2^{ème} matériau d'emballage en chiffres d'affaires avec 4,6 millions d'Euros.
- ☞ le 3^{ème} matériau d'emballage en tonnage avec 1 773 KT, soit 38% de la transformation française des matières plastiques. L'emballage constitue toujours le premier débouché des plastiques.

C'est aussi 286 entreprises (de plus de 20 salariés) pour 36 000 salariés.

➤ L'emballage plastique en Europe en 2000

	TONNAGES	VARIATION 2000/1999
ALLEMAGNE	2 945 KT	+ 9,00%
FRANCE	1 773 KT	+ 2,00%
GRANDE BRETAGNE	1 649 KT	+ 0,70%
BELGIQUE	644 KT	+ 3,30%
PAYS BAS	520 KT	-15,00%

➤ Les secteurs clients :

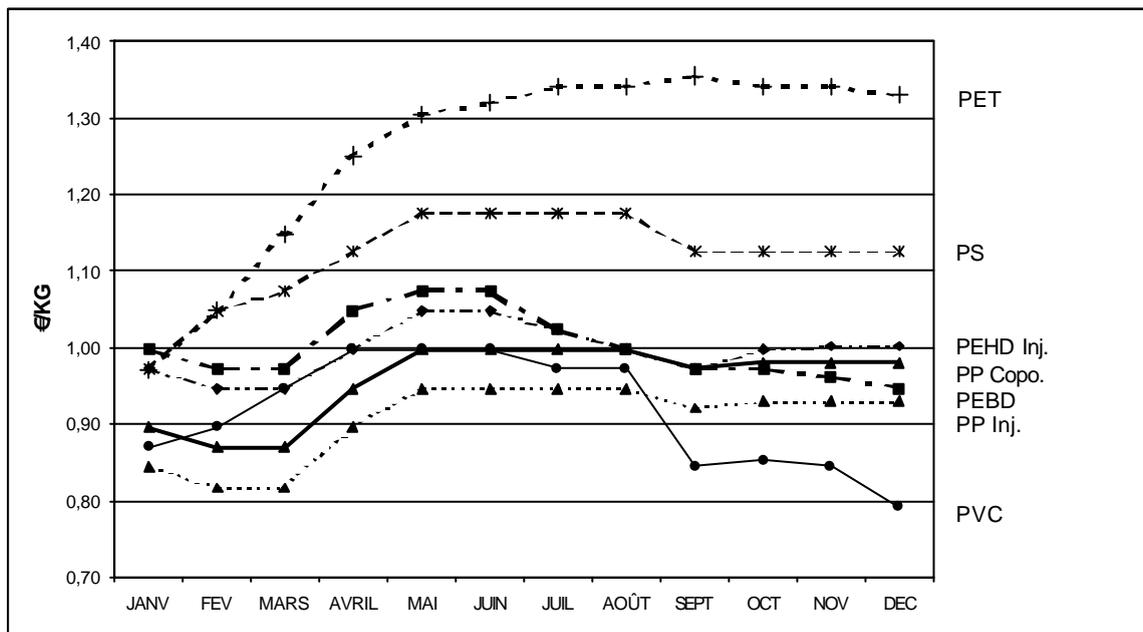
Agroalimentaire	65%
Produits d'entretien	13%
Hygiène - Santé / Beauté	12%
Industrie / Transport	10%

➤ Les Produits :

Barquettes, bidons, big-bags, blisters, boîtes, boîtiers, bols, bouchons, bouteilles, caisses, caisses-palettes, calages, capsules, casiers, conteneurs, couvercles, feuilles, films étirables et rétractables, flacons, fûts, gobelets, manchons, opercules, palettes, poches, pompes, pots, sacs, sachets, seaux, tubes, valves...

➤ **Les principaux matériaux** (consommation réelle estimée 2000) :

	TONNAGES
PEBD (polyéthylène basse densité)	461 KT
PEHD (polyéthylène haute densité)	391 KT
PP (polypropylène)	311 KT
PET (polyéthylène téréphtalate)	271 KT
PS (polystyrène)	161 KT
PVC (polychlorure de vinyle)	70 KT
PSE (polystyrène expansé)	36 KT
Divers (EVA/EVOH/PA/PAN/PU/PC...)	72 KT

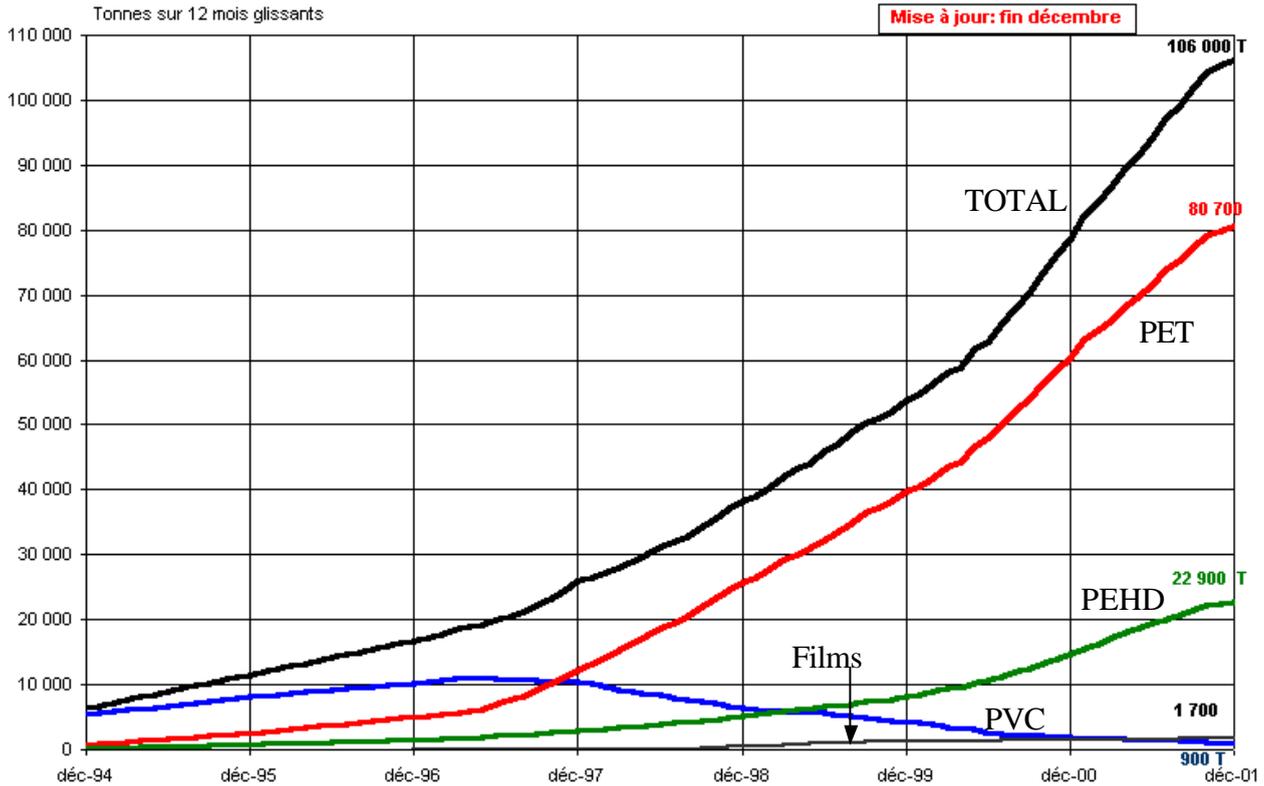


Prix des matières plastiques vierges en France (2000).

B - LA VALORISATION DES EMBALLAGES PLASTIQUES MENAGERS

VALORPLAST, filière plastique d'ECO-EMBALLAGES, reprend auprès des collectivités locales les emballages plastiques ménagers collectés et triés pour en assurer leur recyclage.

Evolution des Emballages Plastiques Ménagers collectés sur 12 mois glissants



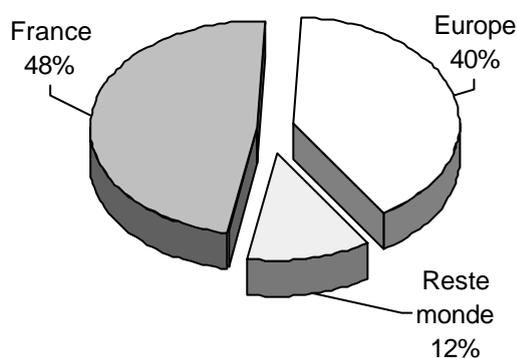
	1999 (t)	2000 (t)	VARIATION 2000/1999
PVC	4 195	1 968	-53 %
PET	39 771	60 266	+52 %
PEHD	8 606	14 835	+78 %
TOTAL Corps creux	52 572	77 069	+47 %
TOTAL Films et sacs	1 192	1 583	+33 %
TOTAL GENERAL	53 764	78 652	+46 %

Collecte et tri des emballages en matière plastique

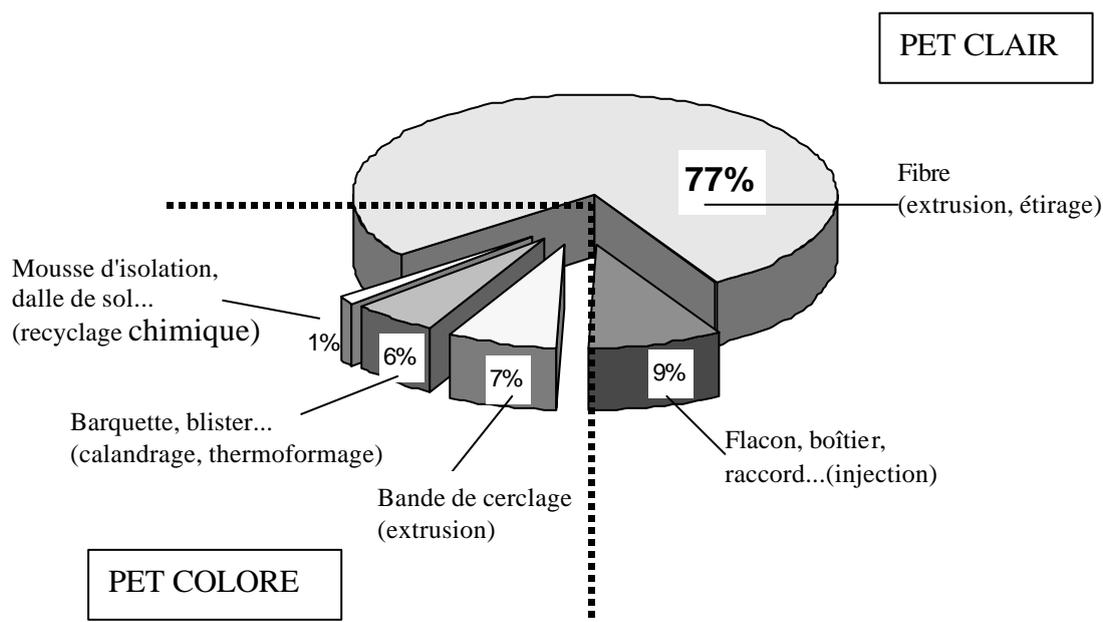
En 2000, 37 millions d'habitants triaient leurs emballages en France, ce qui représente 999 collectivités locales sous contrats de reprise avec Valorplast via Eco-Emballages ou Adelphe.

Le tri par matériau (PEHD, PET, PVC) est remplacé par un tri en trois flux (PEHD, PET clair, PET coloré + PVC) adapté aux évolutions du gisement des flacons et correspondant mieux aux besoins du marché des balles à régénérer. Les consignes de tri pour les flacons en PEHD ont été étendues (pas de limite de taille, acceptation de tous les produits d'entretien ménagers, etc.), ce qui explique la croissance forte de la reprise du PEHD.

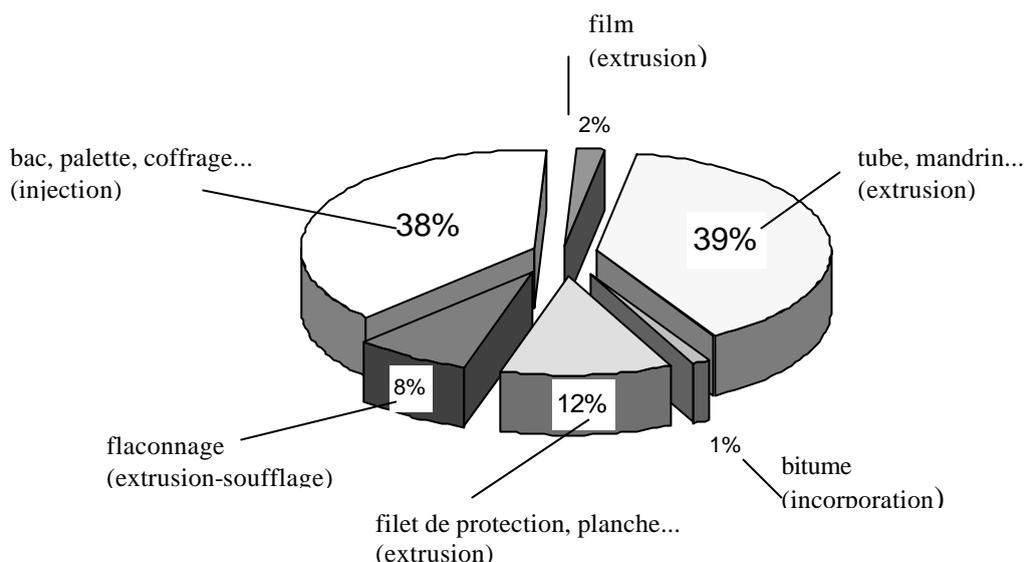
Les débouchés de produits recyclés se sont répartis à 90% en France et en Europe.



Destination des balles de bouteilles en 2000.



Applications du PET recyclé en 2000



Applications du PEHD recyclé en 2000

C - LA VALORISATION DES EMBALLAGES INDUSTRIELS ET COMMERCIAUX

La filière plastique s'est organisée afin de gérer les spécificités des emballages, tant au niveau des gisements que des matériaux plastiques utilisés. La profession s'applique à développer les différentes voies de valorisation mais aussi à participer à l'organisation d'une collecte adaptée à chaque secteur d'application et au tissu industriel et commercial français.

Deux facteurs essentiels permettront à la filière plastique de continuer à progresser pour respecter les objectifs chiffrés de valorisation (directive européenne 94/62/CE) : la banalisation du tri et l'organisation des divers détenteurs d'emballages usagés dans la gestion de leurs déchets.

➤ ECOFUT :

Les emballages plastiques industriels concernés par ECOFUT sont en polyéthylène haute densité (PEHD) ou en polypropylène (PP). Il s'agit de bidons, fûts, conteneurs, seaux et big bags. Ils sont présents dans des secteurs comme la chimie, l'agroalimentaire, le bâtiment et les travaux publics ainsi que l'agriculture.

En 2000, le marché des emballages plastiques industriels est le suivant : 41 600 tonnes de PEHD et 33 000 tonnes de PP (22 500 tonnes de big bags et 10 500 tonnes de seaux).

La réutilisation concerne uniquement les emballages en PEHD et les big bags. En 2000, ce sont 5 500 tonnes d'emballages en PEHD soit 13% du tonnage consommé et 155 tonnes de big bags soit 0,7% du tonnage consommé qui ont été réutilisées.

La valorisation matière : au total 3 550 tonnes d'emballages ont été recyclés. Le décompte se fait de la façon suivante : 3 260 tonnes de PEHD (9% du tonnage réel à valoriser), 165 tonnes de seaux (1,5%) et 125 tonnes de big bags (0,5%).

La valorisation énergétique (dont la destruction en centre agréé) concerne environ 4 700 tonnes d'emballages : 2 650 tonnes de PEHD, soit 7% du tonnage réel à valoriser et 2 140 tonnes de PP, soit 6,5% du tonnage réel à valoriser avec 2 100 tonnes pour les seaux et 40 tonnes pour les big bags.

Au total, 8 240 tonnes d'emballages ont été valorisées en 2000, soit 12% du tonnage réel à valoriser. Il est important de préciser que les statistiques d'ECOFUT intègrent les big bags pour la première fois, ces chiffres seront bien entendu affinés d'année en année.

Principales applications du recyclage : mobilier urbain, palettes, écrans acoustiques, signalisation routière, pare-chocs, gaines de protection...

➤ **ECO PSE :**

ECO PSE est un groupement d'intérêt économique qui rassemble des fabricants d'emballages en PSE. Ses deux grandes missions sont :

- l'organisation et le développement de filières pérennes de valorisation et de recyclage des emballages en PSE en proposant des solutions techniquement, économiquement et géographiquement adaptées ;
- promouvoir le recyclage / valorisation et les qualités environnementales du PSE au sens large, auprès de tout utilisateur ou détenteur d'emballages usagés : de l'industriel conditionneur de produits manufacturés jusqu'aux opérateurs sur les déchets (déchetterie, centre de tri,...) en passant par les enseignes de la grande distribution et le consommateur final.

En 2000, 6 440 tonnes d'emballages en PolyStyrène Expansé (PSE) ont été recyclées en France, en suivant la voie de la valorisation matière, soit 28% de la consommation nationale (23 000 tonnes).

Ce tonnage comprend 940 tonnes d'emballages souillés constitués principalement de caisses marée et de plateaux horticoles.

Depuis 1993, date de création d'ECO PSE, les contributions de chacun des acteurs (détenteurs de gisements, collecteurs-recycleurs et filières de réutilisation) ont permis de multiplier le recyclage des emballages PSE par 4, soit +300% en 8 ans.

La valorisation énergétique a permis de traiter 1 800 tonnes de PSE soit 7,8% de la consommation nationale.

Au total, tous gisements confondus, près de 8 300 tonnes ont été valorisées, par recyclage mécanique ou par valorisation énergétique, ce qui représente environ 36% des emballages en PSE consommés en France en 2000.

En complément, ECO PSE travaille, toujours sur un principe de réalisme économique, à développer un réseau de sites de collecte de proximité pour les gisements des artisans et petits commerçants.

➤ **RECYFILM :**

RECYFILM est une association loi 1901 créée en septembre 1995 par des fabricants de films plastiques regroupés au sein du Syndicat des Films Plastiques (SFP).

RECYFILM a pour objectif de participer au développement et à l'harmonisation des filières de valorisation des emballages industriels et commerciaux en film plastique. L'association œuvre ainsi dans le cadre de la directive 94/62/CE du 20/12/1994 relative aux " emballages et déchets d'emballages ".

L'association regroupe :

- des producteurs de matières plastiques, par le biais du SPMP (Syndicat des Producteurs de Matières Plastiques)
- des fabricants de films plastiques
- le SFP (Syndicat des Films Plastiques)
- des récupérateurs et régénérateurs / recycleurs de films plastiques

Les activités de RECYFILM :

- mise en relation de détenteurs d'emballages usagés en film plastique avec des récupérateurs ou régénérateurs / recycleurs susceptibles de traiter ces films
- élaboration de statistiques de valorisation des films plastiques, par enquête auprès des régénérateurs
- organisation de groupes de travail sur divers sujets (film étirable, gestion des films usagés au sein de la Grande Distribution, identification des films...)
- participation à des salons professionnels " Environnement " ou " Emballage ", à des journées techniques...Communications à la presse.

RECYFILM est un lieu d'échanges et de communication entre les différents acteurs de la filière " films plastiques ".

Chaque année, RECYFILM mène auprès des récupérateurs et des régénérateurs/recycleurs adhérents et non adhérents, une enquête sur les films plastiques usagés valorisés.

L'enquête porte uniquement sur les films en PE (étirable, rétractable, sacs grande contenance), étant donné que ce sont la grande majorité des emballages industriels et commerciaux.

Les chiffres de consommation (production française + importations – exportations) sont communiqués par le SFP. Pour l'année 2000, on compte 250 000 tonnes d'emballages

industriels et commerciaux en film PE. Ce chiffre correspond au gisement d'emballages usagés, étant donné qu'il n'y a pas de réutilisation de films plastiques. 86 500 tonnes de films ont été valorisées dont 75 000 tonnes par valorisation matière (recyclage) et 11 500 tonnes valorisées énergétiquement.

RECYFILM s'est associé à l'ADEME pour mener une étude sur le recyclage du film étirable. Cette étude doit permettre de collecter des éléments relatifs à la technologie pour permettre aux recycleurs français de juger de l'opportunité d'investir dans du matériel pour la régénération du film étirable. Un état des lieux du recyclage de l'étirable de palettisation a été réalisé par quatre représentants de RECYFILM et un représentant de l'ADEME. Le rapport des visites effectuées lors de cette mission est disponible auprès de RECYFILM.

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

A - L'EXTRUSION

A - 1 GENERALITES

1.1 - Principes de fonctionnement des extrudeuses

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.

Indépendamment du principe de fonctionnement, chaque extrudeuse accomplit trois actions principales :

- elle transporte, le long du cylindre, la matière du point d'alimentation à la filière,
- elle la plastifie grâce au malaxage et à la chaleur apportée de l'extérieur,
- elle augmente progressivement la pression de la matière et la force à passer par la filière qui lui donne la forme figée ensuite par le refroidissement.

Il existe plusieurs systèmes d'extrudeuses basés sur le travail d'une, de deux ou de plusieurs vis et sur les mécanismes sans vis. Bien que toutes les machines aient leurs avantages et leurs inconvénients, l'écrasante majorité des extrudeuses dans l'industrie est composée de machines à une et à deux vis.

L'extrudeuse à une ou plusieurs vis est une machine conçue pour un travail en continu et son principe de fonctionnement est basé sur l'effet de frottement de la matière plastique sur le métal dans des conditions appropriées.

Le mécanisme du fonctionnement des extrudeuses dépend de leur conception. Les extrudeuses à une vis et à plusieurs vis se différencient non seulement du point de vue de leur construction, mais aussi du point de vue de leur application, compte tenu des différences dans le principe de leur fonctionnement.

1.2 - Matières extrudées

L'extrusion conduisant à la production en continu de profilés peut être appliquée en pratique à toutes les matières thermoplastiques.

L'adaptation et le choix du matériel concernent : la vis c'est à dire sa longueur, son rapport de longueur au diamètre, son profil et son taux de compression, le système d'alimentation, le type d'extrudeuse (monovis ou à deux vis), sa puissance, la filière, l'équipement de contrôle, l'équipement de réception, etc.

D'autre part, l'application des dérivés de l'extrusion, par exemple le gonflage du film ou l'extrusion des feuilles, diminue la gamme des matières transformées et en même temps augmente les exigences concernant la machine et son équipement.

Il est difficile de donner à ce sujet des chiffres exacts et le transformateur doit consulter, en pareils cas, le fournisseur de la matière transformée.

1.3 - Domaines d'application et techniques dérivées

L'adaptation d'un équipement adéquat au matériel d'extrusion permet d'obtenir une large gamme de produits fabriqués à l'aide de cette machine. Par exemple, on utilise l'extrudeuse comme élément de base pour :

- la production des profilés, pleins ou tubulaires, rigides ou souples, calibrés ou non, enroulés ou coupés à la longueur demandée.
Appartiennent à cet assortiment de production : les profilés multicolours, les profilés en matières expansées, les profilés composites dont une partie de la section est, par exemple, rigide et une autre souple.
- la fabrication de plaques ou de feuilles en continu, composées d'une ou de plusieurs couches superposées par co-extrusion,
- le revêtement de fils, de câbles et de profilés, par exemple en métal,
- la production de fibres synthétiques à tisser, à retordre et à assembler,
- la production d'articles creux par extrusion-soufflage,
- la production de films et de gaines minces par extrusion-gonflage. Cette technique permet de fabriquer des films composés de plusieurs couches par co-extrusion,
- la préparation de granulés plastifiés et colorés à partir de poudres (mélanges-maîtres de coloration, compoundage),
- le dégazage, l'extraction d'impuretés volatiles, la polymérisation en continu pour l'industrie de fibres synthétiques,
- le revêtement par une ou plusieurs couches (par exemple hétérogènes), du papier et du carton pour l'industrie de l'emballage,
- d'autres applications spéciales comme : l'alimentation de calandres, le recyclage de déchets (film de PE, bouteilles de PVC, etc.), la préparation de mélanges spéciaux.

A - 2 EXTRUDEUSES ET LEUR CONSTRUCTION

2.1 - Extrudeuse monovis

2.1.1 - Fonctionnement

L'extrudeuse monovis est de loin la machine la plus répandue dans l'industrie de transformation des thermoplastiques. La figure 1 explique le principe de fonctionnement de ce type de machine.

La matière brute, sous forme de poudre ou de granulés, est introduite à l'extrémité d'une vis d'Archimède qui tourne dans un cylindre réglé en température.

Le déplacement de la matière résulte de l'action des filets de la vis sur la matière qui frotte ou adhère à la paroi interne du cylindre. Si la matière colle à la vis, l'effet d'extrusion est nul, au contraire, l'adhérence de la matière au cylindre augmente le processus d'écoulement.

Le coefficient de frottement varie avec la température et la matière extrudée, ce qui impose le chauffage du cylindre de la machine. En réalité, l'écoulement de la matière dans le canal de la vis pendant la rotation de l'extrudeuse résulte de l'action de quelques forces composantes.

2.1.2 - Principaux éléments des extrudeuses monovis

L'extrudeuse monovis se compose de cinq modules :

- vis-cylindre avec leur équipement,
- groupe moteur,
- tête d'extrusion porte filière,
- châssis,
- centrale de commande et de contrôle.

Vis (géométrie, construction)

Elle représente l'élément principal de l'extrudeuse et caractérise les possibilités de la machine. La vis, qui tourne à l'intérieur d'un cylindre chauffé, est entraînée par un moteur électrique. Son centrage est assuré par le cylindre.

- Le jeu entre le sommet des filets de la vis et le cylindre varie de 0,8 à 0,12 mm pour les diamètres < 40 mm et de 0,12 à 0,18 pour les cylindres de Ø 40 à Ø 63 mm.
- La longueur de la vis est exprimée en nombre de diamètres. Dans les machines modernes, elle se situe entre 20 et 35 fois le diamètre.
- Le dessin optimal de la vis dépend de la matière extrudée et de la filière montée dans la tête de la machine. Elle peut être à pas constant, ou à pas successifs différents ; le noyau de la vis peut être cylindrique ou conique (fig. 2 et 3).

Les vis en acier allié à haute résistance à la fatigue sont nitrurées, trempées à la flamme ou stellitees. Elles possèdent un canal de refroidissement percé soit sur toute la longueur, soit sur une partie. L'angle optimal de la spirale dans cette zone dépend de la consistance de la matière extrudée - (pour une poudre $\alpha_{opt} = 30^\circ$, pour des granulés $\alpha_{opt} \approx 15^\circ$). Dans les machines industrielles, on utilise un angle de 20 à 25°, ce qui présente un compromis pour la plupart des matières extrudées.

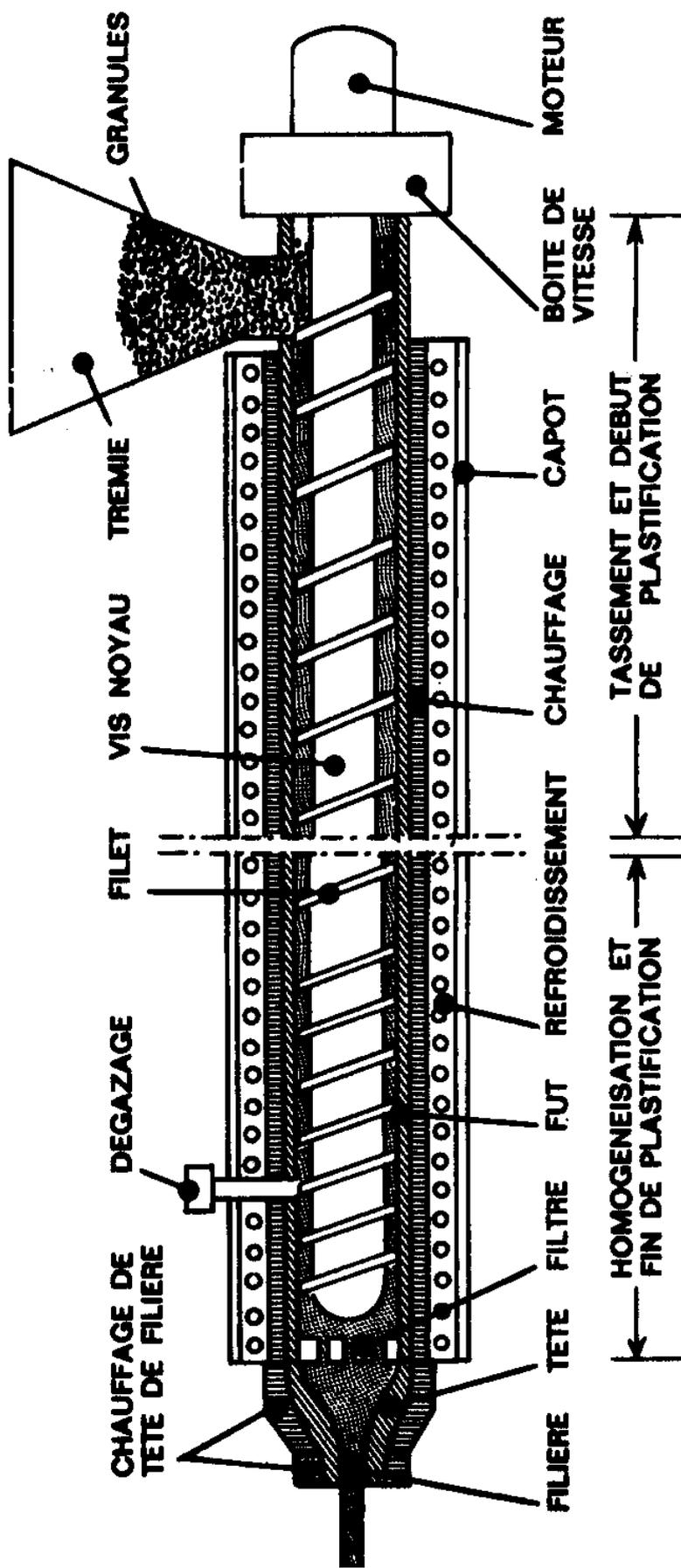


Figure 1

Les constructeurs offrent un grand nombre de profils de vis spécialement conçues pour différentes matières qui peuvent être montées en s'ajustant avec les cylindres sur les extrudeuses de leur fabrication.

Zones fonctionnelles de la vis

Fonctionnellement la vis se compose de trois zones différentes : une zone d'alimentation ou d'entrée, une zone de compression ou de fusion et une zone de régularisation, appelée aussi zone de sortie ou de pompage (fig. 4).

- C'est dans la zone d'entrée (alimentation) que se développe "la force de poussée". Pour y parvenir, il est nécessaire que la matière ne tourne pas avec la vis, mais qu'elle soit retenue dans sa rotation par le cylindre. Au contraire, elle doit glisser sur la vis dont la surface sera polie et la température sera inférieure à celle du cylindre grâce à un circuit de refroidissement incorporé dans le noyau de la vis. La température du cylindre (réglée à l'aide de colliers chauffants) sera choisie de manière à augmenter le facteur de frottement.
- Dans la zone centrale (de fusion), la température de la matière augmente par l'apport de chaleur de l'extérieur et par le travail des forces de cisaillement au sein du matériau. Le brassage dans le canal de la vis contribue à la répartition uniforme des températures dans la matière.
- Dans cette zone, les granulés se transforment en masse fondue, ce qui est accompagné par la diminution du volume apparent. Ce phénomène est compensé par le rétrécissement de la section du canal de la vis, obtenu par la conicité du noyau (le pas de la vis restant constant) ou par un pas successif diminuant avec un noyau cylindrique.
- Le rapport de la section du canal S_e à l'entrée de cette zone, à la section S_s à la sortie, est appelé le taux de compression T_c , et correspond au rapport du volume apparent de granulés au volume de la matière fondue.
- La longueur de la zone de compression dépend de la nature physique et chimique de la matière extrudée.
- Plusieurs matières ont tendance à dégager, dans cette zone, des corps volatils. Les constructeurs ont résolu ce problème en provoquant la décompression par la diminution du taux de compression de la vis et par l'aspiration des gaz au travers d'un orifice de ventilation (dégazage ou désaération).
- Dans la troisième zone s'effectue le brassage, le mélange et l'homogénéisation de la matière fondue. Pour une meilleure répartition de la chaleur, la profondeur des filets de la vis diminue. Souvent, dans cette zone, on introduit une sorte de chicane qui augmente l'effet de malaxage.

Chauffage et régulation de la température

Le cylindre est chauffé et refroidi, ce qui permet de répartir et de maintenir, avec précision, la température adéquate dans toutes les zones.

- En général, ce chauffage est assuré par résistance électrique ou par induction (colliers chauffants répartis le long du cylindre).
- Le refroidissement peut être assuré par circulation forcée d'air autour du cylindre ou de fluide introduit dans les tubulures de circulation autour du cylindre.
- La zone située au niveau de l'orifice d'alimentation est refroidie (en général par circulation d'eau) pour empêcher le collage de granulés et la formation d'une voûte de matière dans la trémie qui couperait l'alimentation.

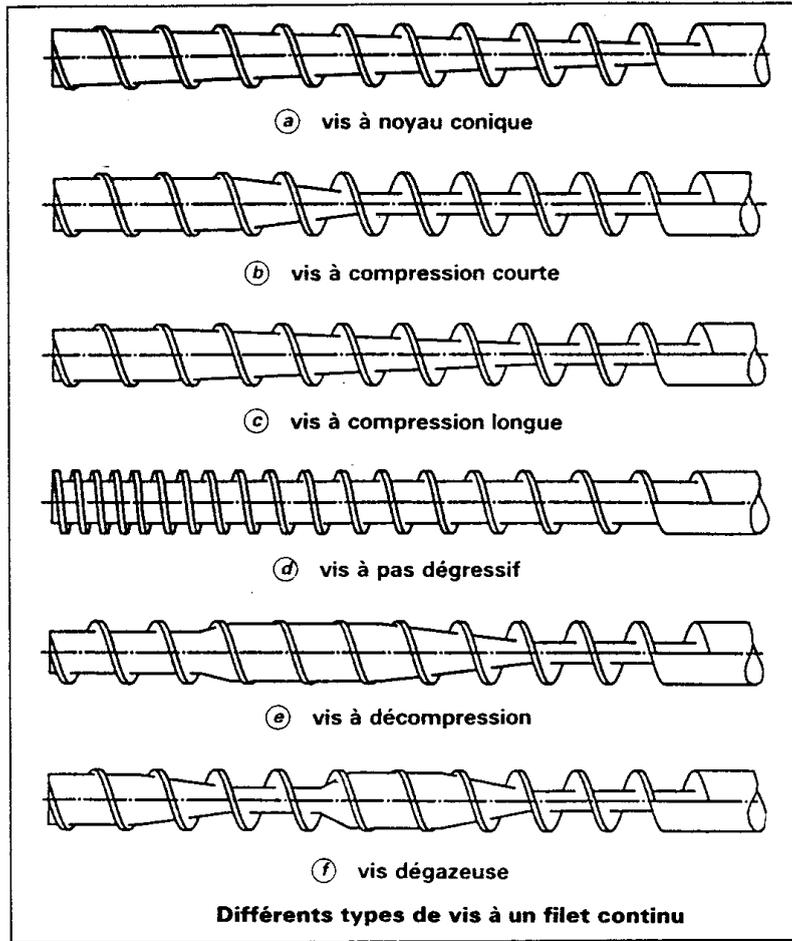


Figure 2

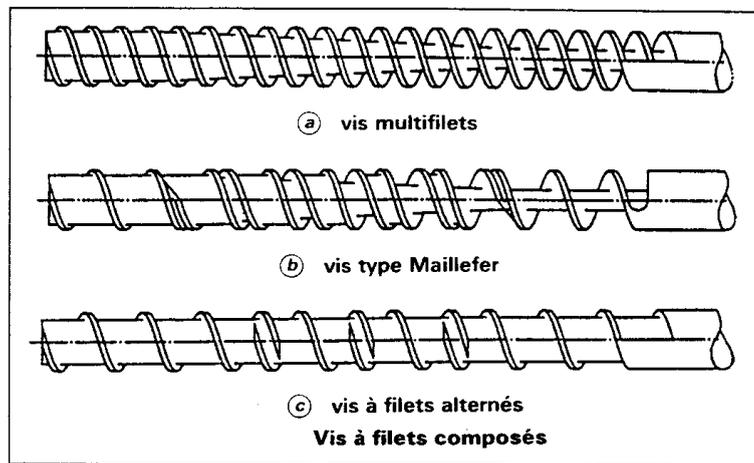


Figure 3

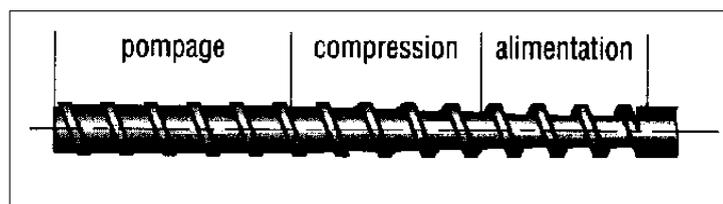


Figure 4

- Chaque zone de chauffage est équipée d'un régulateur de température (en général PID à modulation) dont l'affichage se trouve sur l'armoire de commande de l'extrudeuse.
- La puissance des éléments de chauffage dépend du diamètre de la vis et du rapport L/D.
- Le rendement de la vis classique ne dépasse pas 20 à 40 % et est inversement proportionnel à la vitesse de rotation. Si la zone de compression est trop éloignée de l'alimentation, l'homogénéisation mécanique et thermique est insuffisante, etc.
- on a développé des vis dites à deux étages avec la zone de décompression et le dégazage dans la partie centrale. Le dégazage en trémie sous vide est de plus en plus utilisé sur les extrudeuses. Il a pour objet d'aspirer hors de la matière à transformer et de l'atelier : les monomères résiduels, l'humidité, l'air, les gaz, les vapeurs d'additifs à bas point d'ébullition. Outre les avantages en ce qui concerne l'hygiène du travail, ces dispositifs améliorent le rendement de l'extrudeuse.
- Certains constructeurs ont augmenté le rendement de fusion dans la zone de compression par l'incorporation d'un deuxième filet uniquement le long de cette partie de la vis (fig. 3) - vis BM-C. Maillefer. On a obtenu ainsi des débits considérablement plus élevés qu'avec les vis conventionnelles.
- D'autres solutions ont été proposées. L'extrudeuse à deux étages en "L" dans laquelle le premier étage chauffe, pousse, comprime, décomprime et dégaze la matière, et le deuxième étage l'homogénéise et l'extrude par la filière.
- Le système dérive du partage des rôles de la vis à deux étages, décrite ci-dessus. Par un meilleur contrôle thermique des deux corps de la machine et par la possibilité de réglage indépendant des vitesses, on obtient une excellente souplesse de l'ensemble. Ces extrudeuses peuvent transformer une large gamme de matières avec un rendement élevé.

2.1.3 - Tête d'extrusion - porte filière

Construction de la tête

La tête présente un élément monté au bout du cylindre de l'extrudeuse, en aval de la vis. Son rôle est de laisser passer la matière plastifiée par la filière qui lui donne la forme de la section voulue.

Plusieurs filières différentes peuvent être montées dans la même tête à condition que leurs gabarits correspondent aux dimensions de cette dernière et que l'ensemble réponde au diamètre de la vis.

Entre le cylindre et la tête est fixé le porte-tamis, appelé aussi la grille de répartition. Il se compose généralement d'une ou de deux plaques d'acier au chrome percées de trous. Entre les deux plaques (ou dans le cas d'une plaque unique, en amont de celle-ci) sont empilés des tamis.

Leur rôle n'est pas limité au seul filtrage des impuretés. Ils assurent une contre-pression en bout de vis et régularisent le flux de matière.

L'épaisseur des grilles varie de 6 à 50 mm, et le diamètre des orifices dépend de la taille de l'extrudeuse (0,8 à 5 mm et plus). Les bords d'orifices sont profilés pour éviter la création de zones de stagnation de la matière.

De temps en temps, le nettoyage des grilles est nécessaire. On utilise de plus en plus des changeurs de filtres automatiques sans coupure de l'écoulement, montés entre la tête et le cylindre.

Types de têtes

On distingue quatre types de têtes :

- la tête d'extrusion droite pour la fabrication des profilés et des tubes (fig. 5),
- la tête d'équerre verticale pour l'extrusion-soufflage, l'extrusion-gonflage et l'extrusion de filaments (fig. 6),
- la tête d'équerre horizontale ou oblique pour le recouvrement de câbles et de profilés (fig. 7),
- les têtes spéciales pour l'extrusion de feuilles et de plaques (têtes plates), l'enduction du papier, la co-extrusion appliquée aux produits fabriqués avec les trois types ci-dessus.

Filières

Dans chacune des têtes, la filière est l'outil qui donne la forme au flux de la matière plastifiée, afin d'obtenir le profil demandé. Elle est amovible et doit se démonter facilement pour être nettoyée ou changée. (Acier traité ou acier au chrome).

Du point de vue fonctionnel, on peut classer les filières de la façon suivante :

- filières sans poinçon : pour les profils pleins (joncs, fils, plaques, profils à sections diverses),
- filières avec poinçon : pour les profils creux (tubes à section circulaire, rectangulaire ou autre, paraisons, gaines, etc.),
- filières avec poinçon montées sur tête équerre : pour la réalisation de gainages des profils en métal ou autres matières ou pour la réalisation de gaines gonflées.
- filière pour la co-extrusion (à entrées multiples pour les profils pleins, pour le gainage et pour l'extrusion de films).

La filière est fixée à l'extrémité de la tête, elle peut ou non dépasser l'extrémité de la tête.

Certains types de filières exigent un centrage, généralement réalisé par les vis réparties radialement autour de la tête.

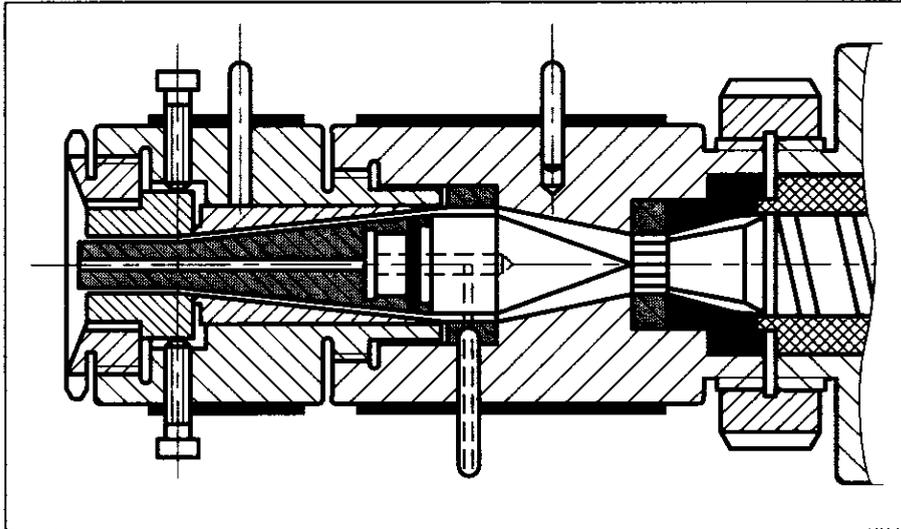
2.2 - Extrudeuses à deux et plusieurs vis

2.2.1 - Extrudeuse à deux vis

Cette machine joue un rôle important dans l'industrie de transformation grâce à la particularité qu'elle peut extruder toutes les matières thermoplastiques avec les mêmes vis.

- Son travail rappelle le fonctionnement d'une pompe à vis. Elle se distingue en outre par la régularité de son alimentation, ce qui entraîne une progression constante de la matière fondue.
- Ce genre de machines garantit une plastification délicate de la matière et une excellente homogénéité. Elles s'appliquent aux mélanges en poudre tels que, par exemple, PVC non plastifié et à la préparation de compounds (mélange polymère + charge, renforts, colorants...).
- L'extrudeuse à deux vis est à conseiller pour la production de profilés de grandes dimensions, en raison de la régularité, de la pression engendrée et du débit.

Figure 5



Tête droite équipée d'une filière pour tubes.

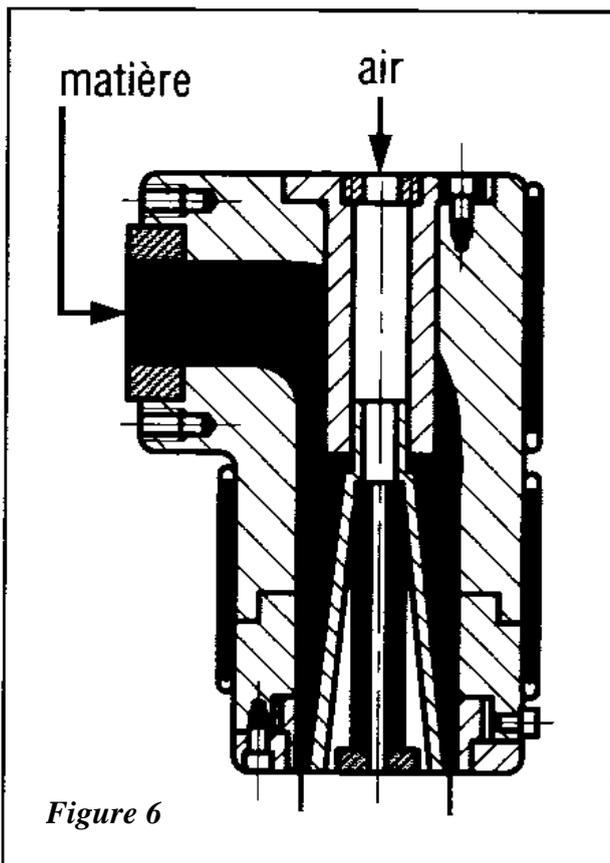


Figure 6

Tête d'équerre pour gaine soufflée.

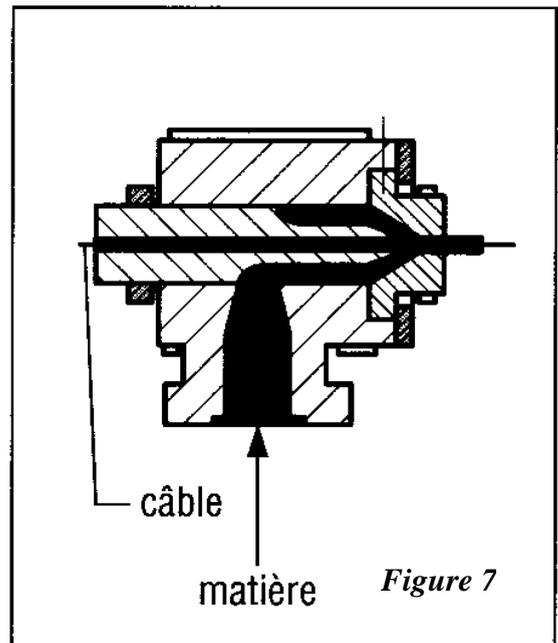


Figure 7

Tête d'équerre pour gaine de câbles.

Principe de fonctionnement

L'extrudeuse se compose de deux vis qui tournent dans deux orifices du cylindre et dont les axes sont parallèles à l'axe principal de ce cylindre. L'écart des deux axes d'orifices correspond à la distance entre les deux vis dont les sommets entrent réciproquement dans les canaux (fig. 8).

Le pas des deux vis peut être constant ou non et les noyaux peuvent être cylindriques ou coniques (fig. 9 et 10). Les deux vis (filetées à droite ou à gauche) peuvent tourner dans le même sens (corotative), ou une vis filetée à droite et une deuxième filetée à gauche peuvent tourner en sens inverse (contrarotative). Le cheminement de la matière dans l'extrudeuse à deux vis est différent de celui dans l'extrudeuse monovis. La matière remplit les canaux des deux vis par tranches divisées par la ligne de contact des vis. Si les deux vis tournent dans le même sens (vis corotatives), la matière s'écoule dans un espace en forme d'un "8" légèrement déformé et subit un malaxage très fort. Le passage d'une zone à une autre est réduit, mais l'effet de mélangeage est important.

Dans le cas de la rotation en sens inverse (vis contrarotatives), la matière est enfermée dans un espace en forme de "C". Elle subit un broyage très fort en passant par la ligne de contact des vis. Cette action contribue à l'homogénéisation des produits extrudés.

Débit

Le débit de l'extrudeuse à deux vis est proportionnel à la vitesse de rotation des vis.

Le rendement volumique des vis est assez important et indépendant de la pression. La puissance nécessaire à l'extrusion d'une machine monovis est proportionnelle au carré de la masse de matière extrudée, tandis que dans les extrudeuses bivis la puissance est relativement petite par rapport à la masse extrudée. Le dosage de la chaleur est mieux contrôlé, ces machines s'appliquent avec succès aux matières délicates comme par exemple au PVC non plastifié.

Tous les apports concernant l'amélioration de l'effet de mélangeage, de l'homogénéisation et du dégazage présentés à l'occasion de la description de l'extrudeuse monovis sont retrouvés ici.

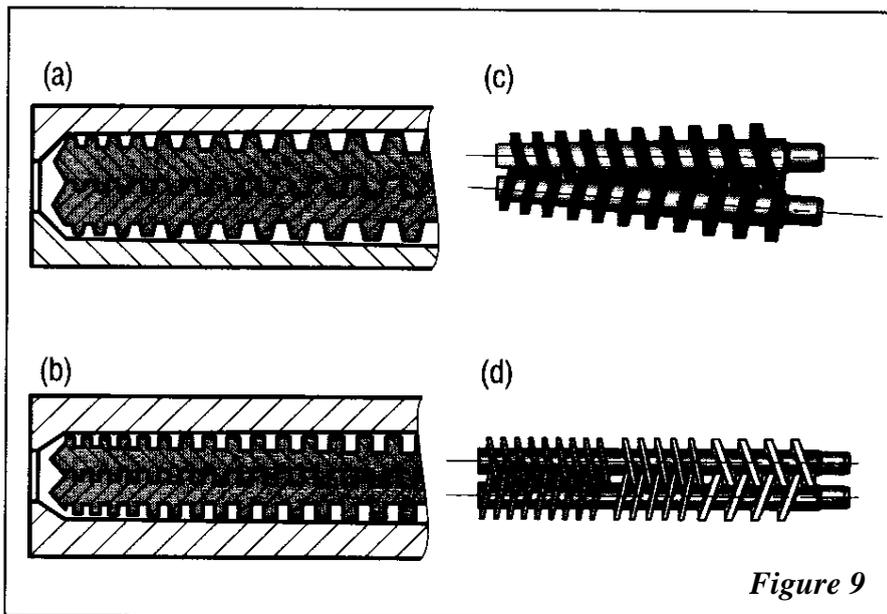
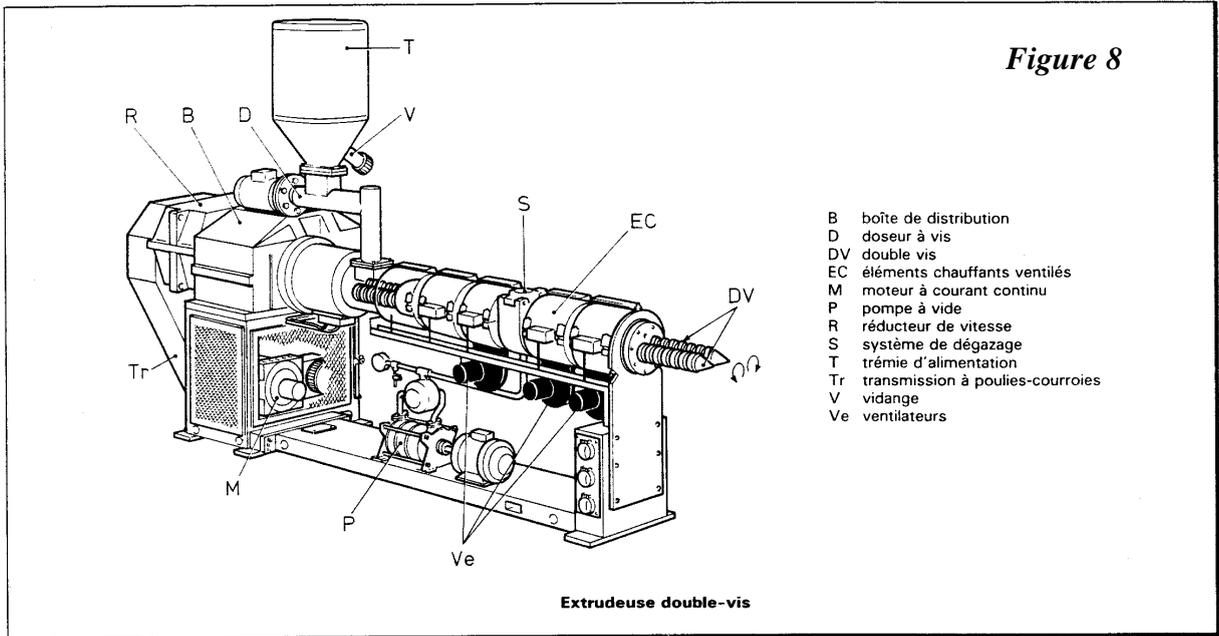
2.2.2 - Extrudeuses spéciales

Les excellents résultats de mélangeage obtenus sur les extrudeuses double-vis ont poussé les constructeurs au développement de machines (dérivées de ces dernières) pouvant remplir simultanément plusieurs fonctions telles que : mélangeage, malaxage, dégazage, incorporation de charges et de renforts, granulation et même permettant d'obtenir certaines réactions chimiques en continu.

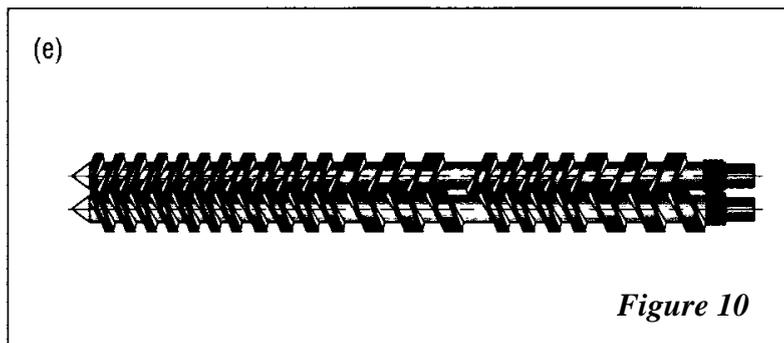
Ces procédés peuvent être utilisés pour :

- la fabrication des plastiques techniques (stabilisation, coloration, plastification, dégazage, granulation),
- la fabrication des "alliages" d'un polymère avec un second composant polymère (exemple : PE + PA, PPO + PS ou ABS + caoutchouc),
- la fabrication des compounds : plastiques mélangés à des composants minéraux, charges et renforts (exemple : fibre de verre, courte ou longue).

L'extrusion compoundage peut être directement appliquée dans la ligne de production de plaques par calandrage.



Exemple de configuration de bi-vis.



Exemple de configuration de bi-vis.

Les machines utilisées pour ces procédés sont de construction modulaire, avec montage d'éléments de vis à différentes géométries sur un arbre cannelé associés à des éléments de cylindre de longueur 4 à 6 D.

A - 3 LIGNES D'EXTRUSION

Pour la fabrication en continu des produits semi-ouvrés d'un profil déterminé, il faut équiper l'extrudeuse d'un outillage qui se compose : d'une tête porte filière, d'une filière (pièce conçue spécialement pour obtenir un profil déterminé), d'un calibre refroidisseur ou conformateur (composé d'un dispositif dans lequel certaines pièces sont adaptées au profil extrudé) et d'un ensemble de réception.

Le choix de l'extrudeuse dépend de la matière transformée et du débit qui est une fonction de la forme du profilé.

Le matériel qui compose la ligne d'extrusion dépend de la technique propre à chaque produit.

3.1 - Extrusion de tubes

Une installation pour la fabrication des tubes rigides ou souples comprend les éléments suivants : extrudeuse, tête d'extrudeuse droite ou équerre, équipée d'une filière, appareil de calibrage, système de refroidissement, système de tirage, dispositif de sciage automatique à la longueur voulue (pour les tubes rigides), ou de bobinage (pour les tubes souples, fig. 11).

Comme équipement supplémentaire, la chaîne d'extrusion peut être équipée d'un appareil automatique de contrôle de l'épaisseur, d'un dispositif de marquage et d'un dispositif de stockage de tubes coupés.

La tête destinée à la fabrication de profils creux tels que : tubes carrés ou rectangulaires, profils avec cloisons, etc., est munie de filières avec poinçon. Cet élément est centré par des ailettes dont l'une est percée pour laisser l'air sous pression de 0,5 à 2 bars.

Le diamètre extérieur de la filière, le diamètre du poinçon, la longueur de la zone conique et cylindrique (entre les ailettes du poinçon et la sortie de la filière), dépendent du type de matière extrudée et doivent être fixés d'après les indications données par le fournisseur.

Dans le cas contraire, il faut arriver aux dimensions en ajustant la filière expérimentale en se servant des règles suivantes : le débit de la filière (à tube) pour un gradient de pression donné, doit être à peu près proportionnel au diamètre moyen du tube, proportionnel au cube de l'épaisseur de la paroi, inversement proportionnel à la longueur de la zone cylindrique de la filière.

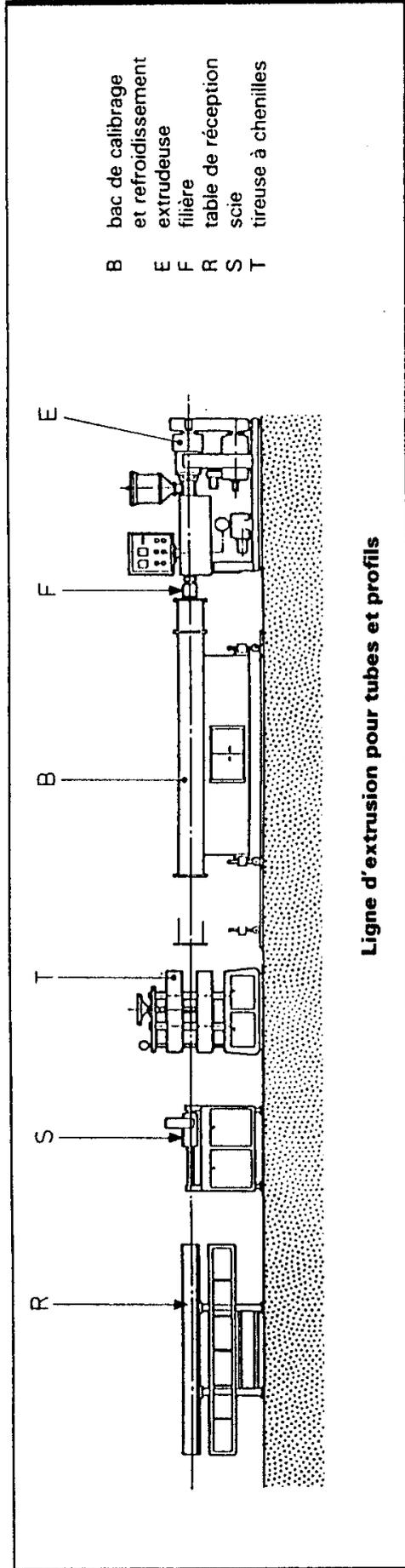
3.2 - Extrusion de profilés creux

En général, l'équipement de la chaîne d'extrusion diffère peu de la ligne de production de tubes à sections circulaires.

Les tubes carrés ou rectangulaires, les profils creux avec cloisons, tels que par exemple les lames de volets, les gaines, etc. exigent des filières soigneusement adaptées à la forme de l'extrudat, surtout dans le cas de profils dissymétriques dont les parois ont des épaisseurs différentes.

La conformation et le calibrage sont faits à l'aide du dispositif "à canal sec".

Le tirage réalisé à l'aide d'un tireur à chenilles donne pleine satisfaction.



Ligne d'extrusion pour tubes et profils

Figure 11

3.3 - Extrusion de profilés pleins, de joncs et de profilés à sections diverses

Pour cette catégorie de produits, on utilise une tête d'extrusion droite et une filière sans poinçon. Les profils ouverts, pas très épais, exigent des guides supplémentaires pour éviter la déformation des bords.

Si une section de ce type de profilé présente un déséquilibre de masse, un soin particulier doit être apporté à la conception de la filière pour obtenir les cotes correctes et l'absence de contraintes après le refroidissement.

En général, on exécute plusieurs morceaux (commodité de réalisation) en commençant par façonner la section du profilé bien profond dans le corps de la filière pour obtenir la vitesse d'écoulement la plus régulière possible sur toute la périphérie de la section.

La mise au point de la filière se fait par retouches et par essais successifs.

La conformation s'effectue par calibrage au niveau du bac de refroidissement.

Les profils pleins et irréguliers présentent des difficultés non seulement au niveau du dessin de la filière, mais aussi au niveau du comportement thermique des matières extrudées. La mauvaise conduction de la chaleur s'oppose à un refroidissement rapide et efficace pendant la fabrication de profilés.

Cependant, on arrive à la forme correcte des profilés en jouant sur la vitesse de tirage, en accord avec le chauffage au niveau de l'extrudeuse et de la tête et sur la conformation.

3.4 - Extrusion de plaques et de feuilles

Les profilés très plats et larges sont considérés comme des plaques ou feuilles et leur production par extrusion est courante dans l'industrie.

Un produit rigide d'épaisseur supérieure à 0,5 mm et généralement coupé en longueur porte le nom de "plaques" tandis qu'un produit souple ou semi-rigide, d'épaisseur inférieure à 0,25 mm, qui peut-être enroulé sur une bobine, est appelé "feuille".

L'extrusion de ces articles exige un équipement spécial pour ce qui concerne la tête, la filière et les dispositifs de réception (fig. 12).

3.5 - Couchage et plaxage ⁽¹⁾

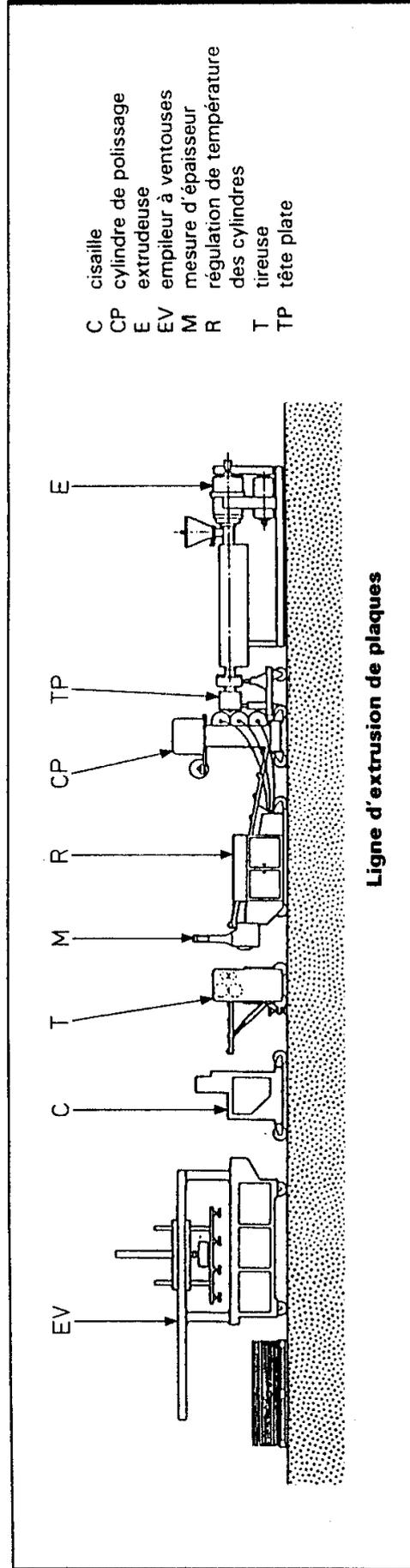
⁽¹⁾ *Le terme "plaxage" se rapporte à la technique analogue appliquée au support rigide et semi-rigide, par exemple des plaques.*

La technique de couchage du film plastique sur un support par exemple de papier, est assez semblable à celle de la fabrication des feuilles.

Elle consiste à répartir un film de plastique fondu sur toute la largeur du support qui défile sous la filière de l'extrudeuse. L'adhésion du film plastique au support est assurée par la pression de deux rouleaux entre lesquels passe l'extrudat et la bande-support. On applique le couchage sur différents types de papier et de carton, sur des tissus, sur des films cellulosiques ou sur de l'aluminium en feuille.

Dans la plupart des cas, l'extrudeuse est équipée d'une tête filière plate, qui débite vers le bas (1) et dont la longueur est parallèle à l'axe de la machine (fig. 13).

Le support, par exemple le papier (fig. 13) se déroule de la bobine (2) et passe entre le rouleau (3) et le rouleau-tambour (4) où il est recouvert par le film chaud, sortant de la tête de l'extrudeuse (1). Le premier rouleau est recouvert de caoutchouc et le tambour de laminage (4) est en acier, poli et chromé.



Ligne d'extrusion de plaques

Figure 12

La température de surface de ce dernier est régulée grâce à un circuit d'eau. La matière, en général plus chaude que dans le cas de l'extrusion normale, doit toucher le support avant de passer entre les rouleaux, d'où la nécessité d'un réglage précis de la géométrie de l'ensemble. Il existe des chaînes qui permettent d'excentrer le couchage de deux côtés du support. Les deux techniques, l'extrusion de feuilles et le couchage, peuvent être combinées pour fabriquer les feuilles et les plaques "sandwich" recouvertes d'un côté ou des deux par un film.

En général, la couche extérieure présente certains avantages techniques ou d'aspect par rapport à la couche intérieure. Elle peut, par exemple, être plus brillante, plus dure ou représenter un dessin.

Mais le film fixé en surface doit avoir une bonne compatibilité avec le support, par exemple : PS brillant (dur) - PS choc, ou PVC rigide - PVC plastifié, etc.

3.6 - Gainage des câbles

La technique de gainage des câbles avec du caoutchouc à l'aide d'une extrudeuse est connue depuis un siècle. Les propriétés physico-chimiques des matières plastiques utilisées comme isolation des câbles ont considérablement élargi la gamme de ces produits.

Le gainage des câbles est réalisé à l'aide d'une tête-équerre spéciale, à travers laquelle passe le câble devant recevoir la matière plastique extrudée.

La chaîne de fabrication est composée d'un dispositif servant à dérouler le câble (un dévidoir) à axe horizontal qui alimente la tête-équerre horizontale de l'extrudeuse.

Avant l'enrobage, le câble nu est préchauffé pour assurer une meilleure adhésion du plastique au métal ($\approx 95^{\circ}\text{C}$). Plusieurs systèmes sont utilisés : par rayonnement, par résistance propre (entre deux électrodes glissantes), par gaz ou par induction pour les diamètres plus importants.

On utilise deux types de filières en fonction de l'épaisseur de la gaine déposée sur le câble. La filière du type "tube" est la plus utilisée et elle permet : de recouvrir un câble dont le diamètre varie légèrement, de doubler le câble déjà recouvert avec du plastique, de déposer une gaine très mince. Le diamètre de la gaine extrudée est légèrement supérieur au diamètre du câble et le placage du plastique est obtenu grâce à la dépression créée entre la gaine et le câble.

La filière du type "à pression" (le procédé s'appelle aussi "en bourrant") est utilisée là où l'on veut obtenir un bon poli de surface et une épaisseur importante. Le placage du plastique est obtenu grâce à la forme de la busette qui fournit la pression d'adhérence.

Le câble enroulé est tiré par le cabestan de tirage pour être enroulé ensuite sur le touret bobineur. Ce dispositif est équipé d'un chargeur automatique substituant à une bobine vide une bobine pleine.

Entre la tête de l'extrudeuse et le cabestan, le câble est refroidi dans un bac à eau à températures décroissantes, séché et contrôlé en continu. Les dispositifs de contrôle sur le fil peuvent se composer d'un appareil de mesure du diamètre du fil, du diamètre du fil isolé, de la capacité du fil par rapport à l'eau du bac, d'un appareil pour tester la qualité de l'isolant, d'un appareil de mesure de l'allongement du fil dans la ligne.

Le débit d'une chaîne d'enrobage de fils peut atteindre 2 500 à 3 000 m/min.

L'extrudeuse est souvent alimentée par un fil qui subit dans le même cycle un tréfilage, par exemple en passant du diamètre de 2 mm à un diamètre de l'ordre de 0,3 à 1 mm.

Ce fil est recuit avant d'être isolé. Il existe des têtes qui permettent la pose simultanée de deux couches de matière.

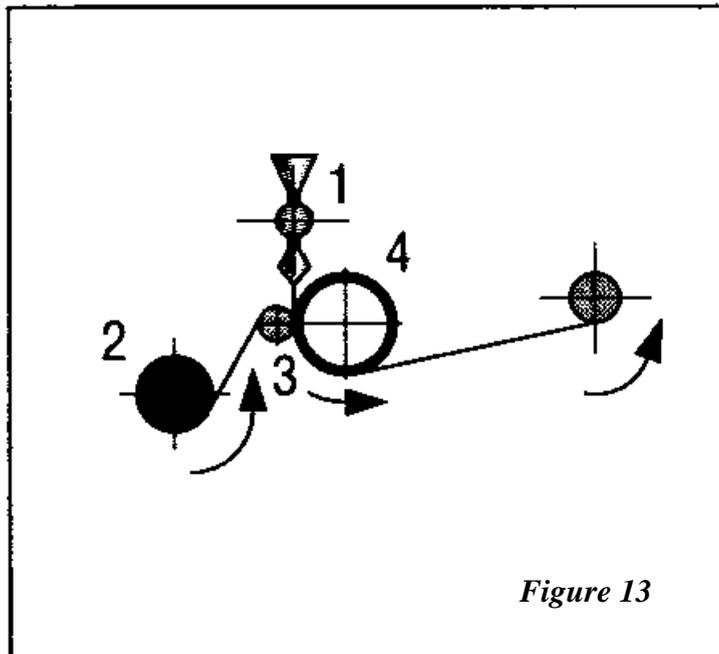


Figure 13

Couchage du papier

3.7 - Extrusion-gonflage de films

3.7.1 - Généralités

La technique de l'extrusion-gonflage (appliquée au début au polyéthylène b.d.) avait bouleversé le marché des films plastiques dont la production par calandrage était relativement chère.

Elle s'applique à la plupart des matières thermoplastiques (qui, à l'état fondu, ont une viscosité élevée et résistent à l'oxydation) et permet de fabriquer un film très fin, jusqu'à 10 µm d'épaisseur.

Le débit d'une chaîne d'extrusion-gonflage pour du polyéthylène b.d. dépasse 500 kg/h - épaisseur du film 60 à 200 µm.

La production du film fin par extrusion à plat et calandrage exige du matériel cher et délicat. Le principe d'extrusion du film ($e < 0,25$ mm) est semblable au principe d'extrusion de feuilles à plat (paragraphe 3.4), seulement la réception et le calandrage successif de l'extrudat jusqu'à l'épaisseur de films voulue exigent de l'équipement de précision plus important que dans le cas de feuilles et de plaques (tableau 2).

3.7.2. - Principe

La technique de production de film par extrusion-gonflage consiste à extruder une mince gaine qui, momentanément pincée, est gonflée avec de l'air (fig. 14). L'air qui remplit la gaine est introduit par l'axe de la tête-filière annulaire utilisée pour cette production. Le dispositif de refroidissement placé au niveau de la gaine déjà gonflée arrête l'étirage du film. Ce phénomène est provoqué par la solidification de la matière refroidie qui supporte alors les contraintes provenant du gonflage. Le film, en forme de bulle, est ensuite aplati par un dispositif appelé "foulard" composé de deux panneaux convergeant vers les rouleaux pinceurs.

L'étirage en direction transversale est obtenu par la surpression de l'air dans la gaine extrudée et pincée par deux rouleaux-tireurs (un rouleau est recouvert de caoutchouc et l'autre est en acier).

L'étirage en direction longitudinale résulte du rapport de la vitesse de l'étirage et de la vitesse d'extrusion.

Les rouleaux-pinceurs jouent le rôle d'un bouchon qui reste fixe quand le film se déplace. Les petites fuites entre les rouleaux ou par les petits trous sont compensées par une soupape automatique très sensible de soufflage d'air. La pression d'air emprisonné dans la gaine varie de 0,01 à 0,02 MPa.

On applique l'extrusion-gonflage vers le haut pour les PEbd, PEhd et leurs copolymères. L'extrusion vers le bas, avec le refroidissement dans un bain d'eau se pratique pour le PP, ce qui donne une excellente transparence au film. L'extrusion horizontale, assez délicate à réaliser, est utilisée dans le cas du PVC, ce qui supprime la tête d'équerre dans laquelle la matière risque de brûler.

3.8 - Co-extrusion

3.8.1 - Principe de la méthode

C'est une technique de fabrication d'un extrudat dont la section se compose de zones ou de couches de différentes matières qui, étant extrudées simultanément, donnent une excellente

technique de fabrication	épaisseur en micromètres			
	minimum possible courant		maximum possible courant	
extrusion par filière plate	10	12-120	qq mm	500
extrusion- gonflage	10	20	800	500

Tableau 2 Comparaison des épaisseurs possibles en extrusion par filières plate et extrusion-gonflage.

homogénéité mécanique. On peut co-extruder des profilés, des tubes, on peut recouvrir des câbles avec plusieurs couches de matières différentes et de différentes couleurs ; on produit par extrusion-soufflage des objets creux composés de plusieurs couches, ou on extrude des feuilles et des films multicouches par extrusion-gonflage. Cette technique permet de fabriquer des éléments dont une partie de section se compose par exemple de la même matière mais plastifiée, ce qui est utilisé dans les profilés-joints pour les bâtiments.

Elle permet de produire par exemple des tuyaux multicolores ou multicouches pour des raisons techniques ; la couche extérieure assure la résistance mécanique et la couche intérieure la résistance chimique ou l'étanchéité. Dans le domaine de la fabrication des feuilles et des films, elle permet de composer les différentes couches d'après les qualités des matières choisies, par exemple, à l'extérieur, une couche résistant à l'abrasion et à l'intérieur une couche étanche. On applique la co-extrusion de la même matière (par exemple film dans lequel on réduit le risque de micro trous par la superposition de deux couches) ou on co-extrude des couches de matières différentes ; celles-ci doivent être compatibles entre elles pour assurer la résistance contre la délamination.

Cette compatibilité doit être triple : physico-chimique, concernant les matières extrudées, rhéologique à l'état fondu - ce qui conditionne un écoulement de ces matières dans la filière, et physique dans la gamme de températures d'utilisation de l'extrudat (par exemple, il ne serait pas souhaitable d'avoir une grande différence du coefficient de dilatation thermique ou le gonflement d'un des composants sous l'effet d'humidité).

3.9 - Extrusion d'allégés

3.9.1 - Généralités

Les profilés, les plaques et les feuilles extrudés en matières allégées présentent actuellement un intérêt croissant sur le marché des produits en matières plastiques.

Ces produits ont des avantages techniques considérables et sont plus économiques que les éléments fabriqués en matières classiques, compte tenu de leur poids réduit pour des qualités mécaniques presque identiques. L'extrusion fut maîtrisée d'une part grâce aux efforts des fabricants qui fournissent des matières premières adéquates et d'autre part des constructeurs de machines adaptées à cette technique de mise en œuvre.

3.9.2 - Technique d'extrusion d'allégés

La structure cellulaire de matériaux allégés est obtenue par l'incorporation à la matière plastique de base d'un agent qui, au moment de la transformation, sous l'action de la chaleur, se transforme en petite bulle de gaz ou de vapeur. Il existe une autre méthode (appelée "injection directe") qui consiste à introduire un gaz sous pression, directement dans la matière malaxée dans une extrudeuse.

La température de ce mélange est diminuée progressivement pendant qu'il est transféré vers la filière pour être extrudé. Cette technique exige des extrudeuses spéciales, souvent à deux vis en tandem. Le taux d'expansion dépend du produit chimique incorporé à la matière première et du traitement de l'extrudat au moment de l'extrusion.

En général, ce taux pour les agents d'expansion qui dégagent du gaz (dans la plupart des cas, de l'azote) varie de 2 à 4. Les produits chimiques qui se vaporisent permettent d'augmenter ce taux jusqu'à 12. Le taux d'expansion est réglé par le refroidissement de l'extrudat à la sortie de la filière. La matière contenant l'agent d'expansion est maintenue à une température et une pression qui ne permettent pas aux gaz de s'expanser. Au moment du passage par les derniers filets de la vis et la filière, la température augmente, la pression tombe et le dégagement de

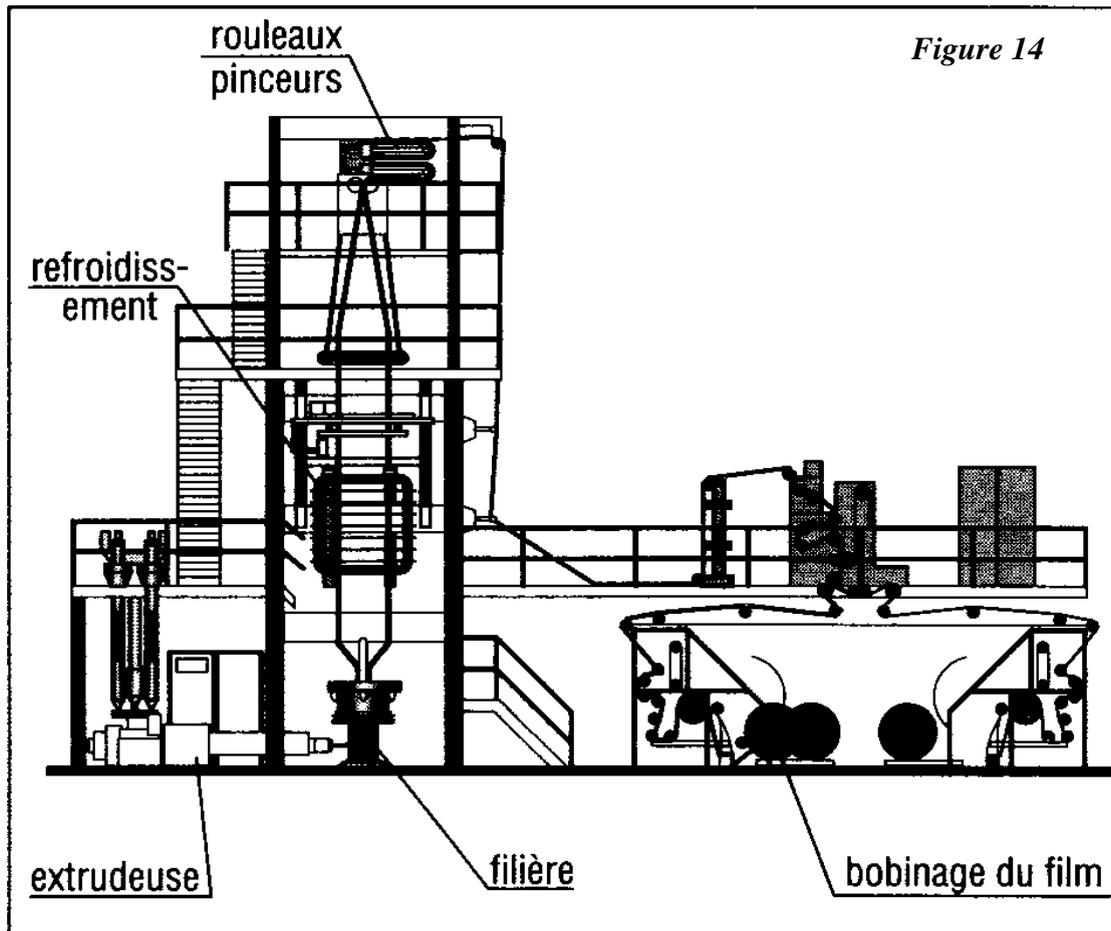


Figure 14

Schéma d'une installation d'extrusion-gonflage de films

bulles de gaz commence. Immédiatement à sa sortie de filière, la matière passe par le calibre-refroidisseur qui arrête le dégagement de bulles de gaz à la surface du profilé. La conductibilité thermique d'une matière expansée est très mauvaise et le procédé de refroidissement est lent, ce qui oblige un refroidissement long. Une régulation précise de la température et de la vitesse est indispensable.

A - 4 MODIFICATIONS SPECIFIQUES POUR LE RECYCLAGE

L'extrudeuse est une machine de plastification des thermoplastiques ; elle a été conçue et a prouvé son efficacité pour les matières plastiques vierges. Toutefois, elle reste très largement employée dans le recyclage des déchets de matières plastiques bien que, sans adaptation, elle comporte quelques inconvénients.

- **l'alimentation** : une extrudeuse monovis exige d'être alimentée par une matière de densité élevée et régulière et d'écoulement solide facile. En effet, le coût et la qualité du produit extrudé dépendent du débit et de sa régularité. Or la densité de la matière plastifiée est proche de 1 alors que celle des déchets en entrée est parfois inférieure à 0,1. Le débit volumique en entrée doit donc être très important. La géométrie d'une extrudeuse standard n'admet pas un tel débit volumique. De plus, la forme irrégulière des déchets peut conduire à un écoulement difficile dans la trémie. La matière doit donc être densifiée ou l'extrudeuse modifiée.
- **la plastification** : la plastification résulte de la friction à l'état solide et de la dissipation visqueuse à l'état fondu. Une extrudeuse monovis standard exige une matière de coefficient de frottement élevé et régulier et de viscosité constante. Or les déchets ont souvent un coefficient de frottements faible et une viscosité irrégulière qui affectent le débit de l'extrudeuse.
- **le malaxage** : l'extrudeuse monovis est conçue pour les matières vierges homogènes. Elle mélange peu et inégalement la matière plastifiée. Or les déchets, qui sont intrinsèquement hétérogènes, requièrent une homogénéisation poussée et uniforme. L'extrudeuse monovis standard peut être utilisée en prolongeant les temps de séjour de la matière mais cela réduit son débit et donc sa rentabilité.
- **la dégradation thermique** : le temps de séjour de la matière dans une monovis de rapport L/D (longueur/diamètre) élevé (>30) est long et mal contrôlé. Il induit une dégradation thermique dont on doit se prévenir.
- **le dégazage** : le pouvoir de dégazage d'une monovis reste faible.

Les différentes méthodes utilisées pour adapter une extrudeuse à une matière récupérée peu dense et hétérogène sont les suivantes :

- **l'alimentation forcée** : les trémies gaveuses sont couramment proposées par les constructeurs de lignes de régénération. Leur fonction est de compacter la matière et de la transporter vers l'entrée de l'extrudeuse. Le système le plus simple comporte une vis sans fin qui agit directement dans la trémie. Des systèmes plus complexes associent deux vis en cascade à partir d'un silo muni d'un agitateur. Ces alimentations forcées sont surtout utilisées pour le recyclage de déchets de films.

- **la vis conique** : le pouvoir d'alimentation de la vis conique est amélioré car elle opère un compactage de la matière au fur et à mesure de son transport. La vis conique inversée est utilisée sur certains équipements. La matière entre axialement par une extrémité et sort radialement par l'autre.
- **le fourreau rainuré** : des rainures à l'intérieur du fourreau peuvent augmenter le frottement et donc la plastification, mais il crée des pressions élevées.
- **les zones de malaxage** : il existe, comme nous l'avons montré au paragraphe A2, une grande variété de géométrie de vis pour améliorer le malaxage. Toutefois, les zones de malaxage sont à l'origine de fortes pressions sur la matière, au détriment du débit.

B - L'EXTRUSION SOUFFLAGE

B - 1 PRINCIPE

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 (Fig. 15).

B - 2 PROCESSUS D'EXTRUSION-SOUFFLAGE

2.1 - Extrusion de la paraison

Un matériau fondu, homogène, à température convenable, est délivré par une extrudeuse qui peut produire la paraison selon deux méthodes de base : extrusion discontinue et extrusion continue, celle-ci avec diverses variantes étant la plus utilisée.

2.2 - Extrusion discontinue

Dans ce type d'extrusion la vis tourne jusqu'à ce que la longueur voulue de paraison soit extrudée, puis elle s'arrête. Le moule se ferme sur la paraison et s'éloigne de la tête d'extrusion pendant qu'un nouveau moule se met en place. La vis redémarre et extrude une nouvelle paraison.

Le principal inconvénient de ce système est qu'il utilise pour un travail intermittent, une machine (l'extrudeuse) dont le principe implique une marche continue.

2.3 - Extrusion continue

L'extrudeuse, dont la vis tourne en permanence, fournit sans arrêt une paraison qui est reçue dans un moule mobile, et coupée à la filière. Le moule est déplacé pour le soufflage et l'éjection. En variante, la paraison peut être prise par un mécanisme de transfert, coupée à la filière et transportée dans un moule fixe pour le soufflage.

Outre les nombreuses variantes, tenant aux systèmes de déplacement des moules ou de transfert de la paraison vers les moules, il est possible d'obtenir avec rotation continue de la vis une paraison discontinue.

2.4 - Paraisons froides

Une installation standard d'extrusion produit des tubes qui sont coupés en longueurs prédéterminées.

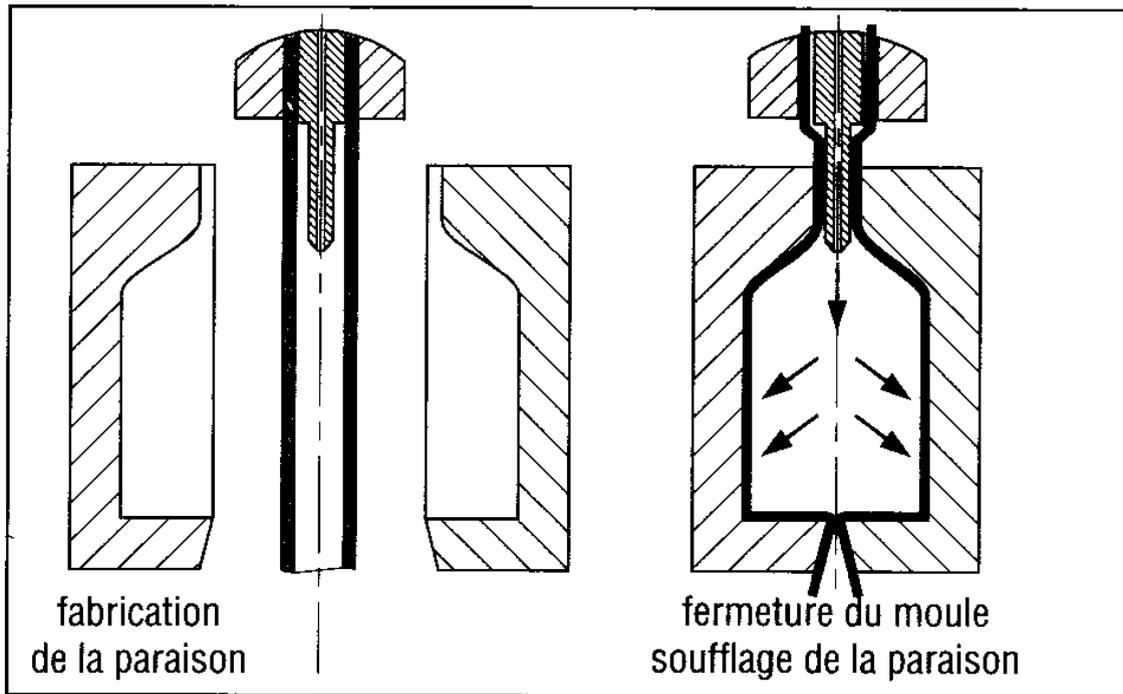


Figure 15 Principe de fabrication d'une bouteille en extrusion-soufflage

Ces tubes alimentent une installation comprenant un réchauffeur qui amènera les tubes à la température de formage pour leur permettre d'être mis en place dans des moules de soufflage et soufflés pour obtenir le récipient voulu.

L'intérêt de ce processus à paraison froide est qu'il permet :

- soit d'alimenter une installation de soufflage à grande cadence à partir de plusieurs extrudeuses,
- soit de réaliser des installations de soufflage à fonctionnement intermittent alimentées par une extrudeuse placée ailleurs et pouvant tourner en continu.

La technique d'extrusion-soufflage-étirement utilise également une paraison froide.

Après obtention par extrusion normale de la paraison, celle-ci est refroidie. Dans la deuxième phase, la paraison est réchauffée à une température inférieure à celle de la première mise en œuvre correspondant à la phase caoutchoutique du polymère traité. Le soufflage réalisé à cette température donne des matériaux présentant une orientation marquée. Cette technique est utilisée en particulier pour l'extrusion-soufflage du polypropylène et permet d'obtenir des corps creux présentant des qualités améliorées de transparence et de résistance au choc.

2.5 - Mise en place de la paraison dans le moule

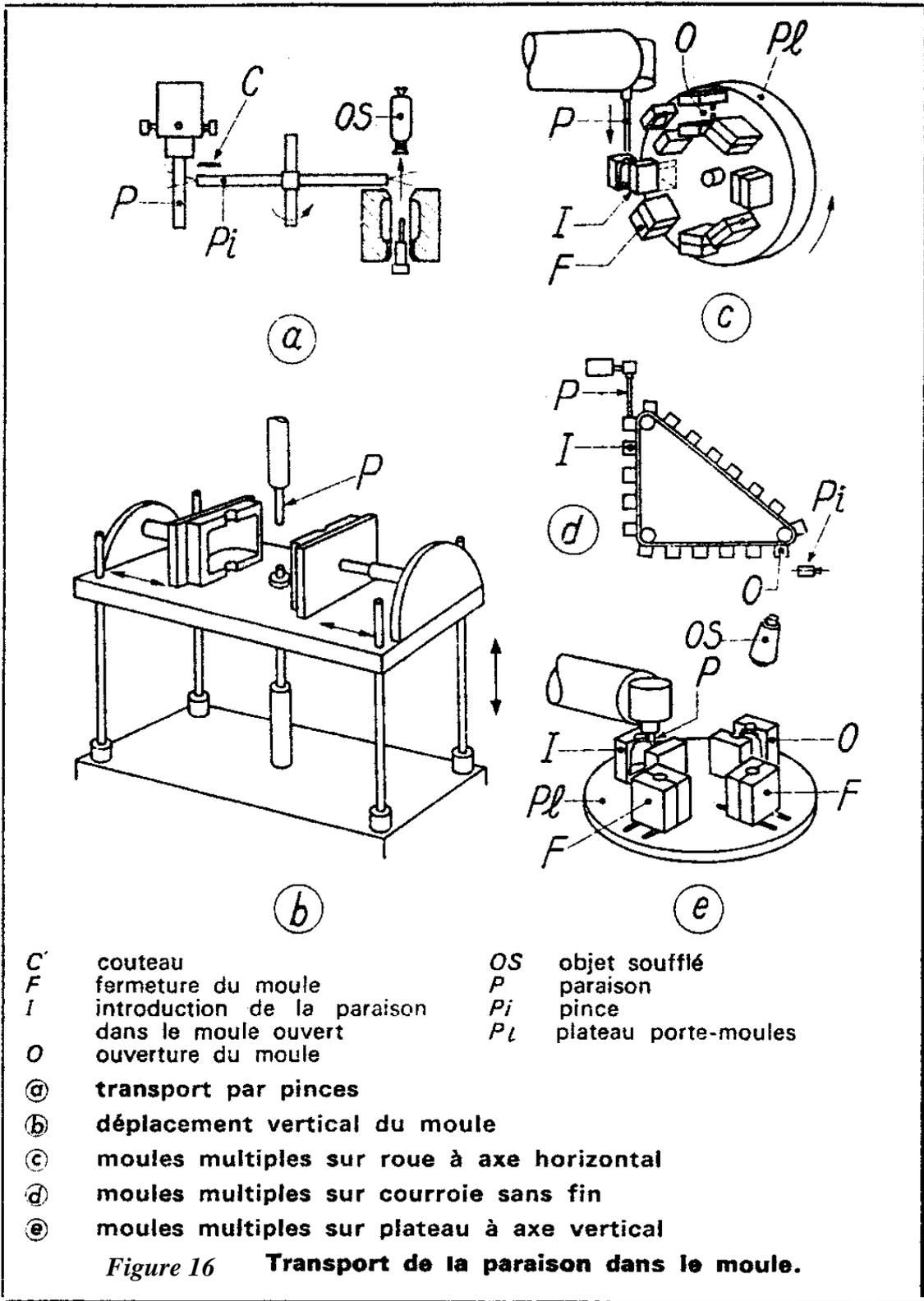
Dans le processus d'extrusion discontinue, la paraison se place par gravité entre les deux moitiés du moule qui se rapprochent dès l'arrêt de l'extrusion. Après soufflage, refroidissement et éjection de la pièce, l'extrusion recommence. La durée du cycle soufflage-refroidissement est souvent plus longue que l'accumulation de la charge par l'extrudeuse et l'on utilise alors un double jeu de moules. La paraison est ainsi extrudée alternativement dans un moule tandis que l'autre est en cours de refroidissement.

Dans le processus d'extrusion continue, la paraison doit être éloignée du voisinage de la filière, ce qui est réalisé par diverses méthodes.

Quoique le transport de la paraison puisse paraître une opération simple, c'est ce qui distingue les unes des autres les divers procédés :

- a) transport par un système de pinces qui se ferment sur la paraison, la coupent et la transportent dans le moule (fig. 16a),
- b) déplacement de moules de, et vers, la filière d'extrusion soit par déplacement vertical sur une table alternativement vers le haut et vers le bas, soit par transport sur un plan incliné. Lorsque les demi-moules atteignent la paraison, ils se referment sur elle, un couteau chaud la coupe et le moule repart pour permettre la poursuite de l'extrusion (fig. 16b),
- c) rotation intermittente d'un tambour supportant quatre ou six moules,
- d) rotation continue dans un plan vertical d'une roue ou d'une courroie supportant des moules à sa périphérie (fig. 16c et d),
- e) rotation intermittente dans un plan horizontal d'une table supportant des moules (fig. 16e).

Dans ces trois dernières méthodes, les moules approchent de la paraison, se ferment sur elle et s'éloignent pour reprendre le cycle.



2.6 - Soufflage de la paraison

La paraison dans le moule est gonflée à sa forme finale par introduction d'air comprimé.

Trois méthodes permettent l'introduction d'air comprimé dans la paraison :

- soufflage par aiguille,
- soufflage par buse,
- soufflage par un mandrin de calibrage.

2.7 - Soufflage par aiguille

Une aiguille creuse est insérée à travers la paroi de la paraison. Cette insertion est faite au-dessus du col du corps creux de façon à ce qu'il ne reste pas de trous dans le récipient terminé. Cette zone d'insertion est en effet éliminée dans les opérations de finition (sciage, alésage du col).

2.8 - Soufflage par buse

La paraison vient coiffer une buse de soufflage, ou bien la buse peut venir se placer sur l'une ou l'autre extrémité du moule fermé. Dans ce dernier cas, il n'est pas nécessaire de mandriner le col du récipient.

2.9 - Soufflage par mandrin de calibrage

Une partie de la filière, appelée mandrin de calibrage, est forcée, à grande vitesse, dans la zone du col du moule fermé sur la paraison. Sous l'effet de la compression, il se produit un moulage et une finition complète de la zone du col. Après ce moulage, l'air est soufflé à travers le mandrin pour former le récipient.

B - 3 EXTRUSION-SOUFFLAGE AVEC BI-ETIRAGE

C'est l'association de trois techniques : l'extrusion, le soufflage et le bi-étirage. Ces trois techniques peuvent être utilisées en ligne : c'est ce que l'on appelle le **cycle chaud**, ou procédé en une étape (la température de la préforme ne revient pas à la température ambiante et reste supérieure à la température de transition vitreuse du polymère).

On peut également utiliser ces techniques de façon séparée ; c'est ce que l'on appelle le **cycle froid**, ou procédé en deux étapes (la préforme revient à la température ambiante avant l'obtention de l'objet final).

3.1 - Extrusion-soufflage avec bi-étirage en cycle chaud

Dans ce procédé en une étape (Fig. 17), on procède à l'extrusion d'une paraison tubulaire chaude qui est immédiatement soufflée dans un moule à préforme (la préforme est l'ébauche réduite de la bouteille finale). Cette préforme est ensuite transférée et/ou conditionnée dans le moule de finition où l'on procède au bi-étirage de la préforme.

Ce bi-étirage est réalisé le plus souvent par la conjugaison d'un étirage axial effectué par une tige d'élongation et d'un étirage radial effectué par gonflage à l'aide d'air comprimé introduit

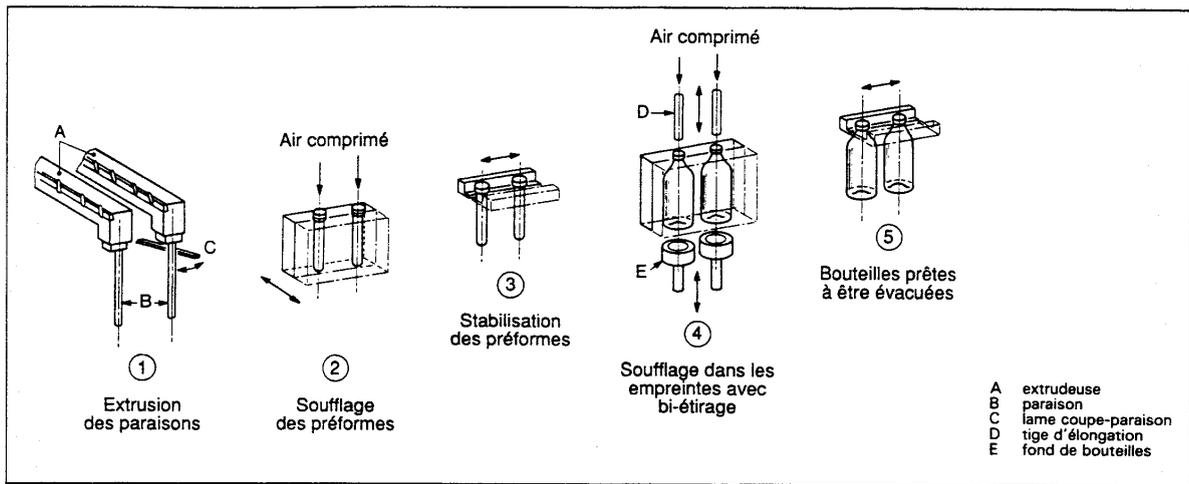


Figure 17 : Extrusion-soufflage avec bi-étirage en cycle chaud.

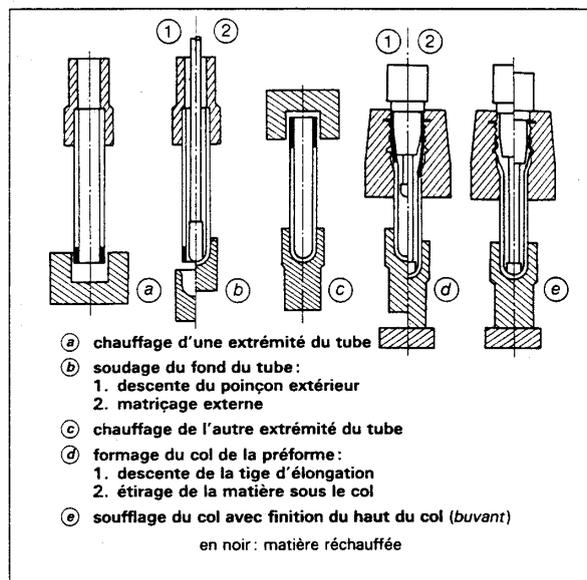


Figure 18 : Obtention d'une préforme à partir d'un tube.

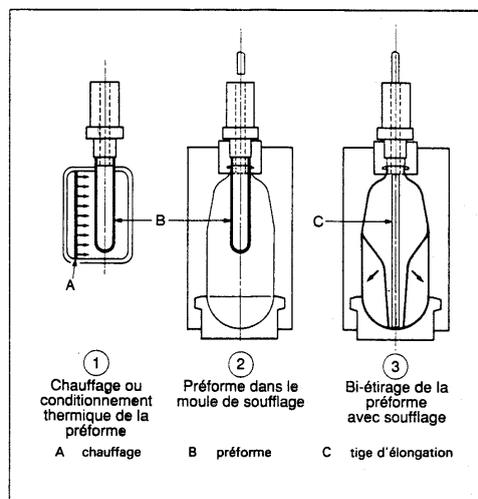


Figure 19 : Soufflage avec bi-étirage.

dans la préforme pendant l'étirage axial. Ce gonflage permet d'appliquer la matière aux parois du moule. Le corps du moule est refroidi (par une circulation d'eau, en général) pour figer la structure moléculaire dans la forme finale et garantir la rigidité du corps creux avant son éjection.

3.2 - Extrusion-soufflage avec bi-étirage en cycle froid

Dans ce procédé en deux étapes, on procède comme précédemment à l'extrusion d'un tube qui est ensuite réchauffé aux extrémités, puis soufflé et étiré pour donner une préforme (Fig. 18).

Cette préforme est sortie de la première machine puis est ramenée à la température ambiante et éventuellement stockée puis acheminée vers une deuxième machine (pouvant être située dans un autre lieu géographique que la première). La préforme est alors réchauffée puis bi-étirée par étirage axial à l'aide d'une tige d'élongation et par étirage radial avec soufflage à l'air comprimé (Fig. 19). La matière se solidifie alors au contact des parois du moule pour donner le corps creux final.

Les avantages économiques d'une bi-orientation résident dans le gain en résistance mécanique qui permet de faire des récipients plus minces, soit une économie de matière d'environ 15 % pour fabriquer un objet de caractéristiques identiques.

Par exemple, une bouteille de 35 g fabriquée par extrusion-soufflage, en étant re-conçue, devient une bouteille de 30 g par soufflage bi-orienté. Pour une fabrication de 6 000 bouteilles par heure, le gain est de 720 kg de polymère par jour en produisant un objet équivalent. La résistance de la matière est telle que la fabrication de contenants pour les boissons carbonatées ou autres fluides sous pression devient intéressante, certaines fabrications résistent à des pressions supérieures à 5 bars.

B - 4 CONCEPTION DES OBJETS

Par extrusion-soufflage, il est possible de fabriquer des corps creux d'une contenance de quelques cm³ à quelques m³. Soit, du flacon à la citerne en passant par les réservoirs automobiles. Les formes peuvent varier du simple cylindre pour une bouteille, aux formes très complexes pour les réservoirs automobiles. Sans oublier des récipients plats ou cubiques avec des poignées, comme les bidons d'huiles ou de détergents.

Les éléments à prendre en compte pour concevoir un corps creux sont multiples :

- la forme des orifices,
- la soudure de la paraison,
- l'étirage de la matière pendant le soufflage,
- l'étirage de la paraison sous son propre poids,
- la programmation de l'épaisseur de la paraison,
- le type de canne de soufflage et le choix du point de soufflage,
- la résistance de l'objet aux sollicitations mécaniques selon le cahier des charges,
- le choix du matériau,
- la série, de 20 à 12 000 ou plus de pièces par heure,
- le recyclage des matériaux.

Le dessin des objets demande un soin particulier quand ceux-ci possèdent une poignée, car il faut correctement souder la matière autour de la poignée et ensuite découper cette zone pour créer le passage de main autour de la poignée.

L'extrusion de deux ou plusieurs polymères peut permettre de créer des récipients multicolores ou avec une bande transparente pour rendre le niveau de liquide visible.

C - LE CALANDRAGE

C - 1 GENERALITES

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 (fig. 20). 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 calendres 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 machines lourdes à plusieurs cylindres (4-6) de grand diamètre (> 800 mm) chauffés, consommant beaucoup d'énergie (entraînement, chauffage, refroidissement) et accompagnées d'un équipement auxiliaire important (dispositifs d'alimentation, de contrôle, de réception). Ce sont les calendres de production ;
- les calendres destinées à la finition de feuilles ou de plaques extrudées ou co-extrudées par la filière plate. Les cylindres de diamètre 600 mm ont une longueur jusqu'à 850 mm et sont refroidis. Les calendres sont placées en aval de l'extrudeuse équipée d'une tête plate qui les alimentent. Les cylindres donnent la brillance de la surface ou un aspect décoratif (par exemple le grainage) et règlent l'épaisseur de plaques. Leur nombre varie entre 2 et 5. Ces machines présentent une partie constituante de la chaîne d'extrusion de plaques. On les appelle les calendres de lissage ;
- les calendres auxiliaires utilisées par plusieurs techniques de finition, telles que : complexage, plaxage, enduction, contre-collage et grainage. Ces machines sont plus légères, les cylindres sont de dimensions moins importantes, chauffés ou refroidis. On peut les appeler les calendres légères. Comme plusieurs éléments de ces machines et leur fonctionnement sont identiques, on les présente ensemble.

C - 2 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Le fonctionnement d'une chaîne de calandrage est présenté sur la figure 21a et 21b. La matière à calandrer passe d'abord par le malaxage et le préchauffage. Dans le cas du PVC la matière passe d'abord par un mélangeur interne (1) et ensuite par un mélangeur à cylindres (2), d'où elle sort sous forme d'un ruban gélifié ou de morceaux de crêpe qui alimente, par un convoyeur (3), la calandre. Un séparateur magnétique détecte les éventuelles impuretés métalliques (4) qui peuvent endommager gravement les cylindres de la machine (5). Le mélange passe ensuite par un ensemble de cylindres chauds pour en sortir (6) sous forme d'une large feuille refroidie sur les tambours (8). Ce passage par passes successives entre les cylindres est indispensable pour chasser toutes les bulles d'air emprisonnées dans le film. Pendant cette opération, les bords de la feuille sont cisailés des deux côtés par un dispositif à couteau rotatif. Un appareil de contrôle d'épaisseur (9) vérifie en continu le film qui est dirigé vers l'enrouleur de produit fini (10). Si on donne à la surface un dessin spécial, la feuille encore chaude passe entre le cylindre graveur et le cylindre presseur (7). Pour alimenter la calandre, on utilise de plus en plus les extrudeuses et les extrudeuses-mélangeuses (paragraphe précédent) qui exercent toutes ces actions dans une seule opération en continu et qui extrudent directement par la filière plate la matière plastifiée entre les cylindres de la calandre.

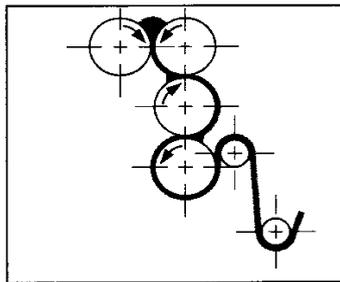


Figure 20

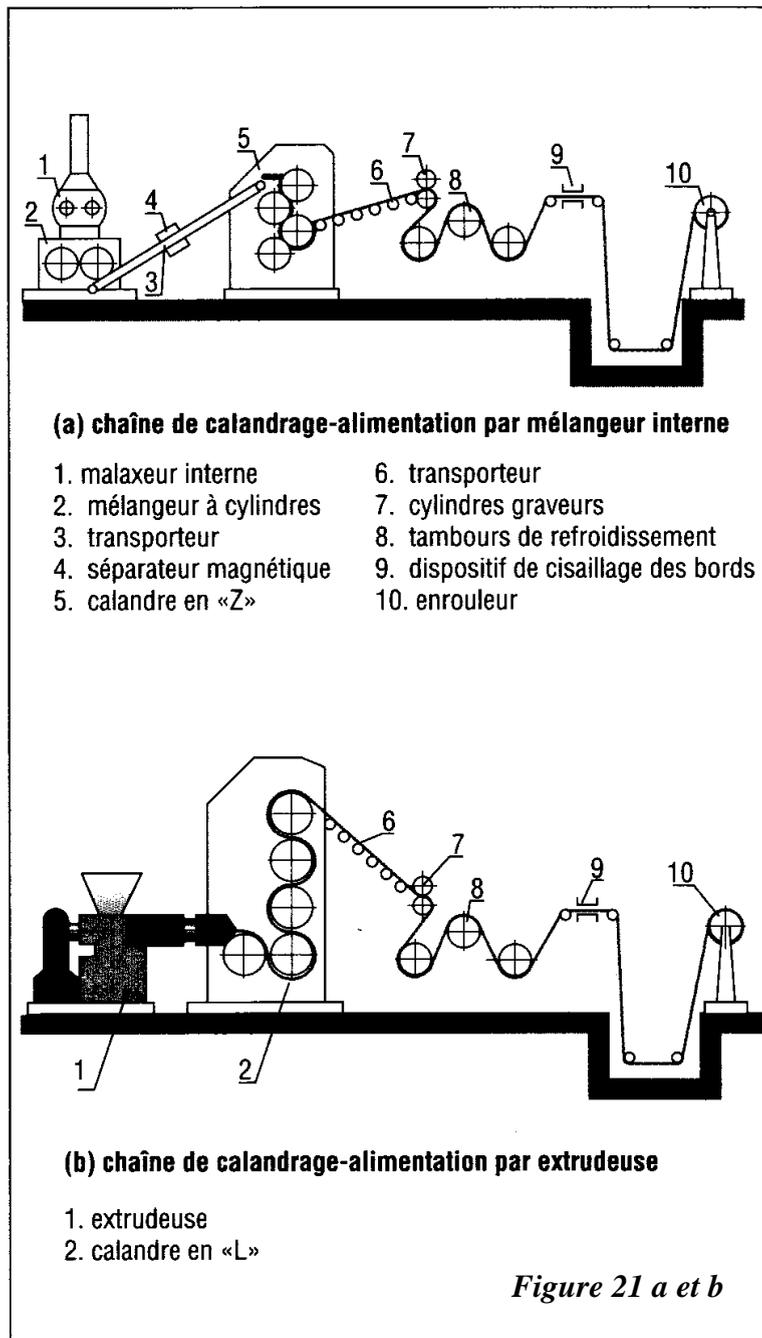


Figure 21 a et b

Chaîne de calendrage.

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.

D - 1 PHASES D'INJECTION

On peut distinguer trois phases pendant l'injection (fig. 22) d'un polymère :

- le remplissage (ou injection) : le polymère remplit l'empreinte et occupe le volume de la cavité. On se sert de la vis comme d'un piston (fig. 22.1 et 22.2),
- le maintien (bourrage ou compactage) : le polymère est compacté dans l'empreinte (car il est compressible) pendant le refroidissement (fig. 22.3),
- le refroidissement : le polymère est figé et la pièce éjectée quand sa rigidité est suffisante. On dose une nouvelle quantité de matière pour la pièce suivante, pendant le refroidissement de la pièce, par rotation de la vis qui amène de la matière en bout de vis (buse) (fig. 22.4, 22.5, 22.6).

Les qualités d'une pièce seront très influencées par le remplissage et le compactage de l'empreinte. Le remplissage détermine l'orientation du polymère dans l'empreinte. Elle est fonction du nombre de seuils d'injection, de l'équilibrage des canaux d'alimentation et enfin de la vitesse d'injection appliquée par le déplacement de la vis. Le compactage de l'empreinte permet de réduire le retrait de la pièce injectée.

D - 2 CONCEPTION DES MACHINES

Les différences entre les machines sont liées au choix des fonctions principales (fig. 23) :

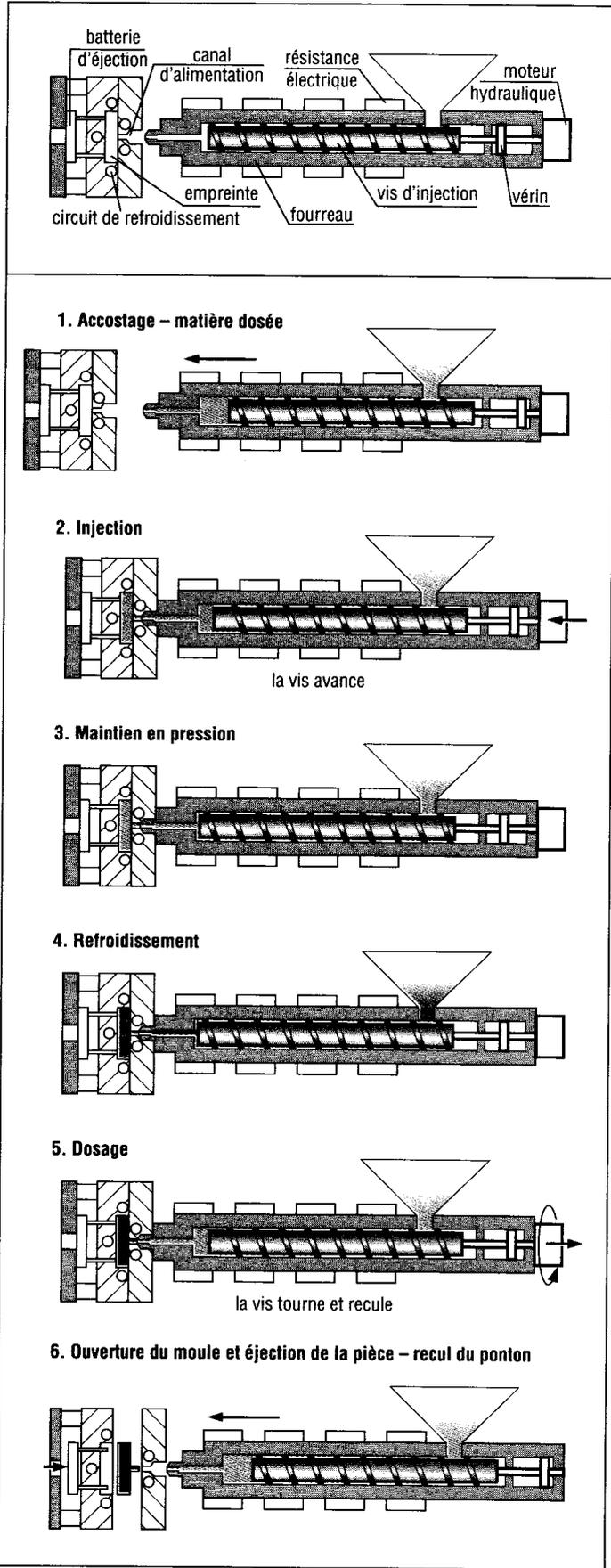
- le principe de plastification avec un chauffage par conduction ou par vis mélangeuse,
- le dispositif d'injection, par piston ou par vis-piston,
- le fonctionnement de la fermeture du moule, mécanique, hydraulique ou les deux.

2.1 - Plastification et injection

2.1.1 - Système vis-piston

Le dispositif remplit les deux fonctions de plastification et d'injection en un seul mécanisme. Pour la plastification, la vis tourne et plastifie la matière comme dans une extrudeuse. Les granulés sont chauffés, fondus et homogénéisés pendant leur transport de la trémie vers la buse.

Pour stocker la quantité de matière nécessaire à l'injection d'une pièce, le dispositif vis-piston peut reculer dans le fourreau de la machine et doser la quantité voulue de matière plastifiée devant la vis, la vis arrête de tourner et de reculer. Pour injecter, un vérin hydraulique pousse



Principe de l'injection

Figure 22

la vis, celle-ci plaque le clapet sur son siège, la matière ne peut plus refluer vers l'arrière (fig. 24). L'ensemble injecte sous pression, dans le moule, la matière dosée. Pendant cette phase, l'hydraulique peut être asservie pour harmoniser le remplissage du moule en fonction de la pièce et de la matière injectée. C'est le système le plus répandu.

2.1.2 - Système transfert

Pour injecter de grandes quantités de matière, un système vis-piston est vite limité en capacité par le diamètre des vis et par la course possible de dosage, alors que le temps de refroidissement de la pièce est assez grand pour que l'on puisse plastifier une grande quantité de matière.

Un système transfert est composé d'une extrudeuse pour plastifier la matière, et d'un pot de transfert avec un piston pour injecter la matière dans le moule.

Ce système permet de plastifier de grandes quantités de matière avec une machine peu importante car le dosage de matière à injecter est indépendant de la plastification.

Par contre, ce système est très délicat à nettoyer lorsque l'on veut changer de matière, et de plus, le balayage de la matière peut ne pas être total dans le transfert, laisser stagner du polymère et provoquer une décomposition du produit, ce qui provoque des traces sur les pièces, et donc des rebuts.

2.1.3 - Système multimatière

Avec plusieurs dispositifs vis-piston, ces machines peuvent injecter des pièces avec des zones de couleurs différentes, ou une structure de matière en plusieurs couches de différents polymères, ou bien d'autres combinaisons (voir chapitre E : injection multimatière). Pour injecter des pièces très importantes, il est possible d'utiliser une machine conçue pour l'injection multimatière, avec la même matière dans chacun des dispositifs de plastification de la machine.

2.1.4 - Système pot et torpille

Ce principe est le plus ancien. Un pot est chauffé et la matière est poussée par le piston d'injection à la partie avant du pot. La matière chauffée au contact des parois du pot, fond. Pour parfaire la fusion et l'homogénéisation de la matière, une torpille est introduite dans le pot. Cette pièce sépare le flux de granulés pour mieux les chauffer, mais crée une perte de charge. La plastification de la matière n'est pas parfaite et la pression d'injection très difficile à contrôler. Ce principe est encore appliqué pour la fabrication de machines de très petite capacité, surtout utilisées pour surmouler ou injecter des composites à fibres longues.

2.2 - Fermetures

Le dispositif de manœuvre des plateaux porte-moule doit assurer l'ouverture, la fermeture et le verrouillage du moule avec une force suffisante pour s'opposer à l'ouverture du moule pendant l'injection. Ces fonctions importantes peuvent être assurées de différentes manières.

- Fermeture mécanique par genouillère :

L'avance rapide de la partie mobile est assurée par la genouillère. Le verrouillage du moule est fourni par la mise en traction des colonnes de la machine, au moment où le moule est verrouillé.

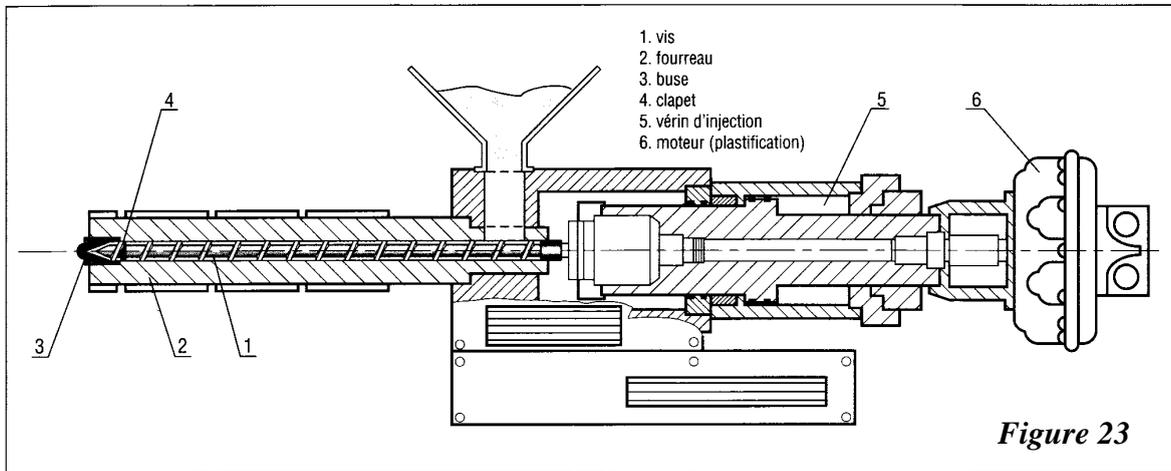


Schéma et terminologie d'une presse d'injection

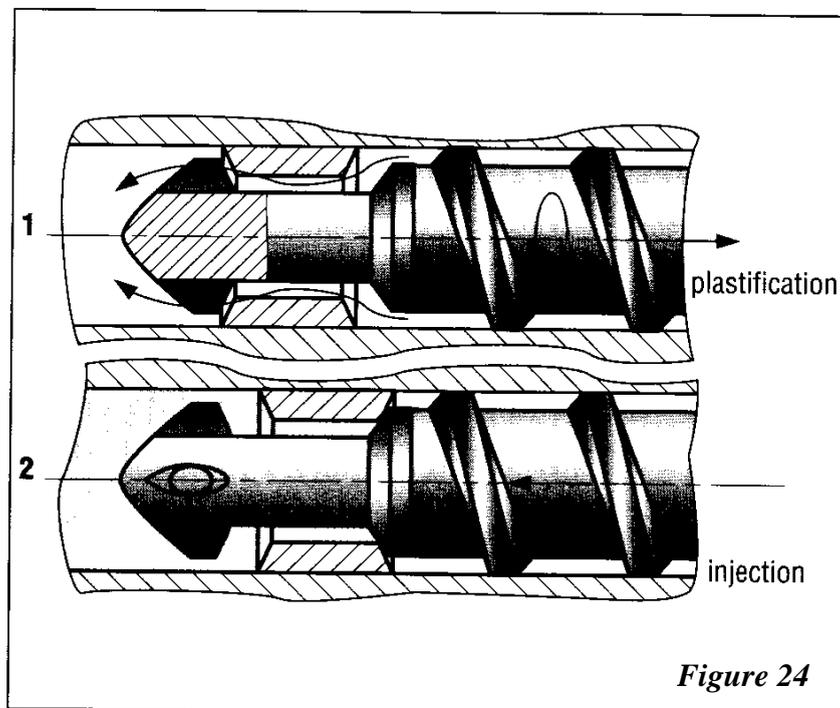


Schéma de principe d'un clapet sur une vis-piston d'injection

La genouillère est actionnée par un vérin hydraulique. Ce système est très simple mais n'assure pas une force de fermeture constante et reste difficile à régler.

- Fermeture hydromécanique avec genouillère :

Le déplacement rapide pour l'approche des parties du moule à quelques millimètres de la fermeture est assuré par une genouillère, mais le verrouillage est obtenu par un ou plusieurs vérins hydrauliques quand la genouillère est alignée.

- Fermeture hydraulique à un vérin :

Un seul vérin à deux étages fournit l'avance rapide et le verrouillage du moule. C'est un dispositif lent.

- Fermeture hydraulique multivérin :

Dans ce cas, les fonctions d'avance rapide et de verrouillage sont dissociées et remplies par des vérins distincts, utilisés les uns après les autres.

Nota : les systèmes de verrouillage hydraulique permettent un réglage simple et fiable de la force de fermeture.

D - 3 CONCEPTION DES MOULES

Un moule thermoplastique peut être défini par :

- le nombre d'empreintes 1, 2, 4, 8, 16, 32,
- son architecture : plaques, tiroirs, coquilles,
- le système d'alimentation : carotte perdue, canaux chauffants,
- le type d'alimentation des empreintes : pin-point, en masse, en nappe, sous-marine, en ligne, en plusieurs points, etc.,
- l'éjection des pièces,
- la régulation de la température,
- la durée de vie (choix des matériaux, choix important pour des prototypes).

D - 4 REMPLISSAGE DES EMPREINTES

L'écoulement de la matière de la buse à l'empreinte est fonction :

- de l'évolution de la viscosité du polymère,
- du nombre et du type des alimentations.

4.1 - Alimentation de l'empreinte

L'alimentation de l'empreinte se fait par une série de canaux reliant la buse à la cavité moulante passant par la carotte, les canaux d'alimentation et enfin le (s) seuil (s). Les canaux permettent de répartir les flux de matière entre toutes les empreintes et d'équilibrer les remplissages afin d'assurer une homogénéité de production d'une empreinte à une autre.

Les seuils sont choisis en fonction des pièces et des cadences de production.

Un seuil en masse permet d'imposer la pression de maintien plus longtemps et donc de maîtriser les retraits. Il faut prévoir une opération de décarottage coûteuse.

Un seuil rétréci ou trou d'épingle (pin-point) permet un décarottage simple (voire automatique) mais le seuil fige vite et le maintien en pression est moins efficace. Une matière sensible aux auto-échauffements peut se dégrader au passage du seuil.

Un seuil sous-marin permet de masquer la trace du seuil sur une face (même face que les éjecteurs) ou sur un côté de la pièce et de réaliser ainsi une pièce d'aspect.

Une injection en nappe circulaire évite les lignes de soudure de flux.

D - 5 COMPRESSION, INJECTION-COMPRESSION

5.1 - Principe du moulage par compression

La matière thermoplastique liquide est comprimée entre les deux parties du moule. Si la matière est introduite froide (granulés), le moule est d'abord chauffé pour plastifier la matière, la comprimer et mettre l'objet en forme et, dans une deuxième phase, le moule est refroidi pour solidifier la pièce.

- Avantages : faible orientation de la matière, la matière est presque isotrope, le moule et la matière étant chauds dans la première phase de l'opération, les détails de moulage peuvent être très fins (disques microscillons).
- Inconvénients : temps de cycles longs. Ils peuvent être un peu réduits en introduisant une matière préplastifiée par un dispositif annexe, ce qui ne supprime pas complètement le chauffage de la matière par le moule.

5.2 - Injection-Compression

La matière est 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, comme pour le moulage par compression. L'injection se fait en deux phases : remplissage du moule (froid) très légèrement ouvert, par le dispositif de plastification et d'injection, puis compression et refroidissement. Le moule est refermé et comprime la matière.

- Avantages : ceux de l'injection avec moins d'orientation de la matière, bonne répartition des pressions et de la matière, tolérances dimensionnelles étroites et faibles écarts de poids.
- Inconvénients : moules plus chers et délicats, pas de contrôle de la pression finale et difficultés d'adaptation des machines.

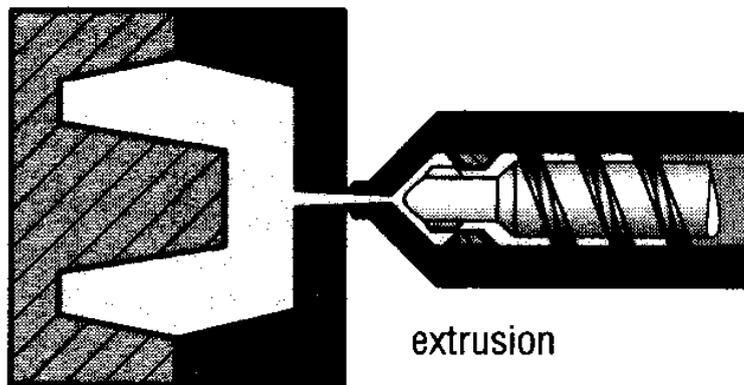
D - 6 L'INTRUSION

L'intrusion permet de fabriquer des pièces très importantes ou très épaisses, pour lesquelles la capacité de plastification de la machine est trop faible (fig. 25).

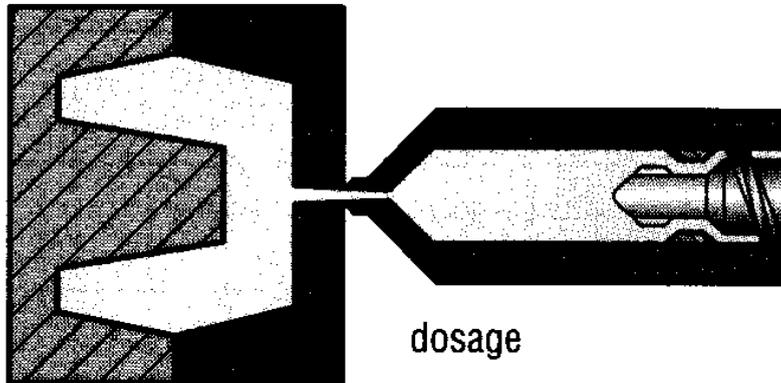
Le moule est fermé et le dispositif de plastification extrude la matière dans le moule et le remplit, c'est l'intrusion.

La compression de la matière peut se faire de deux manières :

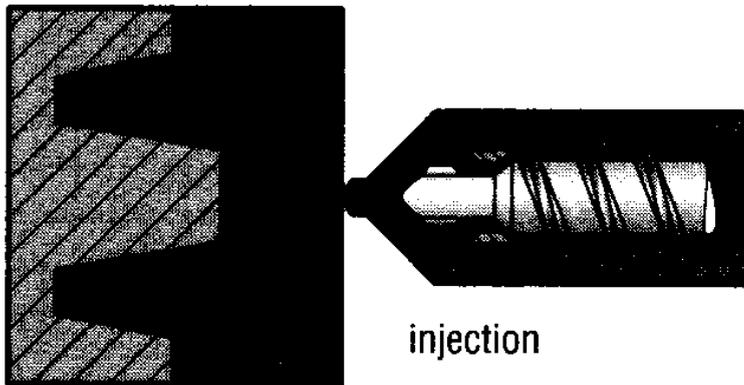
- par la pression d'extrusion de la machine (utilisation d'une extrudeuse, ou blocage du recul de la vis d'une presse d'injection qui permet à la matière dosée de sortir pour remplir l'empreinte),
- par la pression d'injection de la presse. Dans ce cas, on termine l'opération par l'injection d'une petite quantité de matière dans le moule refermé et déjà rempli de matière pré-extrudée. On se rapproche en fin d'opération d'une injection classique.



extrusion



dosage



injection

Figure 25

Schéma de l'intrusion

E - L'INJECTION MULTIPHASEE

E - 1 GENERALITES

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. Le principe général peut se résumer comme sur la figure 26.

E - 2 INJECTION MULTIMATIÈRES

Il s'agit d'une injection de plusieurs matières. Nous distinguerons deux grandes familles d'injection multimatières selon qu'elles sont injectées simultanément ou en séquence.

2.1 - Machines et procédés

2.1.1 - Bi-injection simultanée

Sur une presse à injecter, qui dispose de deux fourreaux d'injection alimentant un seul et même moule, on injecte en même temps les deux matières (comme une injection classique à plusieurs seuils). Les deux matières vont remplir leur partie de moule et finalement se rencontrer et se souder (fig. 27). C'est une bi-injection simple de deux matières mais dont la ligne de séparation des matières n'est pas nette.

2.1.2 - Bi-injection séquentielle

Dans ce cas, les deux phases (matières ou gaz) sont injectées décalées dans le temps, par séquences distinctes.

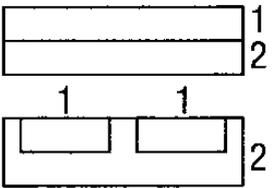
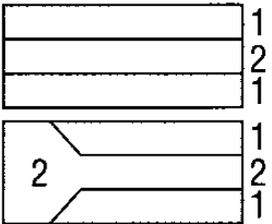
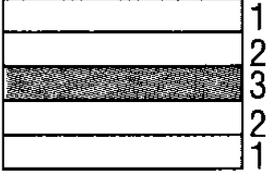
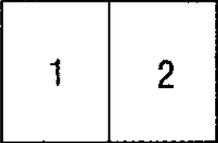
Surmoulage

On injecte une pièce dans un moule puis on surmoule, à côté ou dans des réserves (vides) prévues, une ou plusieurs matières en reprise. Les vides pour la deuxième matière sont obtenus soit par rétractation d'une partie du moule, soit par transfert de la pièce dans une autre empreinte. Le principe peut s'illustrer à partir de l'injection d'un jeu de dames. On injecte en premier la matière noire dans un moule, puis on escamote la partie du moule qui sépare les cases noires pour injecter la matière blanche entre les cases noires, en se servant de celles-ci comme parois de moule.

Injection multicouche séquentielle

Pour réaliser des pièces avec une structure de couches hétérogènes, la machine d'injection comprend les organes suivants :

- une unité de fermeture (dispositif classique),
- deux, ou plus, unités d'injection (au moins 1 par matière),
- un système de distributeur asservi permettant d'alimenter le moule avec chacune des unités d'injection selon une séquence programmée.

structure	matériaux	techniques
<p>2 couches</p> 	<p>1 – compact 2 – compact chargé expansé</p>	<p>– surmoulage – coinjection</p>
<p>3 couches</p> 	<p>1 – compact 2 – compact chargé expansé gaz</p>	<p>– distribution des injections avec séquences – ouverture du moule (pour des expansés)</p>
<p>5 couches</p> 	<p>1 – compact 2 – compact chargé expansé 3 – compact chargé</p>	<p>– distribution des injections avec séquences</p>
<p>multi-zones</p> 	<p>1 } compact 2 }</p>	<p>– moules à plusieurs alimentations, avec dispositif éclipseable pour la ressoudure (ressemble au surmoulage)</p>

Définitions des produits multiphasés en injection

Figure 26

Examinons l'injection par exemple de trois couches : le produit 1 à l'extérieur, le 2 au centre de la pièce.

- 1°) Remplissage partiel de l'empreinte avec le polymère 1. La matière se solidifie au contact du moule et reste fluide au centre.
- 2°) Injection du polymère 2. La matière s'écoule dans la gaine solide de 1 et la "gonfle" comme l'air d'un ballon de baudruche. La matière 2 pousse la matière 1 encore fluide devant elle.
- 3°) Injection du produit 1 pour éliminer toute présence de 2 pouvant souiller l'injection suivante, ou pour parfaire l'aspect de la pièce.

On peut utiliser une mousse comme deuxième matière et obtenir ainsi des parois épaisses. On peut réaliser cinq couches avec trois matières, en respectant la séquence dans 1, 2, 3, 2, 1.

2.2 - Compatibilité entre les polymères

Pour avoir une bonne soudure, les polymères doivent avoir une bonne compatibilité (température d'injection, viscosité). Bonne compatibilité : PC et PA, PC et ABS, PVC plastifié et ABS.

Mauvaise compatibilité : PS et ABS, PS et SAN.

L'introduction d'une couche intermédiaire compatibilisante peut aider l'injection : EVA (copolymère éthylène-acétate de vinyle), résine ionomère. Dans les cas de pièces en cinq couches, l'utilisation de PP, PA, PAN, PS, PET est possible grâce à une couche intermédiaire compatibilisante.

2.3 - Principe des distributeurs

Le distributeur rotatif permet le passage de la matière de couleur 1 puis 2, puis 1, etc. La pièce est faite d'ondes de couleur (injection multicolore).

Le déplacement d'un tiroir peut permettre une injection selon des séquences programmées (injection bimatière).

E - 3 INJECTION ASSISTEE PAR LE GAZ (IAG)

3.1 - Généralités

L'injection assistée par le gaz (IAG) peut être présentée comme une bi-injection dans laquelle le deuxième polymère est remplacé par du gaz, en général de l'azote. On réalise ainsi des pièces creuses par injection classique.

L'injection assistée par le gaz (IAG) est connue aussi sous les noms de "Gaz-moulding", "Air mould" en fonction des fabricants. On retrouve les différentes solutions connues pour l'injection bi-phasée : l'injection séquentielle par le même seuil ou par seuils différents.

3.2 Principe

On utilise, pour l'IAG, une presse à injecter conventionnelle. On distingue deux principes :

- l'injection incomplète :

On injecte une quantité de polymère dans le moule, puis on commute sur l'injection de gaz qui va utiliser le polymère, introduit dans le moule et qui commence à refroidir, comme d'un ballon de baudruche et va le forcer à tapisser les parois du moule (fig. 28).

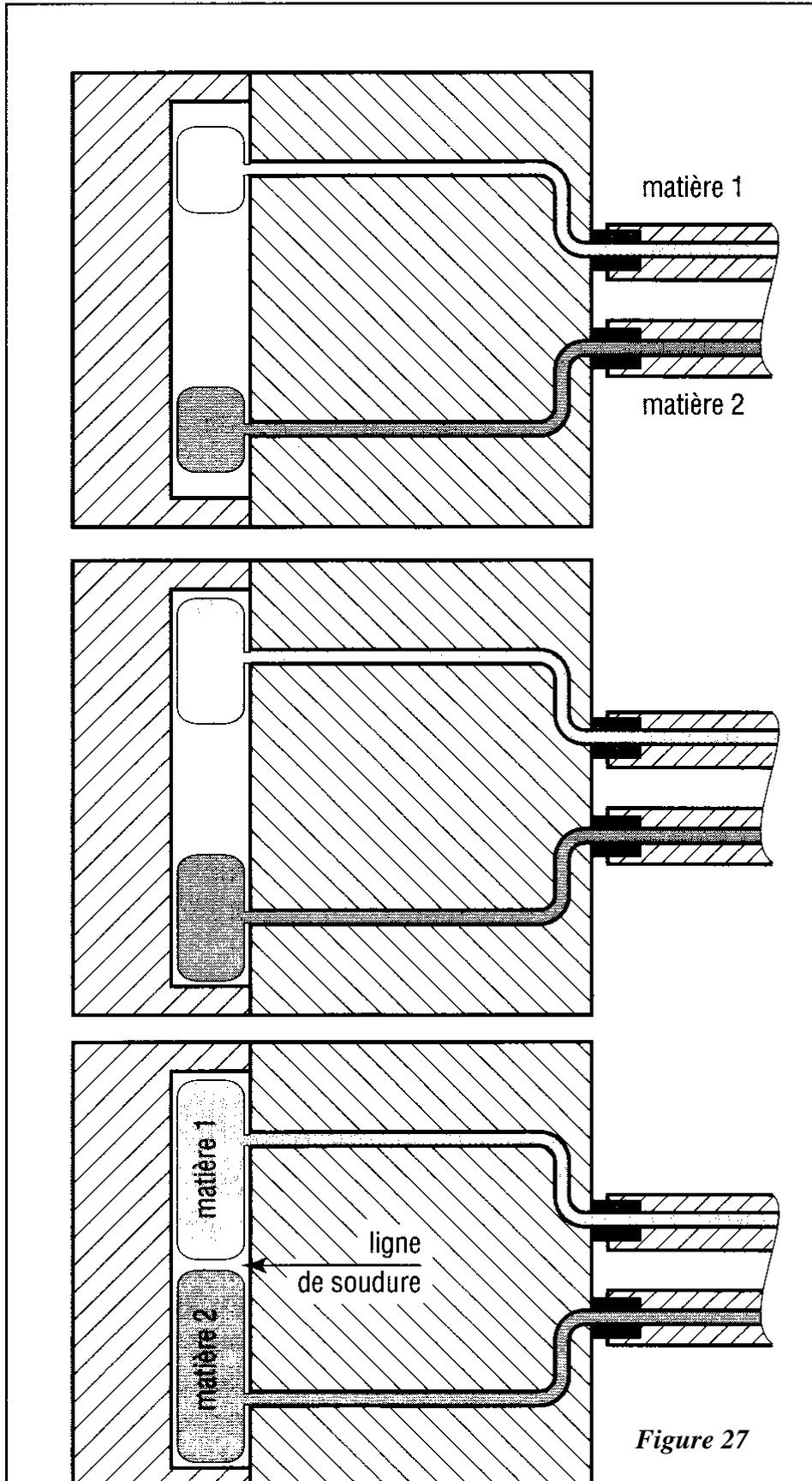


Figure 27

Schéma de principe de bi-injection simultanée

- l'injection complète :

On remplit la cavité du moule de polymère, puis on injecte le gaz qui va "purger" le polymère encore fluide de l'intérieur de la pièce. Ainsi, on ne conserve que la gaine solide qui s'est rapidement solidifiée au contact du moule. Dans ce cas, il faut avoir prévu une "masselotte" de purge qui sera séparée après démoulage (fig. 29).

L'injection de gaz se fait au travers d'une buse d'injection de gaz qui peut être placée soit coaxialement à la buse d'injection de polymère, soit dans le moule.

Dans le premier cas, la veine de gaz se retrouvera dans toute la pièce. Dans le deuxième cas, la veine de gaz peut être localisée. Le refroidissement de la pièce (maintien en pression) se fait sous pression de gaz.

Cette technique peut s'appliquer à tous les polymères thermoplastiques.

On utilise, comme gaz, de l'azote qui présente l'avantage de ne pas oxyder le polymère à haute température, c'est un gaz non polluant, sec et relativement peu cher.

Une installation d'injection d'IAG se compose d'une presse et d'un moule conventionnels auxquels on ajoute un ensemble d'alimentation en azote sec et sous pression.

On pourrait partir d'azote en bouteilles déjà sous pression et alimenter le moule par un détendeur, mais cela conduit à des consommations d'azote excessives.

On préfère, après le maintien en pression et le refroidissement complet de la pièce, renvoyer l'azote dans une enceinte basse pression (baudruche) pour récupérer puis la recomprimer pour la pièce suivante.

3.3 - Avantages

La pièce est partiellement creuse et on gagne donc du poids et de la matière.

La veine de gaz permet de maintenir une pression de maintien plus homogène et donc plus faible qu'en injection classique. On peut ainsi réduire les forces de fermeture.

Un meilleur maintien en pression permet de réduire les retassures.

La possibilité de mettre plus facilement des nervures permet de rigidifier la pièce et donc d'envisager l'emploi d'une matière plus économique.

La réduction de la masse de matière autorise les diminutions du temps de refroidissement.

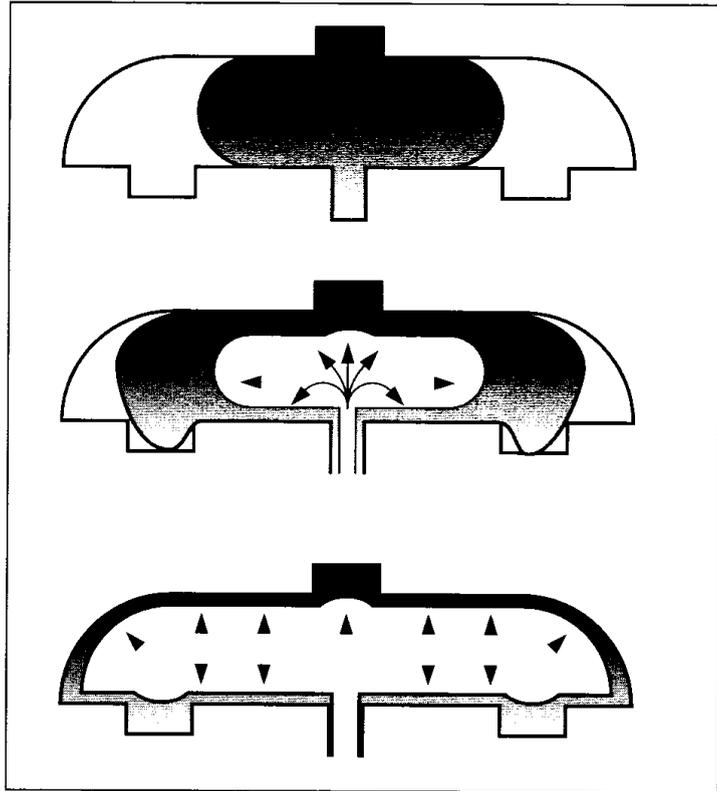
La suppression d'un tiroir peut permettre une simplification des moules.

Dans certains cas, on peut envisager une réduction du nombre de pièces pour une même fonction.

3.4 - Inconvénients

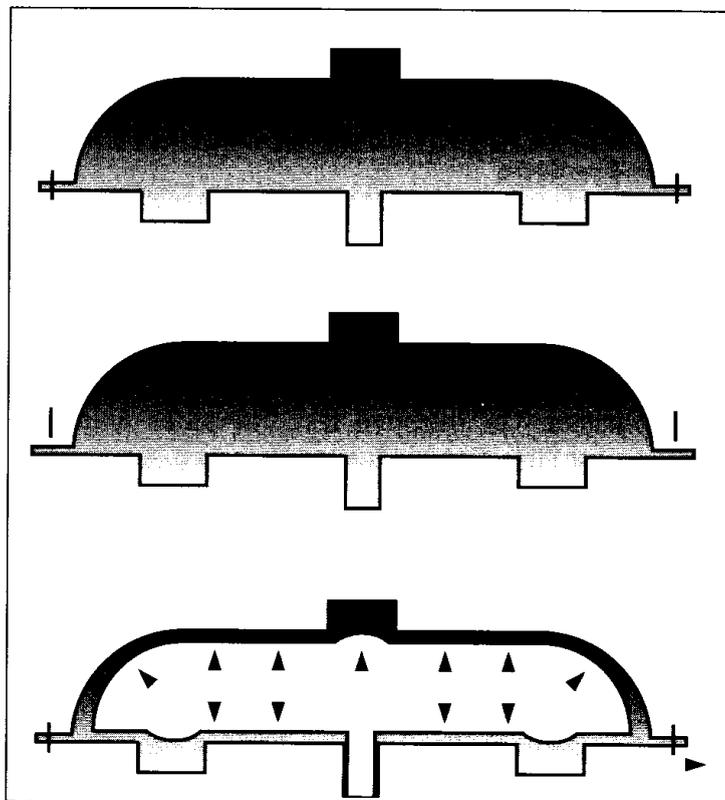
Il faut un équipement spécial tel que l'unité d'injection de gaz. Il requiert un nouveau savoir-faire et la conception est plus difficile.

Il n'existe pas, à ce jour, de logiciel de modélisation et de prédiction des écoulements totalement fiables pour la conception des empreintes et des points d'injection matière et gaz.



Principe de l'injection-gaz « incomplète »

Figure 28



Principe de l'injection-gaz « complète »

Figure 29

F - L'INJECTION-SOUFFLAGE

F - 1 PRINCIPE DE 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 (fig. 30).

- 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.

F - 2 INJECTION-SOUFFLAGE AVEC BI-ETIRAGE

C'est l'association de trois techniques : l'injection, le soufflage et le bi-étirage. Ces trois techniques peuvent être utilisées en ligne, ce que l'on appelle **cycle chaud** ou procédé en une étape, ou bien de façon séparée, ce que l'on appelle **cycle froid** ou procédé en deux étapes.

2.1 - Injection-soufflage avec bi-étirage en cycle chaud

Dans ce procédé en une étape, il peut y avoir deux variantes :

- l'injection de la préforme puis, après conditionnement thermique, le soufflage avec bi-étirage du corps creux final (fig. 31) ;

- l'injection de la préforme, puis, au poste de conditionnement thermique, le soufflage intermédiaire d'une préforme plus grande et pré-conditionnée : enfin, on procède au soufflage avec bi-étirage du corps creux final (fig. 32).

2.2 - Injection-soufflage avec bi-étirage en cycle froid

Dans ce procédé en deux étapes, on réalise l'injection d'un produit semi-ouvert : la préforme, puis la reprise de cette préforme par soufflage avec bi-étirage jusqu'à l'obtention de l'objet final : le corps creux. En fait, le procédé industriel sépare très nettement l'obtention de la préforme et celle du corps creux final.

La préforme est obtenue par injection classique de la matière thermoplastique dans des moules multi-empreintes (première phase), puis est acheminée, éventuellement après stockage, vers la machine de soufflage avec bi-étirage. Lors de la phase finale, la préforme, qui se trouve à la température ambiante, est portée à la température de bi-étirage puis est étirée axialement par une tige d'élongation et radialement par gonflage à l'aide d'air comprimé. La matière se refroidit au contact des parois du moule et se solidifie à la forme désirée ; on peut alors procéder à l'évacuation du corps creux final (fig. 33).

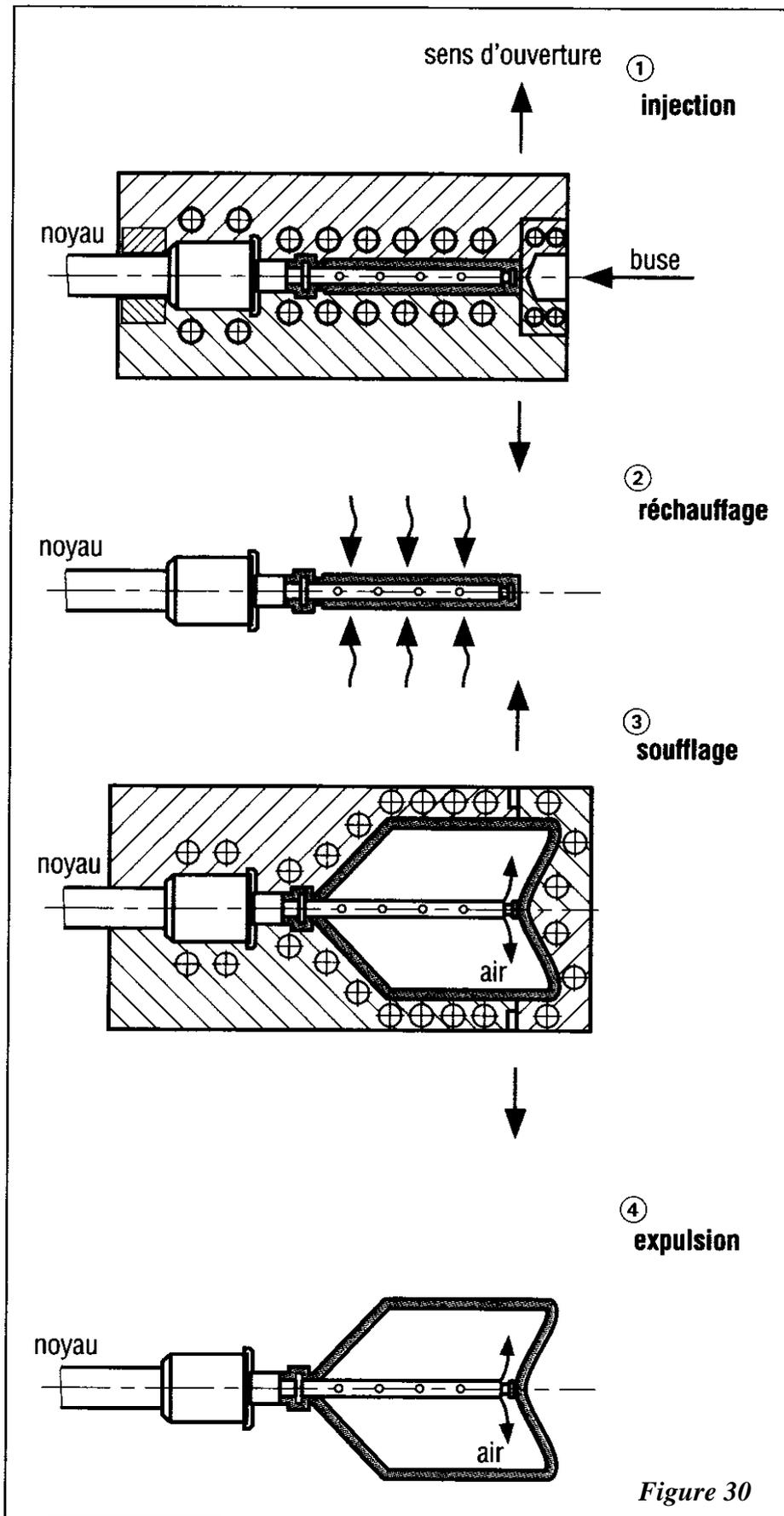


Figure 30

Séquence d'injection-soufflage

F - 3 CONCEPTION DES OUTILLAGES

Les moules peuvent être mono ou multi-empreintes.

3.1 - L'alimentation des empreintes

Elle est réalisée par un système de canaux chauffants, pour éliminer la présence de carottes.

3.2 - Moule d'injection de la préforme

Les moules sont classiques dans leur conception sauf :

- le centrage du noyau,
- la régulation fine de la température, les zones sensibles sont : le col, qui devra être solide, la zone de liaison avec la partie très soufflée, le fond du récipient et, au milieu, une zone de fort allongement. Ces diverses zones nécessitent, pour le soufflage, des températures, de la matière, différentes.

3.3 - Moule de soufflage

Ce moule doit assurer deux fonctions :

- évacuer les calories de l'objet soufflé le plus vite possible, comme un moule d'extrusion-soufflage,
- laisser évacuer l'air contenu dans le moule pour faciliter le soufflage.

F - 4 MACHINES

Les machines, de grande productivité, sont conçues autour du principe de carroussel où une opération est réalisée sur des postes différents (injection, réchauffage, soufflage, éjection, etc.).

F - 5 COMPARAISON DE L'INJECTION-SOUFFLAGE ET DE L'EXTRUSION-SOUFFLAGE

Ces techniques permettent de fabriquer des corps creux en grande série. En injection-soufflage, la forme intérieure de l'objet n'est pas obligatoirement homothétique de l'enveloppe extérieure (comme en extrusion-soufflage), ce qui autorise la conception de récipients avec des orifices de très grande résistance mécanique ou des pièces complexes avec des formes creuses.

L'injection-soufflage offre, par rapport à l'extrusion-soufflage, les avantages suivants :

- élimination des lignes de soudure, pas de soudure sur le fond de l'empreinte,
- fabrication précise du goulot des récipients, ou des parties fonctionnelles des pièces (réalisée à l'injection et indépendante du soufflage),
- régularité des épaisseurs après soufflage d'où un gain de poids (on peut prévoir aux endroits très étirés des sur-épaisseurs au moulage),
- possibilité de mouler des objets avec un grand facteur de forme.

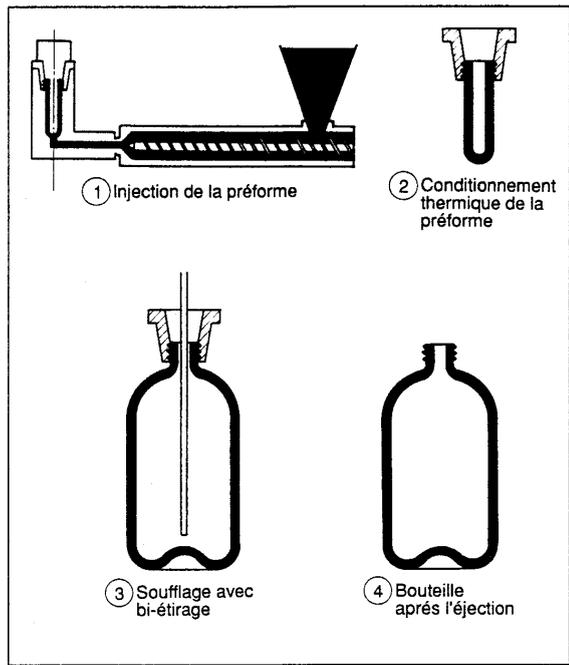


Figure 31 : Injection-soufflage avec bi-étirage en cycle chaud.

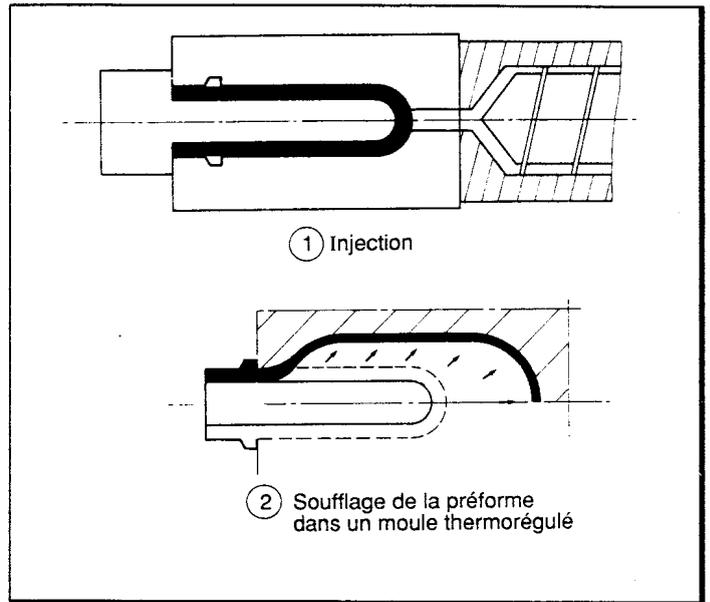


Figure 32 : Obtention d'une préforme par injection puis soufflage intermédiaire.

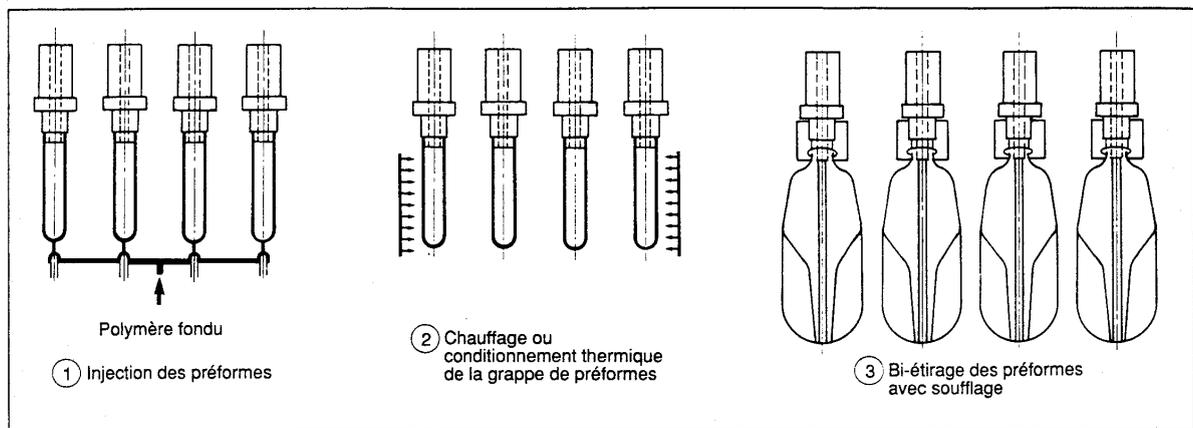


Figure 33 : Injection-soufflage avec bi-étirage en cycle froid.

- l'utilisation d'une préforme, permet de mieux programmer les épaisseurs de l'objet, grâce aux moules d'injection,

L'injection-soufflage comporte, par rapport à l'extrusion-soufflage, les inconvénients suivants :

- les possibilités de formes sont plus limitées que par extrusion-soufflage, par exemple, il est très difficile de concevoir un récipient avec une poignée,

G - LE THERMOFORMAGE

G - 1 PRINCIPE

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.

G - 2 MATIÈRES THERMOFORMÉES ET EXEMPLES

Les matières thermoplastiques qui se transforment par thermoformage sont : les produits vinyliques (PVC et ses copolymères), les styréniques et leurs copolymères, les méthacryliques, les cellulosiques, les polycarbonates.

Il faut noter que les thermoplastiques amorphes se thermoforment mieux que les cristallins.

La possibilité d'utilisation de la matière transparente ou translucide offre des possibilités très avantageuses par rapport à celles données par les matériaux classiques pour les luminaires.

Exemples d'application

ABS : carrosseries, bateaux, planches à voile, carénage de motos ou de machines diverses, etc.

PMMA ou PC : cockpits d'avions et de planeurs, vitres blindées, vasques de luminaires, panneaux publicitaires.

PS-choc, PVC : emballages de produits alimentaires et d'articles de consommation.

G - 3 TECHNIQUE DU THERMOFORMAGE

Le cycle de thermoformage classique se compose de cinq étapes (fig. 34) :

- fixation d'une plaque ou d'une feuille rigide sur un cadre,
- chauffage de la plaque au-dessus de la température de transition vitreuse du polymère (chauffage au four ou par IR et fixation ou glissement sur un cadre) (fig. 34.1 et fig. 34.2),
- formage par aspiration et maintien de la déformation de la feuille jusqu'à la fin du refroidissement (fig. 34.3),
- refroidissement de l'objet à la température ambiante (fig. 34.4),
- démoulage et découpage des bords s'il est nécessaire (fig. 34.5).

Bien que la méthode soit relativement simple, l'industrie utilise dans la plupart des cas des machines spéciales pour ce type de mise en œuvre.

Il existe plusieurs techniques de formage que l'on peut classer en trois groupes qui se distinguent par l'obtention de pièces d'épaisseurs différentes :

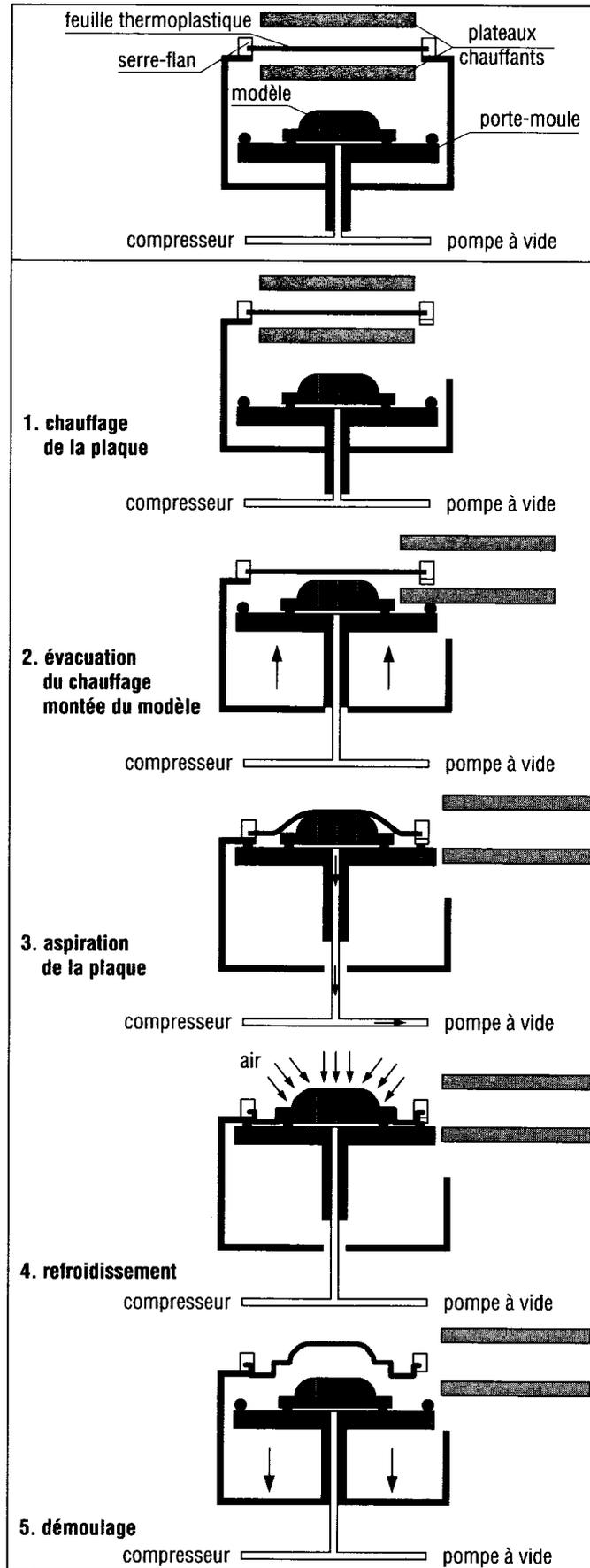


Figure 34

Principe du thermoformage

- procédé d'emboutissage : la déformation est obtenue par l'action directe d'un poinçon. C'est le cas des semi-cristallins qui présentent, même au-dessus de leur température de transition vitreuse une rigidité élevée,

- méthode pneumatique (formage sous vide ou par gonflage). Ces procédés utilisent la pression d'air comprimé, ou une dépression d'air créée par une pompe à vide.

Le principe de fonctionnement de ces dernières est basé sur l'utilisation de l'air sous pression ou le vide pour plaquer la feuille contre une empreinte munie d'évents. Ces orifices de petit diamètre (~ 0.5 mm) servent à évacuer l'air enfermé entre la feuille et la matrice, ou pour aspirer l'air et créer le vide qui plaque la feuille sous la pression atmosphérique contre la paroi de l'empreinte.

- les procédés basés sur la combinaison de ces deux systèmes précédents.

Dans le premier procédé la feuille touchée par le poinçon se refroidit localement et son élasticité diminue. En conséquence, on utilise pour la fabrication des outils des matériaux avec une faible conductibilité thermique comme le bois, les matières thermodurcissables, en ne laissant des surfaces métalliques que là où il faut donner aux matériaux formés un aspect brillant.

L'utilisation d'un poinçon agissant sur une partie de la surface provoque un allongement plus grand de la partie libre entre le poinçon et le serre-flan et une épaisseur plus faible. Pour que le procédé à poinçon soit efficace, la déformation doit être rapide pour diminuer au maximum les pertes thermiques de la plaque formée.

La technique d'emboutissage, compte tenu de ses inconvénients est peu pratiquée comparée à la technique thermo-pneumatique la plus utilisée dans les machines de thermoformage, surtout pour les grandes cadences.

Les machines actuelles combinent les principes de l'emboutissage et du vide pour augmenter leur champ d'application sur les produits dont le formage est plus difficile.

G - 4 CONCEPTION DES PIÈCES THERMOFORMÉES

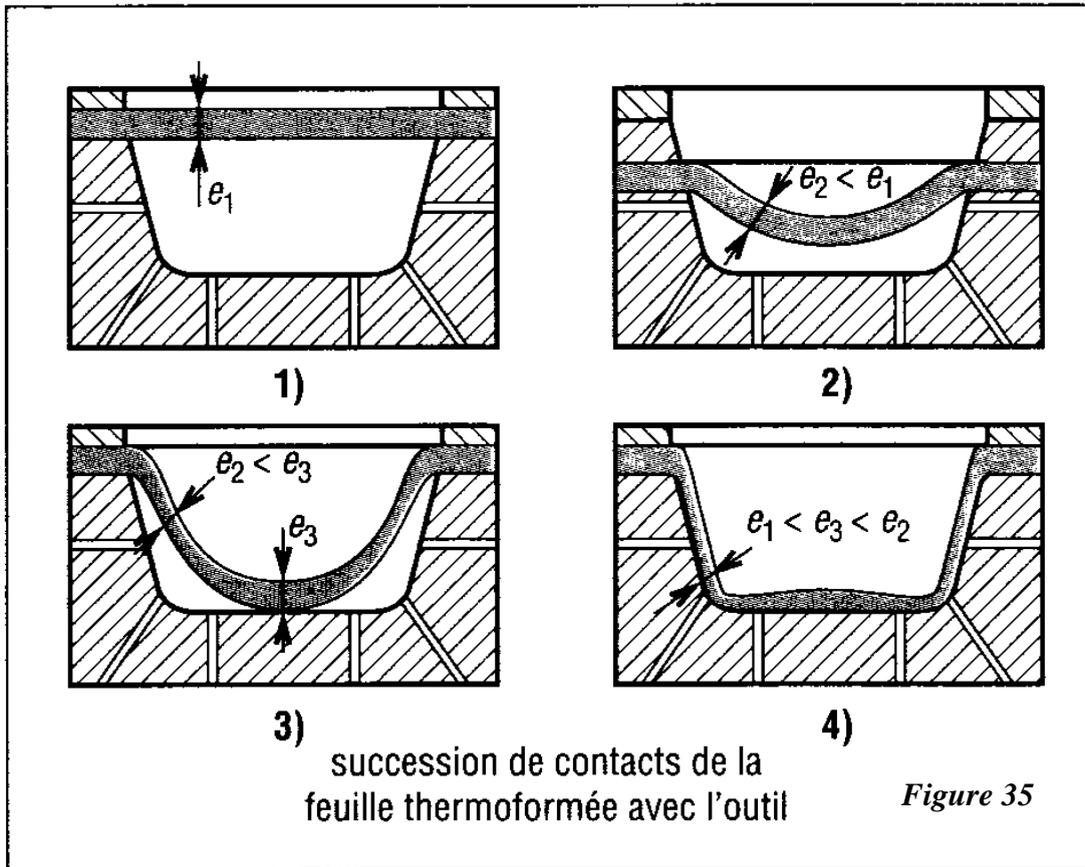
4.1 Généralités

La conception des pièces thermoformées se différencie de celle des objets moulés ou injectés par plusieurs aspects :

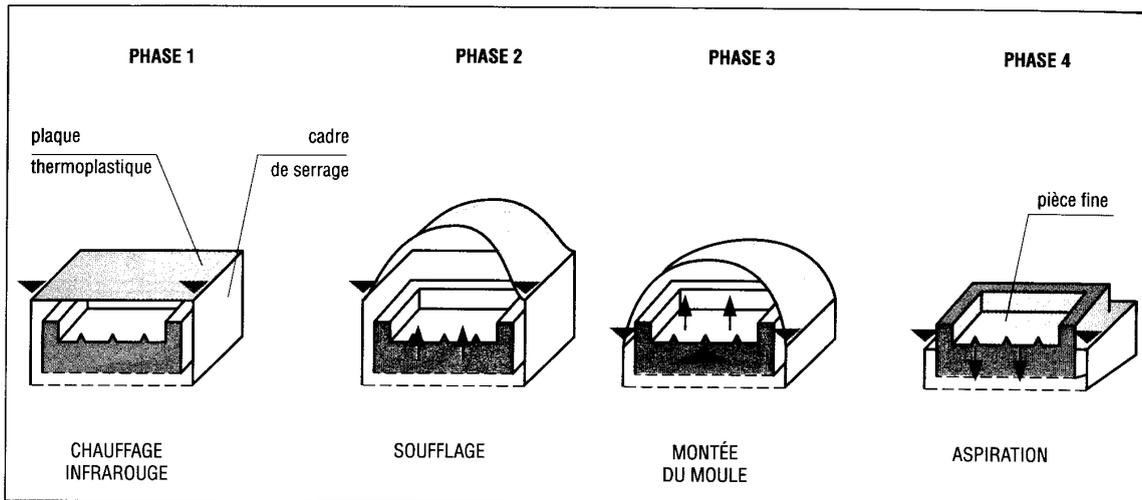
- les matières sont généralement limitées aux thermoplastiques amorphes,
- la variation de l'épaisseur en fonction de la forme de l'objet,
- les principes concernant la forme de l'objet en fonction de la technique de mise en œuvre, et de détournement.

4.2 Variation d'épaisseur

Le thermoformage augmente la surface de la feuille de départ en transformant le plan en 3D et en provoquant une réduction de l'épaisseur par étirage. La régularité d'épaisseur varie en



Évolution des épaisseurs en thermoformage



Solutions de préétirage avant thermoformage pour homogénéiser les épaisseurs

Figure 36

fonction de la technique de mise en œuvre (type de moule et de poinçon, vitesse de déformation, température). Les parties refroidies par les serre-flans du moule, ou par le poinçon gardent une épaisseur plus grande que les parties de la feuille qui se déforment.

Un élément en forme de pot (fig. 35) thermoformé sans poinçon donne l'épaisseur la plus grande au bord, un peu moins sur la partie latérale et au fond, et l'épaisseur minimale dans les angles. Ce rétrécissement est d'autant plus fort que le rayon de l'arrondi diminue. Le rapport entre l'épaisseur maximale et minimale d'objet de même forme augmente avec la profondeur de l'objet.

En conséquence, le concepteur doit éviter des angles. Dans le cas de pièces aux parois minces, on compense ce phénomène en étirant d'abord la feuille préchauffée par soufflage pour ensuite la plaquer contre la matrice sous l'effet du vide (fig. 36). Le retrait de l'objet thermoformé est accentué par les contraintes internes de la matière déformée à l'état élastoplastique et ensuite refroidie. Le concepteur doit prévoir des dépouilles adéquates pour éviter des difficultés au démoulage. Il est relativement difficile d'assurer à l'objet profond et compliqué une bonne régularité d'épaisseur, mais le concepteur doit prévoir de larges tolérances sur un tel objet.

H - LE MOULAGE PAR ROTATION (ROTOMOULAGE)

H - 1 PRINCIPE

Le moulage par rotation est conçu pour réaliser des corps creux de toutes dimensions. La méthode de fabrication est très simple (fig. 37) : 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.

H - 2 MATIERES UTILISEES

Tous les thermoplastiques peuvent convenir, mais ceux qui présentent le moins de difficultés pour la mise en œuvre sont le PVC rigide et plastifié, le PE, le PP, l'ABS, le PS-choc (rigide et expansé), le PA6, le PA11, le PA12, le polyuréthane.

H - 3 CARACTERISTIQUES DES OBJETS

3.1 - Formes et dimensions

Presque toutes les formes sont possibles à condition que la poudre puisse couvrir les parois pendant les mouvements de rotation. Les dimensions varient de quelques centimètres à plus de 4 m. Les épaisseurs vont de 0,75 à 13 mm, avec une tolérance de 0,15 à 1 mm. Les retraits étant importants sur de grandes dimensions, il faut penser, dès la conception des objets et des moules, au démoulage. Les orifices ou les renforts de grosses citernes et toute forme externe peuvent gêner le retrait. Il est possible de concevoir une pièce moulée avec des inserts. Dans ce cas, il faut prévoir le déplacement des inserts avec le retrait pendant le refroidissement.

3.2 - Propriétés mécaniques

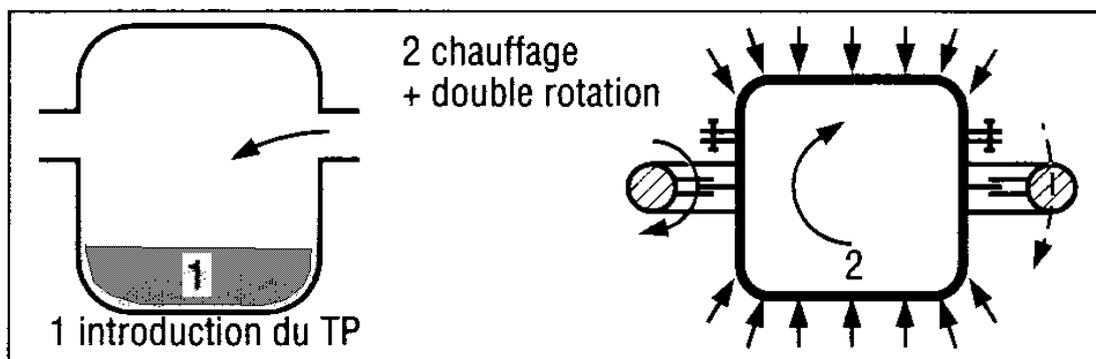
La fabrication des objets repose sur la fusion des grains de matière au contact du moule chaud. Les grains de poudre fondent et se soudent donnant une matière de structure continue. Les pressions et les cisaillements pendant le rotomoulage étant faibles, les grains de matière ne s'interpénètrent pas, mais se collent les uns aux autres.

Ceci explique les difficultés de construction de la couche fondue que l'on rencontre pour de nombreux thermoplastiques qui se soudent mal et donnent des pièces cassantes (exemple : PP). La conséquence est une diminution des tenues mécaniques par rapport à une pièce soufflée ou injectée. Dans ce cas, on peut prévoir un système de reprise des efforts par une structure différente, la pièce rotomoulée n'apportant que la fonction étanchéité.

H - 4 CONCEPTION DES MACHINES ET DES OUTILLAGES

4.1 - Mode de chauffage

Ce choix détermine l'ensemble du matériel.



Principe du rotomoulage

Figure 37

4.1.1 - Rampes à gaz sur machine rock'n roll

La température de la matière est très difficile à contrôler. Le coût des moules et du matériel est faible.

4.1.2 - Fluide (liquide) chauffé

Le chauffage est assuré par un fluide régulé en température (réglage aisé). Le moule est en aluminium à double paroi (cher). Le refroidissement peut être réalisé par un fluide froid dans la paroi du moule, ou directement sur le métal du moule.

4.1.3 - Fours

Le chauffage (régulé) est assuré dans un four à circulation d'air chaud. Le refroidissement est réalisé dans une enceinte spéciale par un courant d'air ou de l'eau.

4.1.4 - Chauffage électrique par infrarouge

L'enceinte principale tourne et chauffe par rayonnement IR. A l'intérieur, les moules tournent suivant un autre axe. Le refroidissement se fait par air sec dans l'enceinte.

H - 5 CAS PARTICULIER DU PA 6 (POLYCAPROLACTAME)

Le polyamide 6 est fabriqué par polymérisation anionique du caprolactame. Les réactants sont introduits dans le moule. L'ensemble est conditionné en température (150 / 180°C).

En quelques minutes, la réaction est terminée et le refroidissement est suivi du démoulage. Le polymère est fabriqué dans le moule et le problème de la mauvaise soudure des grains n'existe pas. Les propriétés mécaniques sont très bonnes et les pièces sont plus légères que par la méthode classique.

III - FORMES, DIMENSIONS ET SERIES

Le coût de fabrication d'une pièce est fonction :

- du temps de fabrication de chaque moulée,
- du nombre de machines immobilisées,
- du nombre de moules nécessaires à la fabrication,
- du personnel immobilisé pour assurer le bon fonctionnement de la machine et du moule, et du travail pour garantir la qualité des pièces,
- de l'emballage et de la protection des pièces, et du conditionnement avant le transport.

Par exemple, l'injection permet le moulage de 580 grappes de pièces épaisses par 24 h, soit environ 3 minutes de temps de cycle pour un objet de 15 mm d'épaisseur.

Par contre, si l'objet est très mince (0,6 à 1 mm), un temps de cycle de 6s permet d'obtenir 15000 moulées par 24 h. Une moyenne peut être estimée pour une épaisseur de 2 mm avec un temps de cycle de 15 à 20 s, soit 5000 moulées en 24 h (rappel : une moulée contient N pièces ; N = nombre d'empreintes, de 1 à 48, parfois plus).

En thermoformage, le cycle de chauffage de la plaque de polymère et de refroidissement de l'objet est long. Pour une plaque de 1,5 mm d'épaisseur, le cycle est d'environ 1 minute, soit 480 pièces pour 8 heures. La production peut atteindre des cycles de 15 minutes pour des pièces très épaisses, soit 32 pièces / 8 h.

A part une dimension presque infinie que peut créer l'extrusion, les autres moyens de fabrication ont des limites :

- petites pièces (1 à 10 mm environ) : surtout l'injection (ou la compression) et l'extrusion-soufflage. Les autres technologies sont mal adaptées aux petites pièces ;
- pièces moyennes (10 mm à 1 m environ) : bien des techniques sont compatibles. Injection ou compression, thermoformage, extrusion-soufflage et injection-soufflage (avec ou sans bi-étirage), rotomoulage...
- grandes pièces (à partir de 1 m) : il reste peu de choix pour les très grandes pièces. Si l'injection n'est pas exclue, les moules coûtent très chers. Il subsiste le thermoformage, l'extrusion-soufflage, le rotomoulage.

Comme nous venons de le voir, la géométrie influence le mode de transformation des pièces au travers de trois paramètres fondamentaux : forme, dimension et précision.

Les formes de pièces (fig. 37b) se classent en quatre catégories.

- **formes à une face** : seule une face de l'objet est fonctionnelle (par exemple : emballages, récipients, capots de protection, couvercles, etc.). Les méthodes de mises en œuvre sont : l'injection et/ou compression, le thermoformage (tableau 3).
- **formes à deux faces avec structure continue** : les deux côtés de l'objets assurent des fonctions et possèdent des détails de forme ou de présentation nécessaires (pièces techniques, éléments de mécanismes, capots ou couvercles avec des clips ou des charnières, pièces de blocage et de protection dans les emballages, etc.).

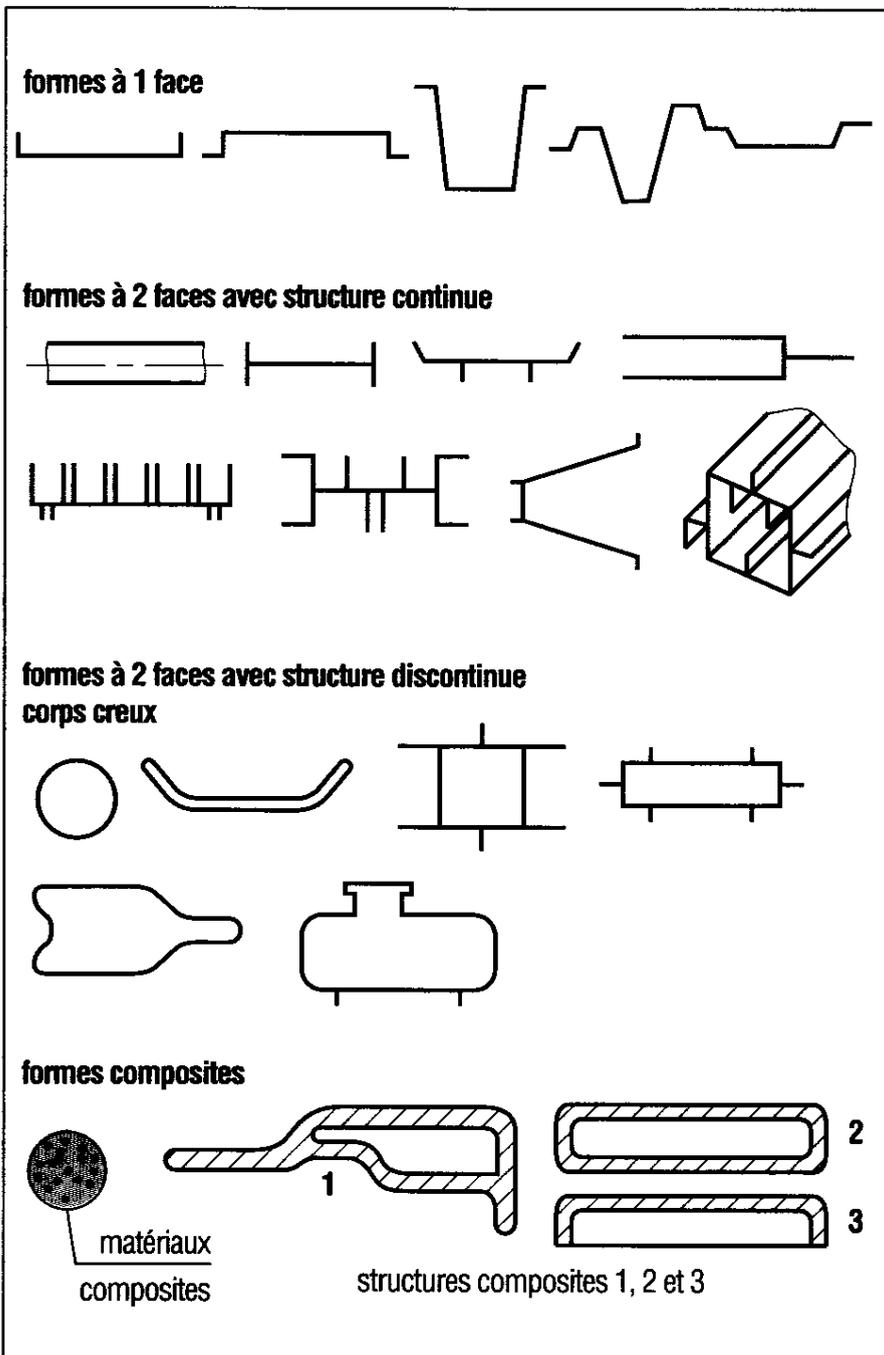


Figure 37b : Définitions de l'architecture des pièces.

Tous les éléments sont rattachés aux faces d'une même structure. Si la forme est un profilé (deux dimensions), par exemple, tube, lame de volet, baguette automobile, baguette électrique, chemin de câble, etc., la mise en œuvre se fait par extrusion. Si la forme est un objet tridimensionnel, on peut utiliser l'injection ou la compression. Le cas d'un objet profilé court peut être traité comme celui d'un objet tridimensionnel (tableau 4).

- **formes à deux faces avec structure discontinue** : cas des corps creux (bouteille, flacon, réservoir, citerne, bidon, récipients, ballons, flotteurs, etc.) (tableau 5). La structure creuse est réalisable de deux manières :

- en une pièce monobloc : extrusion-soufflage, injection-soufflage, rotomoulage ;

- en plusieurs éléments assemblés : chaque partie est réalisée par injection ou compression, thermoformage, injection-soufflage, extrusion-soufflage, rotomoulage ou extrusion. L'assemblage des pièces pourra être mécanique (clips obtenus lors du moulage, vis, rivets, ressorts, pinces, coutures...), par soudage (apport de calories au contact, hautes fréquences, ultrasons...), par collage (il faudra trouver une colle compatible avec les matériaux).

- **formes à structure composite** : dans ce cas particulier, les performances exigées de l'objet imposent une structure continue entre les surfaces externes pour assurer la tenue mécanique (éléments de tableaux de bord automobile, pièces composites pour bateaux ou véhicules).

	THERMOFORMAGE	INJECTION - COMPRESSION
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - Outillage simple et peu cher. - Grande surface sans problème particulier jusque 3 m². 	<ul style="list-style-type: none"> - Grande série. - Précision de fabrication. - Deux faces de bel aspect. - Aspect de surface possible. - Epaisseur contrôlée. - Matériaux renforcés. - Chauffage régulé de la matière
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - Une seule face de bel aspect. - Pas d'aspect de surface. - Les contre-dépouilles élèvent beaucoup le coût des outils. - Non-contrôle des épaisseurs - Chauffage de la matière difficile à réguler. 	<ul style="list-style-type: none"> - Moules métalliques chers. - Les contres-dépouillent élèvent le coût des moules. - Machines chères. - Retraits difficilement contrôlables.

Tableau 3 : Comparaison des moyens de productions des pièces à une face.

	EXTRUSION	INJECTION	COMPRESSION
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - Grand débit. - Précision. - Bonne plastification de la matière. 	<ul style="list-style-type: none"> - Grande série. - Précision de fabrication. - Deux faces de bel aspect. - Epaisseur contrôlée. - Bonne plastification de la matière. 	<ul style="list-style-type: none"> - Moyenne et grande série. - Précision de fabrication. - Deux faces d'aspect. - Moulage de matériaux classiques et de renforcés avec des charges de grandes dimensions.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - Risques de forts retraits à cause de l'étirage. - Découpe. - Filière chère. 	<ul style="list-style-type: none"> - Moules métalliques chers. - Les contres-dépouillent élèvent le coût des moules. - Les renforts en fibres longues souffrent de la plastification. 	<ul style="list-style-type: none"> - Dosage du produit. - Bavures. - Débouchage des trous en reprise. - Epaisseur perpendiculaire au plan de joint non constante. - Temps de cycle long. - Moules à couteaux plus chers que des moules pour injection. - Les contres-dépouillent élèvent le coût des moules.

Tableau 4 : Comparaison des moyens de productions des pièces à deux faces.

	EXTRUSION-SOUFFLAGE	INJECTION-SOUFFLAGE	BI-ETIRAGE (ébauches injectées ou extrudées)	ROTOMOULAGE
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - Grandes à très grandes séries. - Formes complètement fermées. - Moules simples. - Poignées pour le transport. - Grande variété de formes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Moyennes à grandes séries. - Détails complexes réalisables. - Pas de soudure. 	<ul style="list-style-type: none"> - Très grandes séries. - Détails complexes réalisables avec ébauches injectées. - Pièces légères. - Grande résistance mécanique - Forme ouverte (conteneurs) 	<ul style="list-style-type: none"> - Petites à moyennes séries. - Formes extérieures quelconques. - Formes complètement fermées. - Pas de soudure. - Faible coût de petites séries.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - Intérieur homothétique de l'extérieur. - Programmation des épaisseurs limitée et chère. - Filières complexes. - Asservissement de programmation de la filière. - Soudure. - Découpe pour ouvrir les formes 	<ul style="list-style-type: none"> - Outillage complexe - Types de pièces très limités - Forme ouverte - Mise en route délicate 	<ul style="list-style-type: none"> - Machines complexes et onéreuses. - Outillage important. - Types de pièces limités. - Choix des matières limité 	<ul style="list-style-type: none"> - Formes intérieures mal contrôlées - Choix des matières limité - Mauvaise tenue mécanique de la matière, donc pièces épaisses et lourdes. - Temps de cycle long.

Tableau 5 : Comparaison des moyens de productions des corps creux.

IV - 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 I-D-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.

Le système de moulage, directement raccordé à l'extrudeuse, est composé d'un barillet sur lequel sont fixés jusqu'à 12 moules. Ces moules sont successivement et automatiquement amenés à leur position de remplissage, puis circulés dans un bain de refroidissement et finalement amenés à leur position de déchargement. Les profilés moulés et refroidis sont alors éjectés hors des moules et transportés mécaniquement vers une trémie de réception. 12 profilés différents peuvent donc être réalisés alternativement. Les débits de production peuvent atteindre 600 kg/h suivant la configuration de la ligne.

D'autres lignes, basées sur le même principe, permettent de réaliser des palettes de manutention, des caillebotis, des regards d'égout...

L'avantage de ces lignes réside dans la préparation du déchet. Seul un déferrage est réalisé. Tout se passe ensuite dans l'unité de pré-broyage et plastification. Cette technologie ne nécessite pas de broyeur et de silo-tampon. En effet, le déchet est directement convoyé dans un compacteur-déchiporteur (fig. 38) où il est coupé, homogénéisé, chauffé, séché et prédensifié en même temps et dans une seule phase de travail. Les outils en rotation constante

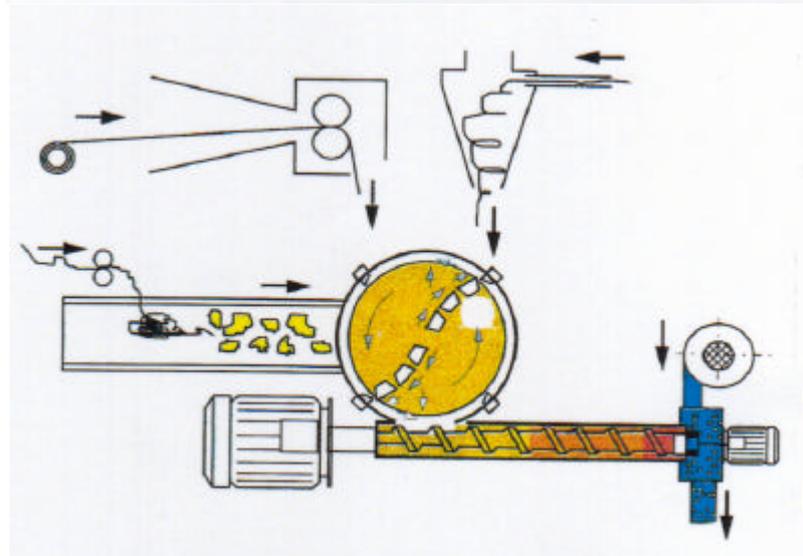
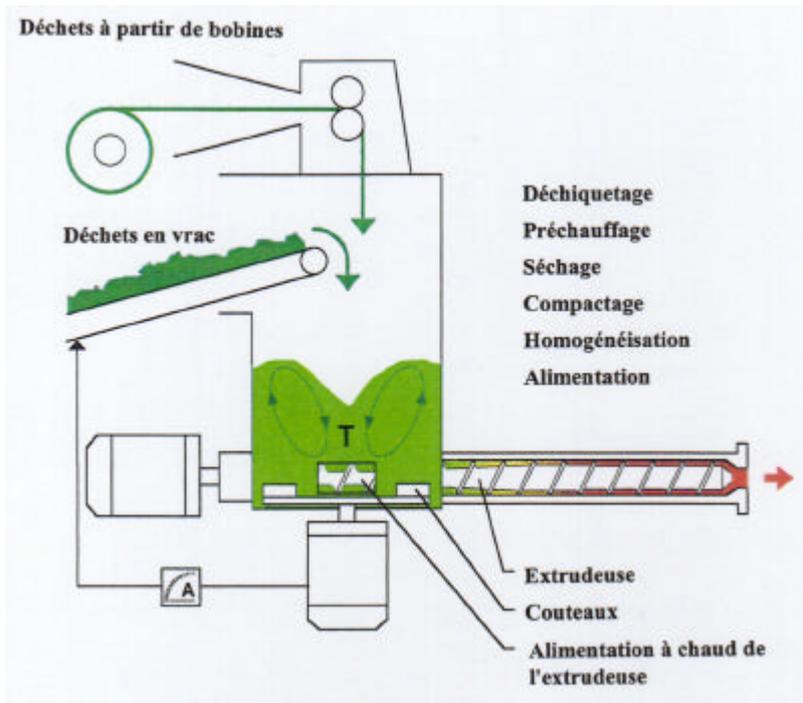


Figure 38

dans le compacteur-déchetteur permettent de générer la force nécessaire au parfait remplissage, en continu, de l'extrudeuse monovis directement accouplée.

L'alimentation directe de l'extrudeuse avec des matières préchauffées et précompactées permet :

- de réduire la longueur effective de l'extrudeuse
- de minimiser l'usure de la vis et du cylindre
- de maintenir aussi faibles que possible les effets néfastes sur les matières traitées (dégradation thermique, oxydation), grâce à la construction tangentielle (pas de déviation).

Les matières présentant une humidité résiduelle (env. 4%) peuvent être traitées sans difficultés. Pour des humidités résiduelles supérieures, il est possible d'ajouter un système de dégazage double à vide.

➤ **Utilisation en production (2001):**

Ce concept de mise en œuvre de déchets de matières plastiques non lavées est utilisé aujourd'hui pour la production de profilés, de planches et de pieux. L'assemblage de ces différents profilés permet de réaliser du mobilier pour l'extérieur comme des bordures de trottoirs, des digues, des pontons marins, des murs anti-bruit, du mobilier de jardin, des poubelles, des aires de collecte, des clôtures...(sociétés de production à ce jour : BOXTER RECYCLING 83130 LA GARDE ; TRAUDIB).

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-déchetteur, 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.

Accouplée à une unité de type compacteur-déchetteur, le procédé d'injection-compression (fig. 39) permet de réaliser, en une seule étape, des pièces de grande taille comme des palettes à partir de déchets de matières plastiques, avec des coûts de production minimisés (25 à 30% inférieur à ceux générés par de l'injection classique).

➤ **Utilisation en production (2001) :**

La palette plastique constitue un marché en pleine expansion et l'on trouve de plus en plus de sociétés concernées par la fabrication de ce produit. L'injection-compression est un procédé de mise en œuvre utilisé depuis plusieurs années. Certains gisements de déchets de matières plastiques conviennent parfaitement aux niveaux des performances mécaniques exigées dans la réalisation de palettes plastiques.

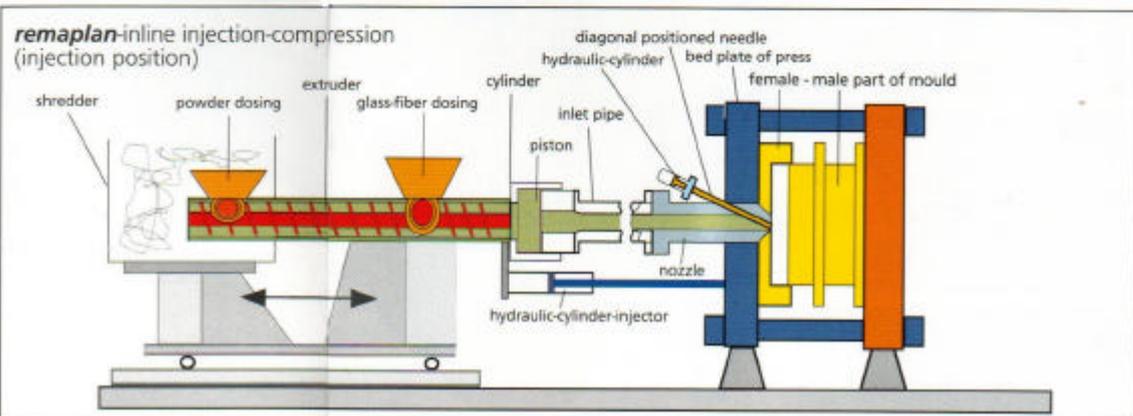
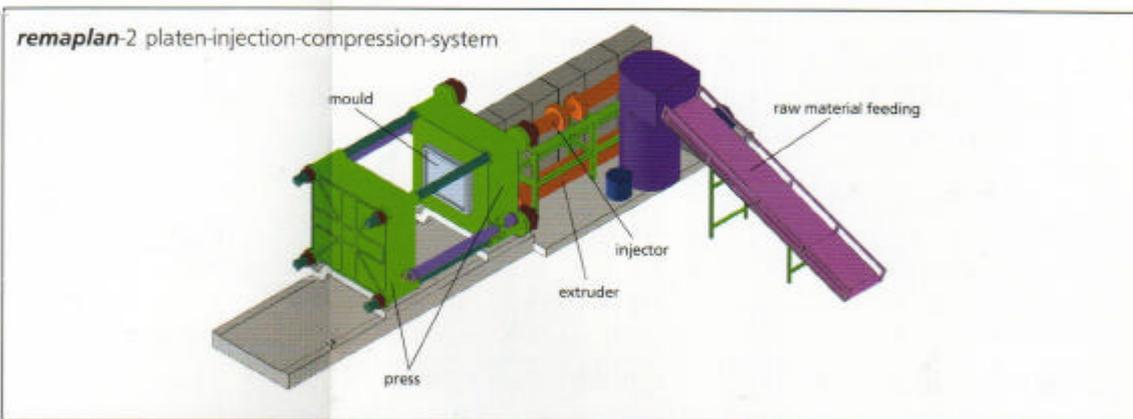
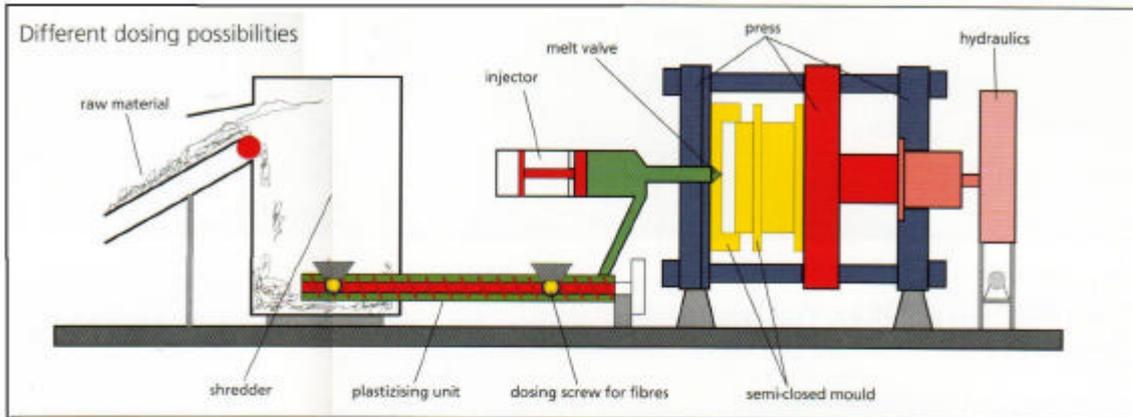


Figure 39

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 appels 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.

Le point important de ce concept réside dans la maîtrise de la viscosité intrinsèque du produit recyclé. En effet, un contrôle permanent pendant la phase d'extrusion permet de suivre l'évolution de ce paramètre et par conséquent de juger sur la qualité de la résine recyclée.

La figure 40 illustre le concept EREMA :

Un convoyeur ou une vis transporteuse alimente le pré-cristalliseur / pré-sécheur en bouteilles broyées (arrivant de l'installation de lavage), où la matière est préchauffée, séchée et cristallisée en continu, en une seule phase. Le système de transport vers le silo intermédiaire est calorifugé. Le PET broyé traverse le sas sous vide et entre dans le déchiporteur-compacteur / sécheur sous vide. Il séjourne sous très forte dépression et à très haute température le temps nécessaire pour le libérer efficacement des contaminants volatils, réduire au minimum l'humidité résiduelle et augmenter la viscosité pour obtenir la même viscosité que la matière vierge. Les instruments d'analyse du déchiporteur-compacteur / sécheur sous vide mesurent et contrôlent le degré de contamination du PET broyé qui entre dans l'extrudeuse. La matière est plastifiée, homogénéisée et dégazée dans l'extrudeuse, puis traverse un filtre très fin doté d'un système d'auto-nettoyage automatique. Le granulateur / cristalliseur en ligne produit des granulés semi-cristallins.

La qualité obtenue en sortie de ligne semble satisfaire à la FDA, qui ne s'opposerait pas à l'utilisation de cette qualité de matière régénérée pour un contact alimentaire.

➤ *Utilisation en production (2001) :*

Il n'existe pas à ce jour de structure de production, fonctionnant sur le principe EREMA, permettant de réaliser des bouteilles pour l'alimentaire à partir de PET recyclé. Il s'agit d'un concept en phase finale de développement et à la recherche de marché. Il faut toutefois préciser que le gisement de bouteilles en PET, régénéré par le procédé EREMA, ayant conduit à des paillettes permettant de re-fabriquer des bouteilles pour l'alimentaire est

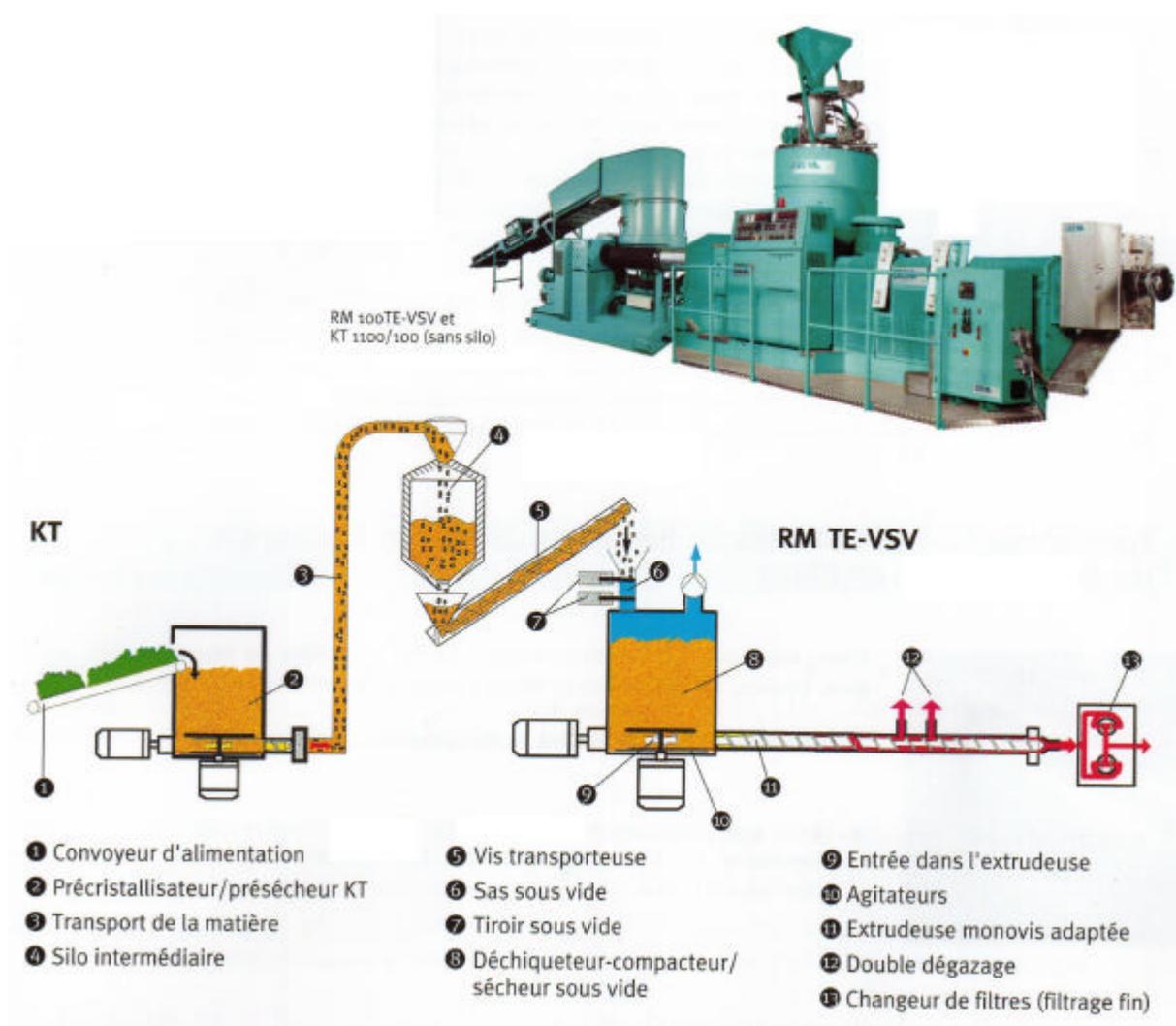


Figure 40

particulièrement trié à la source. Il s'agit uniquement de bouteilles incolores dont l'origine reste imprécise (déchets de fabrication ou déchets de post-consommation ?).

D - L'EXTRUSION EN FILIERE FROIDE

L'extrusion est adaptée à la fabrication de produit de section constante (profilés). La forme du produit est le plus souvent donnée par une filière et figée ensuite dans un conformateur. Cette solution classique est peu adaptée au recyclage de déchets peu purifiés. Leur variation de viscosité et les gaz résiduels perturbent la paraison (matière plastifiée entre la filière et le conformateur) et empêchent une conformation correcte.

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 pressions 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.

Ce système permet d'utiliser des matières hétérogènes et peu purifiées. La calibration n'est pas perturbée par les variations de viscosité et les gaz inhérents à ce type de déchets plastiques. La filière est adaptée pour les mélanges de polyoléfinés et de PET.

Ce procédé peut être comparé à l'intrusion pour la fabrication de profilés :

Avantages	+ Parois plus minces et multicouches ; + Profilés de longueur variable et creux, donc plus légers à rigidité égale ; + Amélioration du matériau par effets d'orientation.
Inconvénients	- Débit massique plus faible à investissement égal ; - Nécessité d'une co-extrusion onéreuse (environ 3% de polymère vierge).

➤ **Utilisation en production (2001) :**

Ce concept d'extrusion en filière froide développé par une société française (SCAMIA) n'a jamais débouché sur un développement industriel en production. Il s'agit d'un procédé de mise en œuvre relativement intéressant sur certains points (Cf avantages ci-dessus) mais dont l'équilibre économique reste difficile à atteindre.

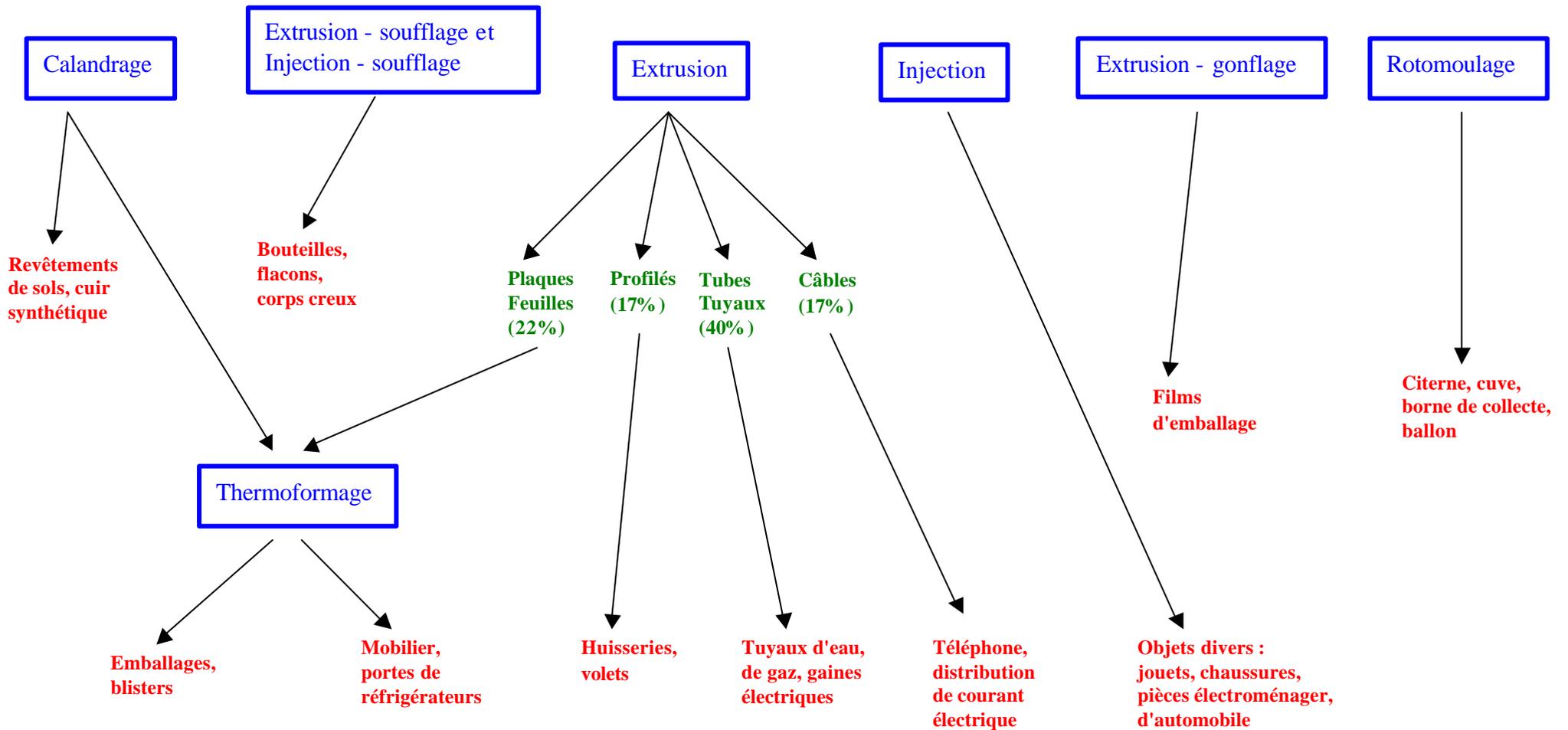
ANNEXES

ANNEXE 1 : Glossaire

GLOSSAIRE

ABS :	poly(acrylonitrile-butadiène-styrène)
BTP :	bâtiment travaux public
DCO :	demande chimique en oxygène
DIB :	déchets industriels banals
DIM :	déchets issus des médicaments
DIS :	déchets industriels spéciaux
EVA :	poly(éthylène-acétate de vinyle)
EVOH :	poly(éthylène-alcool vinylique)
IAG :	injection assistée gaz
IR :	infra rouge
IV :	viscosité intrinsèque
L/D :	longueur / diamètre
MFI :	melt flow index
µm :	micromètre
MPa :	mégaPascal
OM :	ordures ménagères
PA :	polyamide
PAN :	polyacrylonitrile
PC :	polycarbonate
PE :	polyéthylène
PEbd :	polyéthylène basse densité
PEhd :	polyéthylène haute densité
PET :	polyéthylène téréphtalate
PMMA :	polyméthacrylate de méthyl
PP :	polypropylène
PPO :	polyoxyphénylène
PS :	polystyrène
PSE :	polystyrène expansé
PTM :	prescriptions techniques minimales
PU :	polyuréthane
PVC :	polychlorure de vinyle

ANNEXE 2 : Exemples d'applications



Quelques exemples d'applications liées aux différentes techniques de mise en œuvre des matières plastiques.

ANNEXE 3 : Compte rendu de visites

BOXTER RECYCLING
EUROFLACO
PLASTIC OMNIUM SYSTEMES URBAINS

Visite du 03/12/01

BOXTER RECYCLING

La Garde - France

Contact : M. PILTON (Directeur Boxter Recycling)

I - PRESENTATION GENERALE :

La société BOXTER RECYCLING, implantée à La Garde dans le Var, est spécialisée dans la réalisation de planches et de profilés pleins à partir de déchets de matières plastiques essentiellement en provenance de la collecte des déchets ménagers.

Différents profilés sont réalisables dans des longueurs de 2,5 mètres maximum. Un atelier de montage permet de travailler ces différents profilés pour réaliser différents objets comme du mobilier extérieur, des clôtures, des aires d'apport volontaire, etc.

La société développe aussi une activité dans le rotomoulage (regard pour égout, jardinières, pièces de mobilier extérieur, etc.) mais cette activité fait appel uniquement à de la matière plastique vierge.

II - ORGANISATION ET FONCTIONNEMENT :

1) Approvisionnement :

La majorité du tonnage traité provient de la filière VALORPLAST. Il s'agit de balles de corps creux en PEHD. La société utilise parfois d'autres balles mais de composition toujours majoritaire en PEHD. Quelques rebuts industriels sont aussi parfois utilisés pour des applications spécifiques de clients.

2) Equipement de mise en œuvre:

La particularité de la société BOXTER RECYCLING est la réalisation de produits finis contenant 100% de matières plastiques recyclées. De plus, le procédé utilisé pour la réalisation de planches et de profilés ne nécessite pas la régénération préalable du déchet. En effet, les balles sont directement utilisées pour alimenter la seule ligne de production de l'unité.

Il s'agit d'un des concepts décrits dans le paragraphe II de cette étude qui repose sur le phénomène d'intrusion.

La ligne est de marque JET INTERNATIONAL. Elle est couplée à un système d'alimentation de type EREMA.

Les balles de PEHD sont chargées à l'aide d'un chariot élévateur équipé de pinces à balles directement dans un déchiqueteur. Les liens sont retirés avant introduction.

Les balles déchiquetées alimentent un tapis convoyeur équipé d'un système de détection et de séparation des métaux de type OverBand.

Un deuxième tapis d'alimentation permet de conduire la matière déchiquetée dans un compacteur-déchiqueteur EREMA en passant sous un autre détecteur de métaux de type courant de Foucault. Le moteur du compacteur-déchiqueteur est asservi par le tapis d'alimentation ; une surcharge a pour effet de stopper l'alimentation.

Le déchet est alors coupé, homogénéisé, chauffé, séché et prédensifié en un même temps et dans une seule phase de travail. Les outils en rotation constante dans le compacteur-déchiqueteur permettent de générer la force nécessaire au parfait remplissage, en continu, de l'extrudeuse monovis directement accouplée.

Le système de moulage, directement raccordé à l'extrudeuse, est composé d'un barillet sur lequel sont fixés jusqu'à 12 moules. Ces moules sont successivement et automatiquement amenés à leur position de remplissage, puis circulés dans un bain de refroidissement et finalement amenés à leur position de déchargement. Les profilés moulés et refroidis sont alors éjectés hors des moules et transportés mécaniquement vers une trémie de réception. 12 profilés différents peuvent donc être réalisés alternativement. Les débits de production peuvent atteindre 250 kg/h suivant la configuration de la ligne.

L'avantage de ce système est la possibilité de réaliser des profilés différents en même temps car les douze moules sur le carrousel sont totalement indépendants.

Un problème de temps de cycle de refroidissement perturbe toutefois la production lorsque l'on essaie de réaliser sur le même barillet des profilés pleins de diamètre 38 mm avec des profilés pleins de diamètres 100 ou 150 mm.

Il est donc clair que les cadences de production sont imposées par le type de moules installés sur le barillet.

Des additifs peuvent être introduits au niveau du compacteur-déchiqueteur ; c'est le cas des colorants qui permettent de teindre dans la masse les produits finis. Il s'agit d'un poste de dépenses élevées car les quantités de colorants nécessaires à l'obtention des teintes sont importantes.

La conduite de la ligne nécessite un seul opérateur de niveau BAC Professionnel au minimum.

Les rebuts de fabrication et de démarrage de ligne sont broyés et réintroduits dans le cycle de production. Aucun déchet n'est généré par l'activité.

Au niveau de la maintenance, ce type de machine est très robuste, simple dans son architecture et seul un entretien des couteaux du déchiqueteur est nécessaire. Le changement de moules sur le barillet est une opération assez lourde et nécessite une demi-journée d'arrêt machine.

3) Débouchés :

Les débouchés de cette activité concernent principalement trois secteurs :

- le mobilier urbain (bancs, tables, fauteuils, jardinières, poubelles, aire d'apport volontaire et abri-conteneur) ;
- l'agriculture (piquets de vignes, poteaux, tuteurs...)
- le génie civil et le BTP

Visite du 13/12/01

EUROFLACO

Chevigny-St-Sauveur - France

Contacts : M. LE HOUE (*Responsable Production Soufflage*)
M. IRLINGER (*Responsable Assurance Qualité*)

→ *Visite sous haute confidentialité - compte rendu censuré par Euroflaco*

I - PRESENTATION GENERALE :

La société EUROFLACO, située à Chevigny-St-Sauveur (F-21800), est spécialisée dans l'extrusion-soufflage de corps creux. Les domaines d'application vont de la cosmétique au lessiviel en passant par toute sorte de flaconnages. Les volumes des corps creux réalisés vont de quelques millilitres à plusieurs litres. Une autre activité de la société, basée sur le même site, repose sur le soufflage de préforme en PET, notamment pour la réalisation de bouteilles d'huile.

En ce qui concerne l'extrusion-soufflage de corps creux, EUROFLACO utilise la technologie ALPLA. Il s'agit d'un procédé mis au point en interne dans la société et hautement confidentiel. Par conséquent, il a été extrêmement difficile de pénétrer dans cette structure pour en effectuer la visite. Nombreuses questions sont restées volontairement sans réponses. Selon les souhaits des personnes qui ont consenti à nous recevoir, ce compte rendu restera très succinct.

L'activité de cette société qui nous intéresse particulièrement concerne la réalisation de flacons et bidons multicouches. La fabrication en cours, le jour de notre visite, consistait à obtenir des flacons multicouches (3 couches dans ce cas) pour le conditionnement de sel régénérant pour lave-vaisselle. Il s'agit de flacons en PEHD dont la couche centrale, en matière recyclée, est prise en sandwich par deux couches de matière vierge.

Sur l'ensemble des dix lignes d'extrusion-soufflage en fonctionnement, une seule est utilisée pour réaliser des flacons multicouches contenant de la matière recyclée.

II - ORGANISATION ET FONCTIONNEMENT :

1) Approvisionnement :

La matière plastique recyclée utilisée par EUROFLACO provient soit du broyage des chutes internes de fabrication soit de granulés provenant du recyclage des emballages en PEHD issus de la collecte sélective des déchets ménagers (origine SOREPLA).

La consommation journalière de résine recyclée est proche de 2 tonnes.

2) Equipement de mise en œuvre :

La mise en œuvre est réalisée par extrusion-soufflage, technologie ALPLA.

Plusieurs paraisons sont extrudées en même temps ; chacune contenant dans sa couche centrale du PEHD recyclé. Un moule multi-empreintes (correspondant au nombre de paraisons) vient se fermer sur les paraisons pour donner la forme aux flacons et permettre le soufflage.

La qualité de la matière recyclée doit être irréprochable car la moindre impureté (papier, aluminium...) provoque un infondu et par conséquent un défaut dans le flacon.

3) Débouchés :

Il s'agit de flacons ou de bidons multicouches en PEHD. Cette technologie n'est pas utilisée dans un but d'économie de matière vierge par EUROFLACO mais à la demande du client qui souhaite s'engager dans une démarche environnementale.

Visite du 13/12/01

PLASTIC OMNIUM SYSTEMES URBAINS

Langres - France

Contact : M. FARESS (*Responsable Laboratoire*)

→ *Visite sous haute confidentialité - compte rendu censuré par PO Systèmes Urbains*

I - PRESENTATION GENERALE :

La société Plastic Omnium Systèmes Urbains est basée à Langres (F-52206). Son activité repose sur la réalisation de bacs de collecte pour déchets. Les bacs sont en PEHD et sont obtenus par injection. Les volumes des conteneurs vont de 90 à 2000 litres. Ils sont essentiellement destinés aux collectivités.

Une partie de la gamme proposée est réalisée avec du PEHD recyclé, toujours en mélange avec de la matière vierge.

II - ORGANISATION ET FONCTIONNEMENT :

1) Approvisionnement :

La matière plastique régénérée utilisée par PO provient soit de flaconnages en PEHD issus de la collecte sélective des emballages ménagers ; il s'agit alors de paillettes de qualité type SOREPLA ; soit de bac de collecte en fin de vie. Ces bacs sont récupérés, lavés et broyés par la filiale Plastic Omnium Recycling.

Le taux de matière recyclée incorporée dans la fabrication de nouveaux conteneurs reste confidentiel.

2) Equipement de mise en œuvre :

La société Plastic Omnium Systèmes Urbains dispose d'une vingtaine de presses à injection. Ces machines présentent des forces de fermeture allant de 300 à 10 000 tonnes, pour les conteneurs les plus volumineux.

3) Débouchés :

Ils s'agit essentiellement de conteneurs à déchets, équipés de leur couvercle et de leur système de manutention. Plusieurs options sont possibles en fonction des applications finales du conteneur.

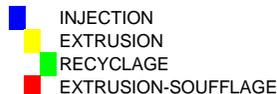
La société transforme annuellement 20 000 tonnes de polyéthylène haute densité dont environ 6 000 tonnes de matière plastique recyclée.

**ANNEXE 4 : Coordonnées des fournisseurs
de machines de mise en œuvre et accessoires**

	SOCIETE	ADRESSE	CODE POSTAL	VILLE	TELEPHONE	FAX	E-MAIL	SITE WEB
	A.MARTINAND	27, Cours de Verdun BP1105	F-	OYONNAX CEDEX	0474731600	0474776891	martinand@martinand.fr	www.martinand.com
	AMERICAN MAPLAN CORP.	823 S ByPass	KS-67460	MCPHERSON	0013162416843	131 62 41 02 07		
	AMUT	VIA CAMERI, 16	I-28100	NOVARA	393 21 47 17 01	393 21 47 42 00	amut@amut.it	
	AOKI TL EUROPE GmbH	Heerdter Lohweg 89	D-40549	DUSSELDORF	4921 15 99 04 20	4921 15 99 04 44		www.aokitech.co.jp
	ARBURG	ARBURG SAS ZI Fosse à la Barbière	F-93605	AULNAY SOUS BOIS	01 48 65 15 07		france@arburg.com	www.arburg.com
	ARENZ GmbH	Heidstrasse 5,	D-53340	MECKENHEIM	0222588920	02 22 51 59 72		
	ART RECYCLING TECHNIK GmbH	Valdorfer Strasse 32	D-32545	BAD OEYNHAUSEN	49 57 39 62 32	495 73 98 03 81	a.r.t.-@t-online.de	www.plasticrecycling.de
	ASIAN PLASTIC MACHINERY	1-1 Sung Chiang N. Rd.		CHUNG LI	88634522288		asian02@ms7.hinet.net	
	AXON PLASTICS MACHINERY AB	Hokaregatan 2,	S-26550	NYVANG	466257080	04 66 25 41 52	axon@helsingborg.se	www.axonmachinery.se
	BANDERA SPA	Corso Sempione 120, CP344	I-21052	BUSTO ARSIZIO	331398111	03 31 68 02 06	lbandera@lbandera.com	www.lbandera.com
	BATTENFELD	Battenfeld Extrusionstechnik GmbH	D-32547	BAD OEYNHAUSEN	057312420	05 73 12 71 24		www.battenfeld.com
	BAUSANO GROUP SPA	Via Venezia	I-21050	VARESE	390331355770	3903 31 36 58 92	info@bausano.it	www.bausano.it
	BEKUM EUROPE	Lankwitzer Strasse 14/15	D-12107	BERLIN	04 93 07 43 00	4930 74 90 24 41	bekum-berlin@t-online.de	
	BELLAFORM	Max Planck Strasse 2,	D-55218	INGELHEIM	4961327880	4961 32 78 82 85		
	BERSTORFF GmbH	An Der Breiten Wiese 3-5,	D-30625	HANNOVER	51157020	05 11 56 19 16		
	BETOL MACHINERY LTD.	187 Camford Way, Sundon Park	GB-LU3 3AN	LUTON	01582570501	15 82 59 73 63		
	BILLION	1 Avenue Victor Hugo	F-01100	BELLIGNAT	33 4 74 73 20 00	33 4 74 73 20 01		
	BM BIRAGHI SPA	Via Ercolano, 11	I-20052	MONZA	3903920621	390392840915	informa@bmiraghi.it	www.bmiraghi.it
	BMB SPA	Via Enrico Roselli 12	I-25125	BRESCIA	00390302689811	00390302689880		
	BODINI PRESSE SRL	Via foscolo 11	I-21023	BESOZZO	0332773954	0332773958	bodpress@tin.it	
	BOSTON MATTHEWS MACHINERY LTD.	Navigation Rd	GB-WR5 3DE	WORCESTER	441905763100	4419 05 76 31 01		
	BOY Dr GmbH	Neschener-Strasse 6 Postfach 12 50	D-53577	NEUSTADT	026833070	0268332771	drboy@t-online.de	www.dr-boy.de
	BRABOR SRL	Via Montegrappa 26,	I-41040	UBERSETTO DI FIORANO	536843873	536 84 84 42 94		
	BURSS COMPOUNDING SYSTEMS AG	Hohenrainstrasse 10,	CH-4133	PRATTELN	41618256600	416 18 25 68 13		
	BUSSCHAERT ENGINEERING	Nijverheidslaan 66,	B-8540	DEERLIJK	3256775969	32 56 77 30 87		
	CHI CHANG MACHINERY	43, Hsin-Leh Rd		TAINAN	88662663000	886 62 66 79 84	rhong@chimei-com.tw	www.chimei.com.tw
	CINCINNATTI MILACRON AUSTRIA	Laxenburger strasse 246,	A-1232	WIEN	43 1 610060	43 16 10 06 08	welcome@cmaustria.com	www.cmaustria.com
	CMR SRL	Viale Industria 59,	I-20037	PADERNO DUGNANO	390399045363	3902 99 04 53 55	info@cmr-srl.com	www.cmr-srl.it
	COLINES SRL GRUPPO	Via Buonarroti N 27/29	I-28060	NIBBIA	390321486311	3903 21 48 63 55	info@colines.it	www.colines.it
	COLLIN DR GmbH	Sportparkstrasse 2,	D-85560	EBERSBERG	49809220960	498 09 22 08 62	collin@drcollin.de	
	COLMEC SPA	Via delle orchidee 2,	I-20020	VANZAGHELLO	0331306600	331 30 30 62 80	colmec@betanet.it	www.colmec.it
	COMAC SRL	Via per legnano N. 57,	I-20023	CERRO MAGGIORE	0331577387	03 31 46 46 05		
	COMPEX GmbH	Hauptstrasse 1,	D-53426	SCHALKENBACH	02 64 69 41 40	26 46 94 14 10	compexgmbh@t-online.de	
	CORELCO		F-01570	MANZIAT	03 85 36 12 58	03 85 30 04 55		
	DAVIS-STANDARD CORPORATION	1 Extrusion Drive	US-CT 06379	PAWCATUCK	86 05 99 10 10	86 05 99 62 58		www.davis-standard.com
	DELTATHERM HIRMER GmbH	Gewerbegebiet Bövingen 122	D-53804	MUCH	0224547589	022454743		www.deltatherm.com
	DEMAG ERGOTECH FRANCE	Parc Gustave Eiffel 6, Av. Gutenberg BP9	F-77607	MARNE LA VALLEE	01 64 76 45 50	01 64 76 46 96	demag.ergo@fr.dematic.com	www.demag-ergotech.com
	DK	ZI, 3 Rue Montgolfier BP50	F-95502	GONESSE CEDEX	0134534040	0134539748		
	DOHRMANN PLASTIC MACHINERY	Am Schlagbaum 1,	D-42781	HAAN	4921298465	49212952741	DPM-GmbH@t-online.de	www.dpm-gmbh.com
	DRADER INJECTIWELD INC.	5750-50 Street, CDN Edmonton,	Kanada T6B 2Z8	ALBERTA	40 34 40 22 31	40 34 40 22 44	drader@teluplanet.net u.	www.draderinjectiweld.com
	EGAN DAVIS-STANDARD	36 South Adamsville Road,	US - NJ 08876	SOMERVILLE	90 87 22 60 00	90 87 22 64 44		www.davis-standard.com
	EIN ENGINEERING CO	Koei Bldg. 32-2 Nishi Gotanda 1	141-0031	TOKYO	0334901861	0334904412		
	ENGEL Automatisierungstechnik GmbH	Ludwig-Engel Strasse 1	A-4407	DIETACH	0 72 62 62 00	726 26 20 21 49	sales@engel.at	www.engel.at
	ENTEK	250 N.Hansand Ave. PO Box 39	US - OR 97355	LEBANON	54 12 59 10 68	54 12 59 80 18		www.entek-mfg.com
	ENTEX RUST & MITSCHKE GmbH	Heinrichstrasse 67,	D-44805	BOCHUM/NRW	02 34 89 12 20	23 48 91 22 99		
	ER WE PA DAVIS-STANDARD	Mettmanner Strasse 51,	D-40675	ERKRATH	49 21 12 40 40	4921 12 40 42 81		www.davis-standard.com
	EREMA	FREINDORF UNTERFELDSTRASSE 3, POB 38	A-4052	ANSFELDEN/LINZ	43 732 3190 0	43 732 3190 23		
	ERMAFA	PARACELUSSTRASSE, 10	D-09114	CHEMNITZ	49 371 9146 0	4937 19 14 62 23	ermafa.tower@t-online.de	home.t-online.de/home/ermafa.tower
	ESCH ELEKTROSTATIK GmbH	Prattelsackstrasse 25,	D-52222	STOLBERG	02 40 21 20 80	24 02 12 08 56		
	EURECAST RECYCLING GmbH	Glimkestrasse 9,	D-32602	VLOTHO-EXTER	49 52 28 13 93	49 52 28 13 53		
	EXMA SONDERMASCHINENBAU	Sternner Hütte	D-53545	LINZ AM RHEIN	026442918	026442218		
	EXTRUDEX KUNSTSOFFMASCHINEN	Brühlstrasse 38,	D-75417	MUHLACKER	704196250	7041962522		
	FANUC Ltd.	Oshino-mura, J-Yamanashi Prefecture	Japan 401-05		815 55 84 55 55	815 55 84 55 12	mmte-fanuc@t-online.de	
	FERROMATIK MILACRON	Riegeler Strasse 4,	D-79364	MALTERDINGEN	04 97 64 47 80	49 76 44 68 85	hermann_plank@milacron.com u.	www.ferromatik.com
	FORMAC SRL	Via Santa Croce No.8,	I-20122	MILANO	390 28 37 89 58	3902 89 40 13 40	formac.srl@formac.it u.	www.formac.it
	FUTURE DESIGN INC	38 Holtby Ave., CDN-Brampton	Kanada L6X 2M1	ONTARIO	90 54 53 99 78	90 54 53 60 89	futurecan@saturn2.com	
	GAMMA MECCANICA SRL	VIA SACCO E VANZETTI	I-42021	BIBBIANO	0522 24 08 11	0522 883490	info@gamma-meccanica.it	www.gamma-meccanica.it
	GENERAL PLASTICS GmbH	Eisenhütte 48 Postfach 84	A-3400	KLOSTERNEUBURG	0224324735	0224325688		
	GIMAC Di Maccagnan Giorgio	Via Roma 12,	I-21040	CASTRONNO /VA	03 32 89 22 06	03 32 89 22 34		
	GTC ECOPLANS SRL	Viale dell'Industria, 22	I-37048	SAN PIETRO DI LEGNAGO	04 42 60 18 68	04 42 60 18 68	globalt@netbusiness.it	
	HEGLER PLASTIK GmbH	Heglerstrasse 8,	D-97714	OERLENBACH	04 99 72 56 60	499 72 56 61 15		

Coordonnées constructeurs

	HOSOKAWA ALPINE	Peter Dörfler Strasse 13-25	D-86199	AUGSBURG	082159060	0821573839	mail@alpine.hosokawa.com	
	HPM HEMSCHIEDT GmbH	Werkstrasse 226,	D-19061	SCHWERIN	49 38 56 42 00	4938 56 42 02 43	hpm.potschw@aol.com u.	www.hpmcorp.com
	HUSKY Injection Molding Systems S.A.	Zone Industrielle Riedgen, P.O. Box 93	L-3401	DUDELANGE	3525 21 15 42 08	3525 21 15 44 58	asackx@husky.on.ca u.	www.husky.ca
	INDUSTRIE GENERALI SRL	Via Milano 201,	I-21017	SAMARATE /VA	3903 31 80 04 41	3903 31 80 05 69	indgener@betanet.it	
	JSW	J-Tower, 1-1 Nikko-Cho, J-Fuchu-City,	Japan 183-8503	TOKYO	04 23 30 80 08	04 23 30 80 23	webmaster@jsw.co.jp u.	www.jsw.co.jp
	JULIEN ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY	117, Av. du Maréchal Juin	F-06400	CANNES	0492188400	0492188401	jet.international@jet-norsemen.com	
	KANNEGIESSER KMH GmbH	Kannegiesserring,	D-32602	VLOTHO	57 33 91 23 40	57 33 91 23 45	Kannegiesser-KMH@t-online.de	
	KILLION EXTRUDERS	200 Commerce Road,	US - NJ 07009	CEDAR GROVE	97 32 39 02 00	97 32 39 30 31		www.davis-standard.com
	KRAUSS MAFFEI	Krauss-Maffei Strasse 2,	D-80997	MUNCHEN	04 98 98 89 90	4989 88 99 30 92		www.krauss-maffei.de
	KRUPP	Meiendorfer Strasse 203,	D-22145	HAMBURG	0 40 67 90 70	40 67 90 72 70	corpo@kch.hh.uunet.de	
	KRUPP WERNER	Theodorstrasse 10,	D-70469	STUTTART	0 7 11 89 70	71 18 97 39 99		
	KUHNE	Einsteinstrasse 20,	D-53757	ST AUGUSTIN	49 22 41 90 20	4922 41 90 21 80	kuhne@t-online.de u.	www.kunststoffe.de/kuhne
	LEISTRIZ	MARKGRAFENSTRASSE 29-39	D-90014	NURNBERG	091143060	09114306400	leistriz-extrusion@t-online.de	www.leistriz-extrusion.de
	LINDE AG	Seitnerstrasse 70,	D-82049	HOLLRIEGELSKREUTH	0 8 97 44 60	89 74 46 12 30	alexander_buinger@linde-gas.de u.	www.linde.de/linde-gas
	MARIS SPA	Corso Moncenisio 22,	I-10090	ROSTA	390119567925	390119567987	Info@Mariscorp.com	www.mariscorp.com
	MEAF MACHINES BV	Industrieweg 10,	NL-4401 LB	YERSEKE	311 13 57 14 95	311 13 57 12 56	meaf@zeelandnet.nl	
	MEKUMA MECKLENBURGISCHE	Hauptstrasse 20,	D-19217	BULOW	03 88 72 66 00	38 87 26 60 66		
	MIR S.p.A.	Via Sondrio, 30	I-25125	BRESCIA	39 03 03 50 21	3903 03 54 17 62	info.mir@mirpresse.it	www.mirpresse.it
	NEGRI BOSSI S.p.A.	Viale Europa, 64	I-20093	COLOGNO MONZESE	39 02 27 34 81	39 02 25 38 26 4	nbinfo@negribossi.it	www.negribossi.com
	NESTAL Maschinen AG	Tschachenstrasse,	CH-8752	NAFELS	415 56 18 61 11	415 56 12 35 41	maeketing@netstal.com u.	www.netstal.com
	NEXTROM SA	Route du bois 37,	CH-1024	ECUBLENS-LAUSANNE	412 16 94 41 11	412 16 91 21 43		www.nestrom.com
	NISSEI EUROPE	Assesteenweg 117/2	B-1740	TERNAT	32 25 82 94 55	32 25 82 07 35		
	OLMAS SRL	Via per Albiate n° 37,	I-20048	CARATE BRIANZA /MI	03629326 /2	03 62 93 26 93	olmas@olmas.com u.	www.olmas.com
	OMIPA SPA	Via Maddalena 7,	I-21040	MORRAZONE /VA	3903 32 46 14 00	3903 32 26 80 88	omipa@omipa.it u.	www.omipa.it
	OTTO MANNER VERTRIEBS	Lungadige Attiraglio 67	I-37025	PARONA	390458394444	390458394445		www.isapomv.it
	PALETTI GmbH	Valdorfer Strasse 32	D-32545	BAD OEYNHAUSEN	4957 31 79 86 94	4957 31 98 03 81	allespaletti@gmx.de	www.plasticrecycling.de
	PLAMA PLASTIC MACHINERY GmbH	Bergische Strasse 15,	D-42781	HAAN	02 12 99 41 60	21 29 94 16 99	PlamaGmbH@aol.com u.	www.members.aol.com/PlamaGmbH
	PLAMEX MASCHINENBAU GmbH	Industriegebiet Diewergarten	D-53539	KERLBERG / EIFEL	02 69 29 20 30	26 92 92 03 50	plamex@t-online.de	
	PLAS MEC S.r.l.	Via Europa 79,	I-21015	LONATE POSSOLO /VA	3903 31 30 16 48	3903 31 30 17 49	comm@plasmec.it u.	
	PLASTADVISER APS	Gydevang 20 c	DK-3450	ALLEROD	45 48 14 23 04	45 48 14 23 05	sales@plastadviser.dk u.	www.plastadviser.dk
	POLYTYPE ITALIA SPA	Via Sempione nr. 16	I-28040	MARANO TICINO /NO	03 21 92 01 11	03 21 92 02 99		www.polytype.it
	PRT SRL	VIA AMALFI, 10	I-41034	FINALE EMILIA	0535 98202	0535 98355	prt@arcanet.it	www.arcanet.it/prt
	PULVEX MASCHINENBAU GmbH	Industriegebiet Diewergarten	D-53539	KELBERG	02 69 29 20 30	26 92 92 03 50		
	REIFENHAUSER GmbH	Spicher Strasse 46-48	D-53839	TROISDORF	0 22 41 48 10	22 41 40 87 78	info@reifenhauser.com u.	www.reifenhauser.com
	REMAPLAN ANLAGENBAU GmbH	Siemensstrasse 12	D-94405	LANDAU	499 95 19 87 20	4999 51 98 72 11	remaplan@t-online.de	www.remaplan.com
	SAIREM	12, porte du Grand Lion	F-01707	NEYRON / MIRIBEL	334 72 01 81 60	334 72 01 81 79	commercial@sairem.com	
	SANDRETTO	Le Chêne Rond	F-91570	BIEVRES	01 69 35 56 23	01 69 35 56 29	sandrettofrance@wanadoo.fr	
	SEIDE ENGINEERING A.	Industriepark Nord 10,	D-53567	BUCHHOLZ	492 68 39 78 80	4926 83 97 88 99	SeideEng@aol.com	
	SENCORP SYSTEMS	400 Kidds Hill Road, P.O. Box 60 01	US - MA 02601	HYANNIS	50 87 71 94 00	50 87 90 00 02	mmaillho@sencorpsystems.com	
	SOTEN SpA	Via San Martino 30, C.P. 142,	I-20017	RHO / MILAN	3902 93 50 70 71	3902 93 50 70 60	film@soten.it u.	www.soten.it
	SUMITOMO	Breguetlaan 10A	NL-1438	BD OUDE MEER	312 06 53 31 11	312 06 53 17 49		
	TECHNE SPA	Via Della Tecnica 53	I-40068	LAZZARO DI SAVENA	3905 16 22 75 11	3905 16 25 67 09	info@techne-it.com	www.techne-it.com
	TECNO COATING ENGINEERING SRL	Via Sempione 9,	I-28040	MARANO TICINO /NO	3903 21 92 31 50	3903 21 92 31 70	tce@intercom.com	
	TECNOVA	VIA VERBANO, 56A	I-28047	OLEGGIO	39 032 19 17 00	39 032 19 43 41		
	THEYSOHN MASCHINENBAU GmbH	J.F. Kennedy Strasse 48,	D-38228	SALZGITTER	53 41 55 11 10	53 41 55 11 77	Theysohn M@aol.com	
	TONGIL INDUSTRIES CO. LTD.	603-5 Daechun-Dong	Korea ROK 704 330	DALSU-KU, DAEGU	825 35 83 36 90	825 35 83 36 99		
	TREXEL INC.	45 Sixth Road	US- MA 01801	WOBURN	78 19 32 02 02	78 19 32 33 24	dan@trexel.com	
	UNION OFFICINE MECCANICHE SPA	1° Maggio 12/14, C.P. 54	I-20028 S.	VITTORE OLONA /MILAN	03 31 51 93 00	03 31 51 83 70		
	UTH GmbH	Nobelstrasse 5	D-36041	FULDA	0 66 19 74 10	06 61 97 41 30	info@uth-gmbh.com u.	www.uth-gmbh.com
	VOBAU-ARTUR BASTON GmbH	In den Mühlwiesen	D-66440	BLIESKASTEL	06 84 29 20 10	06 84 25 33 91		
	WAREMA	Unterfeldstrasse 3	A-4052	ANSFELDEN LINZ	430732305634		warema@warema.at	
	WEBER GmbH & Co. KG Jos.	Industriestrasse 14,	D-35683	DILLENBURG	0 27 71 39 40	27 71 39 42 19	weber.info@weber-dillenburg.de u.	www.weber-dillenburg.de
	WELDING ENGINEERS LTD.	Rue Saint Léger 4	CH-1205	GENEVA	412 23 28 16 06	412 23 28 31 04	1060041.672@compuserve.com	



2^{ème} PARTIE

I - METHODOLOGIE

Le recyclage mécanique des déchets plastiques de post consommation en Europe de l'Ouest aurait le potentiel d'augmenter de 1,2 millions de tonnes en 1995 à 2,7 millions de tonnes d'ici 2006. Une des principales contraintes pour atteindre ces taux de recyclage réside dans le manque de filières de recyclage organisées, économiquement viables et présentant une certaine pérennité.

Certains secteurs clés offrent de très bons compromis pour le recyclage grâce à la disponibilité de gisements relativement purs et faciles à collecter ; ils conduisent généralement à des débouchés à forte valeur ajoutée. Cependant, il existe, entre les différents pays européens, de grandes variations dans les taux de recyclage spécifiques à chaque secteur. L'analyse des raisons de ces variations pourrait conduire à une plus grande maîtrise des facteurs de réussite et d'échec qui jouent un rôle essentiel dans l'efficacité économique d'une filière de recyclage.

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.

Remarques concernant l'évaluation des critères décisifs :

- En ce qui concerne les critères économiques, les facteurs critiques de succès sont les quantités, le niveau de contamination, les marchés et les coûts de recyclage. Ces critères sont plus ou moins dépendant de la situation régionale. En ce qui concerne les autres critères, on peut dire que le nombre de détenteurs peut être lié aux quantités et les menaces de substitution aux marchés. Quant au prix des matières vierges, il est dépendant du marché mondial.

- En général, les directives sur les déchets vont dans le sens du développement du recyclage.
- En ce qui concerne les critères sociaux, les facteurs critiques de succès sont la coopération dans une filière et dans un secteur, l'engagement des détenteurs. Quand ces facteurs sont faibles, le recyclage ne sera pas envisageable. La pression sociale est plus générale et les antécédents à succès ont eu lieu uniquement dans les filières bien organisées.
- Les critères organisationnels sont liés aux critères économiques et sociaux. Par exemple, s'il existe une stimulation économique ainsi qu'une coopération entre différents acteurs alors l'infrastructure opérationnelle ne sera pas un facteur de blocage.
- *Quelques définitions :*

Quantités : masse de déchets collectables, non encore recyclés.

Niveau de contamination : degré de contamination des déchets de matières plastiques (% en poids).

Marchés : nouveaux produits obtenus à partir des matières plastiques recyclées.

Coûts du recyclage : addition des coûts de collecte, de séparation / lavage, de re-granulation.

Coopération de filière : coopération entre les détenteurs de déchets, les collecteurs, les recycleurs et les utilisateurs finaux.

Coopération de secteur : coopération entre les fabricants de plastiques, entre les recycleurs et entre ces deux sous secteurs.

Participation des détenteurs : engagement des détenteurs de déchets plastiques dans un système de collecte et de valorisation.

II - ETUDE DE CAS

A - LES EMBALLAGES MENAGERS

A-1 L'Europe et les emballages ménagers

L'Union Européenne a mis au point une Directive sur les emballages et déchets d'emballage (94/62/EC) entrée en vigueur en 1996. Le texte a pour but d'harmoniser les mesures nationales concernant la gestion des emballages et des déchets d'emballages afin d'assurer une haute protection de l'environnement et de garantir le fonctionnement du marché intérieur. La Directive couvre tous les emballages mis en circulation sur le marché communautaire et tous les déchets d'emballage. Un emballage ne sera mis en circulation sur le marché que s'il est conforme aux recommandations définies par la Directive 94/62.

Les États membres doivent mettre en place des mesures de prévention de la formation des déchets d'emballages (par des programmes nationaux essentiellement) et sont encouragés à développer les systèmes de réutilisation des emballages.

Les États membres doivent instaurer des systèmes de reprise, de collecte et de valorisation des déchets d'emballages afin d'atteindre les objectifs suivants :

- Valorisation: entre 50 % et 65 %;
- Recyclage: entre 25 % et 45 %,

avec un minimum de 15 % pour chaque matériel d'emballage.

Les Etats membres ont donc dû prendre les mesures nécessaires à l'établissement de systèmes spécifiques de consigne, de collecte et de récupération. Ils peuvent mettre en place des programmes allant au-delà de ces objectifs à condition que leurs politiques n'entravent pas la création d'une politique similaire dans d'autres Etats membres.

La Directive expose un nombre important de domaines de standardisation relatifs aux exigences essentielles en matière de composition des emballages qui peuvent être réutilisés, récupérés et recyclés.

Afin d'atteindre ses objectifs, la directive invite toutes les parties impliquées (consommateurs, industries et autorités) à coopérer dans un esprit de responsabilités partagées. A cette fin, les Etats membres s'assureront que les utilisateurs d'emballages disposent de l'information nécessaire.

Transposition dans la législation nationale - Application en droit français :

Les décrets 92-577 (du 01/01/1992), 94-609 (du 13/07/1994) et 96-1008 (du 18/11/1996), imposent au producteur ou importateur de prévoir : soit l'élimination des déchets d'emballages en organisant un système de collecte, soit de passer un contrat avec un organisme agréé par l'Etat qui se chargera de la récupération de ces déchets.

Du fait de la dispersion élevée des déchets d'emballage le recours à un organisme agréé s'avère la solution la plus utilisée. En contrepartie d'une redevance, chaque producteur pourra apposer sur ses emballages un signe distinctif (point vert : voir chapitre suivant) permettant d'intégrer ceux-ci dans la collecte des déchets d'emballage.

Trois organismes ont été agréés par l'Etat : ADELPHE (emballages en verre), CYCLAMED (médicaments périmés et emballages), SA ECO EMBALLAGES (autres emballages).

La directive 94/62 prévoit une révision de ses objectifs. Le 7 décembre 2001, la Commission a donc présenté une proposition de directive portant modification de la directive 94/62 (COM(2001)729 final).

Cette proposition fixe de nouveaux taux de valorisation et de recyclage plus ambitieux à atteindre pour le 30 juin 2006 :

- Valorisation : entre 60 % et 75 %;
- Recyclage : entre 55 % et 70 %,

Des objectifs spécifiques de recyclage par matière ont également été fixés :

- 60% pour le verre,
- 55% pour le papier et le carton,
- 50% pour les métaux et
- 20% pour les plastiques (recyclage mécanique et chimique uniquement).

Un délai supplémentaire a été accordé à la Grèce, l'Irlande et le Portugal (30 juin 2009). La proposition signale la nécessité de donner de nouvelles définitions du recyclage "matière première" et du recyclage chimique. Elle inclut une interprétation de la définition d'emballage. La proposition est actuellement examinée pour avis en première lecture par le Parlement (procédure de codécision).

Plusieurs rapports du Centre Européen de Normalisation complètent la série de normes (cf décision 2001/524) publiées en 2001.

➤ **Le Système du « Point Vert »**

Comme nous l'avons décrit ci-dessus, le système du Point Vert est un dispositif selon lequel l'emballer doit verser une redevance Point Vert à une société nationale de valorisation des emballages. Afin d'empêcher la création de barrières commerciales lors de l'application de la Directive européenne sur les emballages, l'Organisation pour la Valorisation des Emballages Europe (PRO Europe) a été fondée pour gérer l'attribution du label « Der Grüne Punkt » et pour l'établir comme marque au niveau européen. La marque Point Vert est un label de nature financière uniquement et ne constitue pas, à ce titre, un label de recyclage ou environnemental.

Avec les sommes collectées dans le cadre du système Point Vert, les programmes nationaux de collecte et de valorisation des déchets d'emballages (y compris le verre, le papier/carton, les métaux, les plastiques etc.) sont financés par ARA AG en Autriche, par Fost Plus en Belgique, par Eco-Emballages S.A. en France, par Duales System Deutschland AG en Allemagne, par Valorlux asbl au Luxembourg, par Ecoembalajes Espana S.A. en Espagne et par Sociedade Ponto Verde S.A. au Portugal. Repak Ltd en Irlande a rejoint l'organisme PRO Europe en janvier 2000. En Norvège, Materialretur a pris la décision d'adopter le Point Vert au deuxième semestre 1999.

Chaque société qui souhaite transférer ses obligations selon le décret sur les emballages vers une société Point Vert nationale devient titulaire d'une licence de la « Société Point Vert ». La

société en question, qui peut travailler dans la fabrication d'emballages, le remplissage, l'importation ou le commerce de détail, verse des redevances en fonction de la quantité et du type d'emballages commercialisés. Le montant de la redevance dépend de l'efficacité et de l'étendue globale des systèmes de collecte, du pourcentage de la population couverte et du pourcentage de licences "Point Vert" dans le pays en question. Ces redevances servent à financer les services de gestion des déchets.

S'affilier au système Point Vert national revient à exempter la société de ses obligations dans le cadre de la législation, obligations qui sont complexes et étendues. Comme preuve de sa participation, le titulaire bénéficie du droit d'apposer le point vert sur ses emballages. Afin de garantir l'efficacité du système Point Vert, le Décret sur l'emballage dans chaque pays établit des quotas/objectifs de recyclage et de valorisation. Selon le décret en vigueur en Autriche, par exemple, 20% des matériaux d'emballage en plastique commercialisés en Autriche entre les années 1996-1998 doivent être livrés à une usine de recyclage.

➤ **Garants du recyclage des matières plastiques**

Dans le cadre du système Point Vert, on attache une très grande importance à ce qu'on appelle les garants de l'interface tri/recyclage. On les appelle ainsi parce qu'ils se sont engagés par contrat à accepter et à recycler les matériaux qui leur sont livrés. Pour chaque groupe de matériaux (plastiques, verre, métaux etc.) il existe un garant responsable du recyclage.

Les garants dans le domaine du recyclage des matières plastiques se sont rendu compte qu'ils avaient besoin d'échanger des informations au sujet de la collecte et du recyclage et, éventuellement, de collaborer ensemble afin de mieux répondre aux dispositions de la Directive européenne. A cette fin, EPRO, l'Association Européenne des Organismes de Recyclage et de Valorisation des Matières Plastiques a été fondée. Cette plate-forme organise des réunions dans le cadre desquelles les membres ont la possibilité de discuter des sujets qui les intéressent. Les organismes nationaux membres de l'EPRO sont :

- ÖKK (Autriche)
- Plarebel (Belgique)
- DKR (Allemagne)
- Suomen Uusiomuovi (Finlande)
- Valorplast (France)
- CO.RE.PLA (Italie)
- Plastretur (Norvège)
- Plastval (Portugal)
- Cicloplast (Espagne)
- Plastkretsen (Suède)

Parmi ces organismes, seuls ceux d'Italie, de Finlande et de Suède ne sont pas affiliés au système Point Vert. Il n'en reste pas moins que pour ces organisations nationales, l'échange d'informations constitue un élément très important.

Tous les systèmes nationaux organisent la collecte des déchets d'emballage générés par les ménages et assimilés. Dans la plupart des pays, on a développé également la collecte des déchets commerciaux et industriels. En Norvège et en Suède (comme aux Pays-Bas et en Irlande, pays qui ne sont pas membres de l'EPRO) les déchets plastiques agricoles sont également ramassés. Tous les types courants de déchets plastiques sont collectés, sauf dans le

système allemand qui organise la collecte en fonction de la forme du produit, et dans le système français qui ne prévoit que la collecte des bouteilles (PET, PVC et HDPE).

➤ **Système contractuel (Responsabilité du producteur)**

Aux Pays-Bas et en Norvège, il existe une convention entre le Ministère de l'Environnement, d'un côté, et le commerce et l'industrie de l'autre. En règle générale, la stratégie du gouvernement néerlandais (comme de son homologue norvégien) consiste à négocier avec les industriels afin d'établir la responsabilité du producteur à travers des conventions volontaires plutôt qu'à travers l'imposition de règlements. Les conventions entre le gouvernement et les associations d'industriels sont destinées à appliquer ce qu'on appelle la Responsabilité Etendue du Producteur (REP) dans certains secteurs industriels et principalement dans des domaines où la législation existe déjà et où le gouvernement est en mesure de contrôler les activités à travers l'attribution de licences. De cette façon, les conventions servent d'outil de gestion en fournissant un programme spécifique de mise en œuvre pour l'attribution des rôles, des financements et des objectifs dans un cadre juridique plus général.

La situation aux Pays-Bas sera décrite ici à titre d'exemple. Toutes les sociétés dans le secteur de l'emballage et des produits d'emballage sont soumises aux règlements néerlandais sur les emballages et les déchets d'emballages, la Convention Emballage II. Ce règlement a introduit la notion de la responsabilité du producteur dans un cadre statutaire (jusque là, le système était volontaire), créant l'obligation pour tous ceux qui commercialisent un produit pour la première fois de valoriser 65% des déchets d'emballage (recyclage des matériaux + incinération avec valorisation énergétique) dont au moins 45% par recyclage des matériaux. En ce qui concerne les déchets plastiques aux Pays-Bas, le pourcentage de recyclage à atteindre en 2001 est de 27%, l'objectif global pour l'ensemble des matériaux étant de 65% (l'objectif est de 90% pour le verre, par exemple).

Un élément essentiel du règlement est le fait que toutes les obligations individuelles ne s'appliquent plus aux entreprises (producteurs comme importateurs) qui adhèrent à une telle convention : ces sociétés contribueront à l'obtention des objectifs fixés mais ne seront pas tenues pour individuellement responsables de la réalisation des objectifs, de la notification des mesures entreprises, de la rédaction des rapports et du suivi des résultats. La convention assure la réalisation des objectifs pour tous les matériaux. Ceci constitue une incitation forte, car les obligations imposées par le règlement sont compliquées et leur application s'avère coûteuse pour les entreprises.

Aux Pays-Bas, on prête une très grande attention à la collecte des emballages industriels et commerciaux, car ce sont les emballages les plus pratiques et les moins chers à collecter et à recycler :

- Jusqu'à 50% des emballages plastiques usagés des Pays-Bas proviennent de ces secteurs
- Les déchets plastiques de ce genre sont (ou peuvent être) moins contaminés et plus faciles à collecter de façon séparée.

Pour les films et le PSE, l'industrie même est responsable de la collecte et du recyclage. L'industrie néerlandaise a établi des organismes qui gèrent la collecte et le traitement des

produits d'emballage en fin de vie pour son compte. Ces organismes représentatifs sont financés par les entreprises impliquées et dépendent d'une fondation – « Vereniging Milieubeheer Kunststoffverpakkingen » (VMK), la partie signataire de la convention d'intégration au nom de l'industrie des plastiques. VMK est l'organisme qui gère les affaires environnementales pour l'industrie néerlandaise des matières plastiques.

Le seul flux de déchets d'origine ménagère couvert par cette convention, celui des bouteilles PET, est collecté à un taux de plus de 95% à travers un système d'apport.

L'application de la convention se développe lentement et on ne constate pas, pour l'instant, une nette augmentation du recyclage des emballages plastiques.

➤ **Autres systèmes**

Un exemple d'un autre type de système est le programme de conformité Valpak au Royaume Uni. Valpak a été le premier organisme du Royaume Uni à effectuer de la valorisation multimatériaux et multiproduit. Le business plan de Valpak précisait que ses principales activités seraient l'établissement de contrats avec des sociétés de traitement accréditées et d'autres détenteurs de déchets afin de financer le recyclage ou la valorisation des déchets d'emballages contre une preuve documentaire de conformité par rapport à l'obligation de l'ensemble de ses membres. Les revenus des contrats Valpak devaient servir aux collectivités locales, aux sociétés de gestion des déchets, aux sociétés de traitement et aux projets communs pour justifier des investissements supplémentaires dans les capacités de collecte, de tri et de traitement. En effet, Valpak a établi des partenariats avec deux sociétés importantes de gestion des déchets. Ceci fournit un accès direct à la collecte des déchets ménagers et commerciaux/industriels, aux centres de stockage des déchets et aux installations de valorisation énergétique.

Un principe fondamental du règlement est le fait que les entreprises qui recyclent les emballages qui deviennent déchets dans leurs locaux, peuvent utiliser des PRN (Bordereau de Valorisation des Emballages) ou d'autres justificatifs pour remplir une partie de leurs obligations. Valpak acquiert ainsi des PRN et d'autres preuves des activités de recyclage de ses membres sur des bases « coût neutre ».

➤ **Méthodes de Collecte**

Dans tous les systèmes nationaux, on a recours à une ou plusieurs des méthodes suivantes pour ramasser les déchets d'emballages des ménages, des industriels ou des bureaux etc.

- Collecte en porte à porte, dans des sacs ou des conteneurs multimatériaux ramassés selon une fréquence hebdomadaire ou autre ; lieux où le public peut apporter des mélanges multiproduits (dans des sacs ou non).
- Lieux d'apport où le public peut jeter les bouteilles dans des conteneurs situés dans des lieux accessibles. Inconvénient de l'éventuel niveau élevé de contamination (10 à 30%).

- Centres de rachat dans lesquels on rachète les déchets d'emballages aux consommateurs.
- Vente avec retour des emballages (bouteilles, caisses) par les consommateurs contre des bons ou des jetons.
- Systèmes de recharges et de consigne, selon lesquels les emballages (bouteilles, caisses) sont vendus avec une consigne remboursable lors du retour de la bouteille dans un lieu de vente affilié.

La fraction légère des déchets est essentiellement ramassée selon deux modèles : collecte en porte à porte et système d'apport volontaire. Dans le cas de la collecte en porte à porte, les emballages légers sont ramassés auprès des foyers individuels dans des sacs ou des bacs jaunes (ou parfois bleu clair). Dans le système d'apport volontaire, les consommateurs apportent les emballages collectés à des centres de recyclage ou à des conteneurs installés à proximité. Valorlux au Luxembourg, par exemple, ramasse les matières plastiques uniquement en porte à porte, tout en notant que les parcs de conteneurs peuvent constituer un système de collecte complémentaire important. ARA en Autriche et DSD en Allemagne, par exemple, ont déjà recours aux conteneurs associés à la collecte en porte à porte. Un réseau dense de quelques 860.000 conteneurs a été installé, alors que dans le système porte à porte les consommateurs utilisent des sacs ou des bacs jaunes.

Les systèmes de consigne sont employés principalement pour la collecte des bouteilles PET. Ces consignes peuvent être payables sur les bouteilles rechargeables ou à emploi unique.

A-2 Analyse des systèmes de recyclage des bouteilles et flacons en PET

A-2-1 Introduction

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 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.

En Europe, la plus grande quantité de PET pour ce type de bouteilles est consommée dans des pays tels que l'Italie, le Royaume Uni, la France et l'Espagne où les bouteilles en PET sont essentiellement à usage unique. Ceci contraste avec d'autres pays tels que la Hollande, la Scandinavie, l'Allemagne, la Suisse où les bouteilles en PET sont utilisées majoritairement au travers de systèmes navettes.

PETCORE (Recyclage des conteneurs en PET en Europe) est une association à but non lucratif fondée en 1994 et subventionnée par les producteurs de résine de PET et les fabricants de bouteilles afin de promouvoir le recyclage des emballages en PET en Europe. PETCORE assiste les autorités ou les communautés mettant en œuvre des programmes de recyclage incluant les bouteilles en PET ; également tous ceux qui sont désireux d'intégrer le recyclage des bouteilles en PET dans des programmes de recyclage existants. De surcroît PETCORE peut fournir aux communautés des informations relatives à la collecte, aux traitements et à la réutilisation de PET recyclé.

Les systèmes de collecte des bouteilles en PET – en partie initiée par la Directive Européenne – commencent à provoquer des retours importants. En 2001, 344 000 tonnes de PET ont été collectées à des fins de recyclage en Europe, ce qui représente 20% de plus qu'en 2000. D'ici 2006, la progression dans la collecte devrait permettre d'atteindre 700 000 tonnes en Europe.

A-2-2 Description du système de recyclage

Différents systèmes de collecte des bouteilles en PET existent en Europe.

La collecte en **porte à porte** impose aux consommateurs de trier les déchets recyclables du reste des ordures ménagères en les plaçant dans des sacs plastiques spécifiques à un matériau. Ces sacs sont ensuite collectés devant chaque domicile. 40 à 60% des emballages recyclables sont collectés par cette méthode. Elle présente l'avantage d'atteindre des taux de contamination très faibles. De plus, une large variété de produits recyclables sont collectés de cette façon ce qui permet de diminuer significativement les coûts. La Belgique et l'Allemagne adhèrent à ce type de collecte. En France, la collecte en porte à porte est très répandue. Elle ne fait toutefois pas appel à des sacs plastiques mais à des containers individuels. A la différence des sacs spécifiques pour un type de matériau (PET ou PEHD ou cartons...), les containers individuels sont destinés à la collecte mixte des déchets d'emballages recyclables. Le tri par matériaux est réalisé en centre de tri.

En ce qui concerne les **points d'apports volontaires**, ils nécessitent que les consommateurs collectent leur déchets recyclables pour les transporter jusqu'à des points de collectes spécifiques. Cette méthode représente 10 à 15% des déchets recyclables collectés. Aujourd'hui, environ 40% de la population Italienne ont accès à quelques 24 500 containers spécifiques aux bouteilles en PET. Les points de collectes des bouteilles en PET sont bien installés dans des pays comme la Suisse (12 000 points de collecte), la France (5 000 sites de collecte) et la Grande-Bretagne (1500 sites). Ce type de collecte conduit à des taux de contaminations relativement élevés (10 à 30%).

Un autre système de collecte repose sur la présence de **machines automatiques**, en place le plus souvent chez les distributeurs. Les bouteilles usagées sont introduites dans l'appareil qui délivre en échange un ticket ou un jeton. On parle de déconsignation automatique. On estime que 15 à 20% des emballages recyclables sont collectés par cette voie.

Enfin, le **système navette** (réutilisation + consigne) concerne les bouteilles vendues avec une consigne. La consigne est remboursée lorsque l'on rapporte ses bouteilles chez le distributeur. Le système navette peut concerner des bouteilles qui seront à nouveau remplies comme des bouteilles à usage unique. Cette approche est commune dans des pays comme la Scandinavie, la Hollande, l'Allemagne, la Suisse et l'Autriche. Les systèmes de consignes appliqués aux bouteilles en PET induit un taux de retour très élevé (90%). Le taux de contamination est très faible avec ce système de collecte.

Les bouteilles non consignées collectées en Autriche, en Allemagne, et en Italie sont triées par groupe de matériaux (PET, PEHD, et/ou PVC) puis par couleurs (pour le PET).

En France, VALORPLAST, filière plastique d'ECO-EMBALLAGES, reprend auprès des collectivités locales les emballages plastiques ménagers collectés et triés pour en assurer leur recyclage. En 2000, 37 millions d'habitants triaient leurs emballages en France, ce qui représente 999 collectivités locales sous contrats de reprise avec Valorplast via Eco-Emballages ou Adelphe. Le tri par matériau (PEHD, PET, PVC) est remplacé par un tri en trois flux (PEHD, PET clair, PET coloré + PVC) adapté aux évolutions du gisement des flacons et correspondant mieux aux besoins du marché des balles à régénérer. Les consignes de tri pour les flacons en PEHD ont été étendues (pas de limite de taille, acceptation de tous les produits d'entretien ménagers, etc.), ce qui explique la croissance forte de la reprise du PEHD.

	1999 (t)	2000 (t)	VARIATION 2000/1999
PVC	4 195	1 968	-53 %
PET	39 771	60 266	+52 %
PEHD	8 606	14 835	+78 %
TOTAL Corps creux	52 572	77 069	+47 %
TOTAL Films et sacs	1 192	1 583	+33 %
TOTAL GENERAL	53 764	78 652	+46 %

Collecte et tri des emballages en matière plastique en France.

Au Royaume Uni, les bouteilles collectées par le biais d'un système de consigne peuvent être triées manuellement dans un centre de tri ou mécaniquement par des machines de

déconsignation sophistiquées, au point de vente au détail. Les bouteilles collectées dans les systèmes d'apports volontaires ou en porte à porte peuvent être transportées vers un centre de tri local. Dans le cas du tri manuel, celui-ci se réalise sur une chaîne de tri par identification visuelle des caractéristiques des bouteilles en PET. Plus récemment, des systèmes de tri automatiques basés sur des faisceaux de rayons X ou de rayonnements infrarouges reliés à un processeur central et à un système d'éjection, sont utilisés pour accélérer le tri et réduire les coûts. Les systèmes de tri automatique traitant plus d'une tonne par heure fonctionnent en France, en Autriche, en Allemagne et en Italie. Il faut toutefois préciser que ces systèmes de tri automatiques interviennent très en aval dans un centre de tri des déchets ménagés recyclables et qu'ils sont appliqués à des flux de bouteilles pré-triées.

Après le tri, les bouteilles calibrées sont compactées en balles (réduction de volume d'un facteur 10) pour le transport vers les régénérateurs.

Le recyclage des bouteilles en PET est relativement simple et comporte un nombre limité d'étapes (sur-tri, déchiquetage, lavage et séparation des matériaux étrangers). Actuellement les bouteilles en PET collectées sont, en grande majorité, lavées puis réduites en flakes. Ces flakes ou paillettes de 8 à 13 mm sont utilisées directement ou en mélanges avec des polymères vierges. Les techniques de mises en œuvre de ces flakes sont sensiblement identiques aux techniques de mise en œuvre des matières plastiques vierges.

Pour le recyclage du PET le développement des systèmes de sur-tri automatiques du PET et du PVC a constitué un bond technologique, résolvant un important problème de qualité.

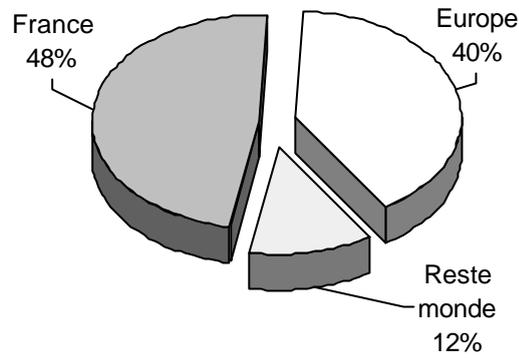
Les nouvelles bouteilles conçues en fonction des règles de recyclage indiquées par PETCORE donneront potentiellement, la meilleure qualité de PET recyclé.

Plus récemment d'autres procédés de recyclage ont été développés, utilisant une combinaison d'extrusion et de polycondensation à l'état solide (SSP) pour aboutir à un granulé d'une grande pureté ainsi qu'à un indice IV (viscosité intrinsèque) maîtrisé. Cette combinaison d'opération conduit à un PET recyclé pouvant être utilisé directement dans la production de nouveaux emballages (convenant aux produits alimentaires).

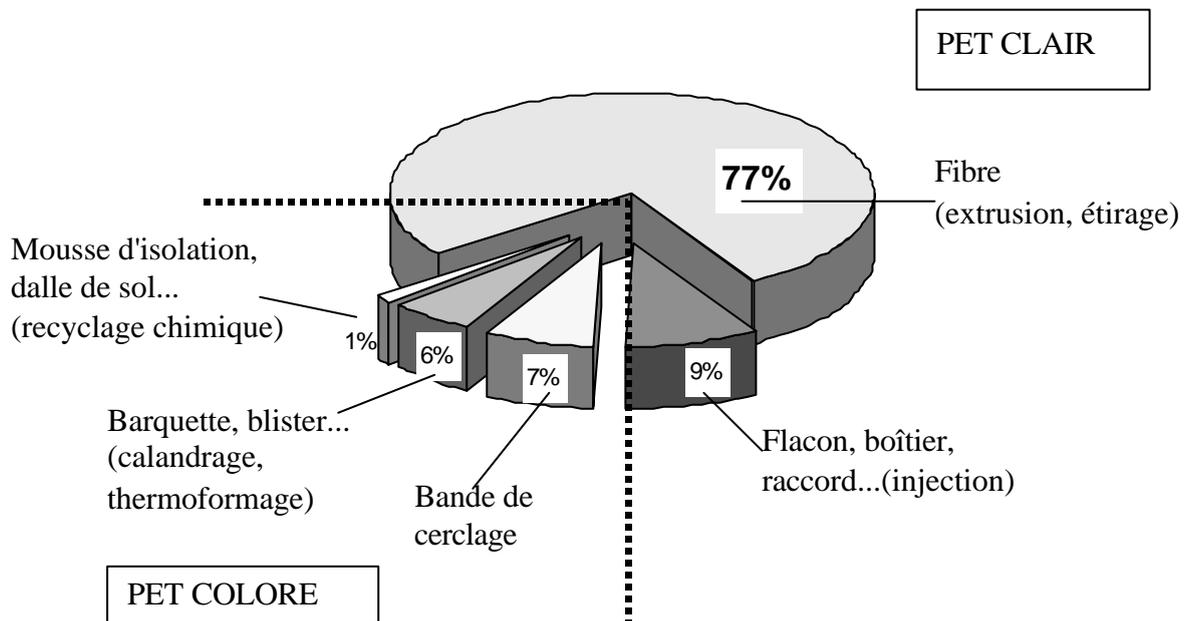
Au cours des deux dernières décennies une grande expérience a été acquise en matière de recyclage, accroissant les possibilités technologiques et aboutissant à un nombre sans cesse croissant de débouchés pour le PET recyclé, en fonction des prix du marché.

Pour permettre une croissance future des ventes de PET recyclé, il est essentiel de développer de nouveaux débouchés. L'industrie des fibres représente toujours l'un des marchés les plus importants pour le PET recyclé. De surcroît, la disponibilité de PET recyclé pouvant convenir à l'emballage de produits alimentaires rendra possible l'accroissement de l'utilisation de ce matériau pour la fabrication de nouvelles bouteilles destinées à des boissons non alcoolisées. Cela dépend bien sûr des prix du marché. D'autres marchés sont concernés par le PET recyclé comme le strapping, la feuille et le film pour l'emballage non alimentaire. Par ailleurs les possibilités de débouchés dans les industries automobiles, et de transports, sont à l'étude.

Pour la France, les débouchés de produits recyclés se sont répartis à 90% en France et en Europe.



Destination des balles de bouteilles en 2000.



Applications du PET recyclé en France, en 2000.

Un nouvel intérêt pour le recyclage chimique du PET est à l'origine du développement de nouveaux procédés (par exemple le procédé Eastman). Ces procédés sont susceptibles d'influencer le recyclage mécanique du PET. Cependant, ces technologies sont toujours plus onéreuses que le recyclage mécanique. Elles sont considérées comme présentant potentiellement de meilleures solutions pour le recyclage des gisements de bouteilles en PET plus « difficiles » tel que les bouteilles qui comportent des couches de plastiques différents (multicouches) ou des bouteilles colorées. Par rapport au recyclage mécanique le recyclage chimique du PET n'est actuellement appliqué qu'à une échelle limitée.

A-2-3 Aspects économiques

D'un point de vue économique le recyclage des bouteilles en PET était attrayant à cause des faibles coûts de transport et de la valeur résiduelle des déchets de PET, spécialement lorsque les prix du matériau vierge étaient élevés. Néanmoins la rentabilité du recyclage du PET est inextricablement liée au prix du PET vierge livré sur le marché des utilisateurs finaux. Partant des bas prix pratiqués en 1998 il convient de noter que malgré un accroissement de 25% des quantités recyclées et un léger accroissement des prix en 1999, la rentabilité du recyclage du PET n'est toujours pas suffisante pour garantir une position financière solide.

Les coûts de collecte et de tri des déchets des ménages varient de 350 à 800 €/par tonne selon le pays ou le système de collecte retenu.

Selon PETCORE les coûts moyens sont :

- Collecte : 350 €/par tonne
- Tri : 150 €/par tonne
- Traitement : 225 €/par tonne (pour la production de flakes)

Ce qui représente un total de 725 €/par tonne. PETCORE envisage un coût total de 550 €/par tonne en réduisant les coûts de collecte à 175 €/par tonne. Avec le niveau actuel des prix peu élevés du PET vierge, le recyclage des bouteilles en PET est économiquement moins attrayant qu'il y a quelques années. On peut estimer qu'un prix de 900 €/par tonne pour le PET vierge donnerait au PET recyclé une sérieuse chance.

Le prix du PET vierge a baissé en 1998 et en début de 1999 pour diverses raisons, telles que la diminution des prix du marché des matières premières, l'excédent de capacité de production du PET en Europe et un afflux important de matériaux à bas prix en provenance d'Asie. Tous ces facteurs ont changé en 1999 à la suite d'une augmentation des prix du PET vierge. Il convient également de noter que l'exportation de bouteilles en PET vers l'Asie continuera à influencer fortement le marché européen de PET vierge et de PET recyclé.

A-2-4 Aspects légaux et gouvernementaux

Les états membres ont mis en place ou développent actuellement des mesures nationales conformément aux objectifs de la directive européenne relative aux emballages ainsi que d'autres objectifs locaux qui s'y rattachent.

Les instruments économiques sont de plus en plus employés pour encourager la minimisation des déchets et la récupération des emballages. Parmi les exemples d'instruments économiques, on retiendra les taxes sur les usagers et les Eco-taxes. Dans le cas des taxes sur les usagers, on peut citer en exemple le cas des municipalités qui obligent les ménages à

acheter des sacs poubelles spéciaux pour la collecte des déchets recyclables ou pas (exemple de la Belgique).

A-2-5 Aspects sociaux

Les différents pays européens traitent la question des bouteilles en PET d'une manière plutôt différente.

En Hollande les consommateurs avaient déjà l'habitude des systèmes de consigne pour les bouteilles en verre contenant des boissons non alcoolisées, du lait, des yogourts ainsi que des produits laitiers. L'introduction des bouteilles en PET n'a pas modifié cette habitude. Dans d'autres pays les consommateurs sont disposés à déposer les bouteilles dans des conteneurs de bouteilles ou dans des centres de collecte. Cette situation diffère sensiblement d'un pays à l'autre.

L'industrie des boissons non alcoolisées encourage la collecte et le recyclage des bouteilles en PET dans la mesure où elle est consciente de l'image « verte » qui y est rattachée. Il convient d'autre part de noter que – probablement en raison d'un léger désavantage économique - les producteurs ne respectent pas toujours les règles édictées par PETCORE pour la fabrication d'emballages recyclables, ce qui ne facilite pas toujours la tâche des recycleurs pour fournir des PET recyclés de bonne qualité. Les consommateurs peuvent être encouragés à collecter les bouteilles dans la mesure où ils connaissent les débouchés des matières recyclées. La diffusion de ce type d'information constitue l'une des autres tâches de PETCORE.

La coopération entre les collecteurs, les recycleurs et l'industrie de retraitement s'exerce correctement. PETCORE stimule efficacement cette coopération en chaîne. Une bonne communication entre les parties de la chaîne engendre des flux d'une meilleure qualité pour le recyclage mécanique. Ainsi, la communication entre les centres de tri et les recycleurs contribue à améliorer la qualité des flakes. Une meilleure qualité des flakes induit l'obtention de produits recyclés présentant une valeur plus élevée (par exemple bouteilles neuves contenant du PET recyclé). Dans certains pays les consommateurs ne sont pas conscients des bénéfices du recyclage du PET et ne coopèrent pas à la collecte séparée des bouteilles en PET. De ce fait les bouteilles en PET disparaissent dans la fraction résiduelle des ordures ménagères. Dans d'autres pays, la communication sur ces thèmes est excellente et il en résulte des taux élevés de collecte. Les systèmes de consigne aboutissent également à une collecte efficace et en général à l'obtention de déchets de qualité élevée.

A-2-6 Aspects organisationnels

En dépit des prix réduits des PET vierges, le volume de la production de PET recyclé a fortement augmenté au cours des dernières années. La raison en est que, sous l'impulsion de la législation européenne sur les emballages, la collecte de bouteilles en PET est fortement stimulée par les nouvelles organisations de collecte dans un grand nombre de pays. De nouvelles usines de recyclage ont été construites. PETCORE joue un rôle important pour la mise en œuvre de nouveaux systèmes de collecte et de recyclage.

A-2-7 Facteurs de matrices progrès/blocage et critères décisifs.

Une analyse croisée des différents aspects (économique, juridique, social et organisationnel) de la collecte et du recyclage des bouteilles en PET nous permet d'élaborer une liste des facteurs de progrès et de blocage en jeu (voir le tableau I).

Sur la base des informations contenues dans les paragraphes précédents et du résumé des facteurs de progrès / de blocage, les critères décisifs pour la mise en œuvre d'un système de recyclage pour les bouteilles en PET ont été identifiés et pondérés selon la procédure décrite dans la partie "méthodologie" de ce rapport (voir ANNEXE III).

A-2-8 Considérations relatives au profil environnemental

Le recyclage de PET présentant un niveau modéré de contamination aboutit à un PET recyclé de bonne qualité avec un IV élevé et une excellente transparence (dans le cas où les flakes seraient par la suite extrudés en combinaison avec un traitement SSP). Ce PET recyclé peut remplacer à la fois le PET vierge dans des applications spécifiques ou être ajouté à du PET vierge avec des concentrations de 10 à 40% dans d'autres applications. Cet aspect de substitution du PET vierge contribue fortement à un profil environnemental positif du système de recyclage des bouteilles en PET. Autrement le PET recyclé peut être utilisé pour des applications en fibres. Concevoir de nouvelles bouteilles en pensant à leur recyclage peut, même si ce concept est encore loin d'être dans toutes les mentalités, contribuer à la réduction de la part des déchets résiduels, ce qui représente un aspect positif supplémentaire. La collecte et les transports semblent bien organisés. Le taux de contamination dépend fortement du système de collecte choisi et du niveau de communication entre les partenaires de la chaîne.

A-2-9 Conclusions

En Europe, la majorité des pays vise la collecte des bouteilles en plastique incluant ou se concentrant sur les bouteilles en PET. Ceci implique que des grandes quantités de bouteilles en PET soient disponibles pour le recyclage. Une bonne coopération tout au long de la chaîne, la bonne organisation de la collecte et l'infrastructure de transport, l'existence d'une capacité suffisante de recyclage, la haute qualité du PET recyclé, des débouchés disponibles, ainsi qu'un profil environnemental positif : l'ensemble de ces aspects a fait du recyclage des ces bouteilles en PET l'un des exemples les plus réussis du recyclage des ordures ménagères, jusqu'à aujourd'hui.

La rentabilité du recyclage du PET est inextricablement liée au prix du PET vierge. Ce dernier étant actuellement beaucoup plus bas qu'il y a quelques années, il est permis de conclure qu'il existe un déficit de chaîne. Toutefois, lorsque les coûts de collecte (ou une partie de ceux-ci) sont pris en charge et que simultanément les prix des matières vierges sont proches de 900€ par tonne, alors la rentabilité du recyclage du PET devient suffisante pour garantir une position financière plus solide à la filière de recyclage du PET.

Tableau I : Facteurs de progrès / de blocage dans le recyclage des bouteilles et flacons en PET.

Thèmes	Facteurs de progrès	Facteurs de blocage
Economique	<ul style="list-style-type: none"> • Subventions pour contribuer au financement de la filière • Collecte organisée par les municipalités • Le recyclage est « tiré par le marché. » • Forte croissance des applications en PET induisant une augmentation du flux de déchets en PET • Offre importante de balles PET 	<ul style="list-style-type: none"> • Les exportations vers les pays à bas salaires déterminent le prix des matériaux recyclés • Coûts d'élimination des résidus du processus de recyclage • Prix peu élevés et fluctuations au niveau des polymères vierges. • Coûts du recyclage relativement élevés • Coûts élevés du traitement des déchets provenant du recyclage.
Légal, gouvernemental	<ul style="list-style-type: none"> • Normes d'application des matériaux recyclés et définitions des déchets (pour assurer une qualité régulière et pour améliorer l'image des matériaux recyclés). • Directive nationale et UE sur le recyclage des déchets d'emballages 	<ul style="list-style-type: none"> • Interdiction de l'emploi des matières recyclées dans certains produits (les emballages alimentaires, par exemple). • Restrictions sur le transport transfrontalier • Politique orientée "nationale" plutôt qu'à "internationale" • Recyclage dans l'alimentaire difficile d'accès
Social	<ul style="list-style-type: none"> • Transfert du savoir entre pays ayant acquis une expérience et nouveaux venus • Existence de stratégies à long terme • Communication au grand public • Journées portes ouvertes dans les centres de tri • Opinion publique positive sur la collecte et le recyclage 	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de contact direct entre les centres de tri et les régénérateurs/recycleurs. • Résistances des consommateurs vis -à-vis des produits contenant des matériaux recyclés.
Organisationnel	<ul style="list-style-type: none"> • Systèmes de collecte par municipalités • Disponibilité d'une capacité de recyclage suffisante • Existence d'infrastructure opérationnelle • Pas d'émissions dues aux procédés de recyclage (station d'épuration couplée au process) 	<ul style="list-style-type: none"> • Les municipalités s'intéressent à leur propos au détriment du reste de la chaîne • Autres méthodes de traitement accessibles (valorisation énergétique) • Absence de contrôle officiel en sortie de centre de tri. • Certains fabricants de bouteilles ne tiennent pas compte de l'éco-conception.

B - LES EMBALLAGES INDUSTRIELS ET COMMERCIAUX

B-1 Analyse des systèmes de recyclage des films industriels et commerciaux

B-1-1 Introduction

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.

Grâce aux caractéristiques des déchets de film et à l'intérêt économique de leur recyclage, un certain nombre de systèmes de collecte ont été mis en place. Aux Pays Bas, trois entreprises de tri se sont réunies pour créer la société Stitching Knapzak, qui met à disposition des utilisateurs des sacs ou conteneurs de collecte spécifiques aux films. Ces sacs et conteneurs sont ramassés régulièrement. D'autres entreprises sont également actives dans ce domaine : la société néerlandaise VKR (Vereniging van Kunststoff Recyclers) travaille pour le compte de 40 entreprises de collecte / de tri. On a estimé qu'environ 130.000 tonnes de films usagés ont été collectées aux Pays Bas en 1998.

En Autriche, le système de recyclage des films industriels et commerciaux est organisé par ARA AG, qui s'occupe également des emballages ménagers. Le système ARA est composé d'organismes privés à but non lucratif, indépendants les uns des autres, qui organisent la collecte et / ou le recyclage des emballages ménagers usagés. ARA perçoit des redevances et transfère cet argent à l'ARGEV pour financer le tri, et à l'ÖKK pour la valorisation des déchets plastiques. En 1998, l'ÖKK a recyclé environ 20.000 tonnes de films plastiques commerciaux, soit environ 15% de la quantité totale du marché des films plastiques en Autriche.

En France, l'association RECYFILM a été créée en septembre 1995 par des fabricants de films plastiques regroupés au sein du Syndicat des Films Plastiques (SFP). RECYFILM a pour objectif de participer au développement et à l'harmonisation des filières de valorisation des emballages industriels et commerciaux en film plastique. L'association œuvre ainsi dans le cadre de la directive 94/62/CE du 20/12/1994 relative aux " emballages et déchets d'emballages ".

L'association regroupe :

- des producteurs de matières plastiques, par le biais du SPMP (Syndicat des Producteurs de Matières Plastiques)
- des fabricants de films plastiques
- le SFP (Syndicat des Films Plastiques)

- des récupérateurs et régénérateurs / recycleurs de films plastiques

Les activités de RECYFILM concernent ;

- la mise en relation de détenteurs d'emballages usagés en film plastique avec des récupérateurs ou régénérateurs / recycleurs susceptibles de traiter ces films
- l'élaboration de statistiques de valorisation des films plastiques, par enquête auprès des régénérateurs
- l'organisation de groupes de travail sur divers sujets (film étirable, gestion des films usagés au sein de la Grande Distribution, identification des films...)
- la participation à des salons professionnels " Environnement " ou " Emballage ", à des journées techniques... Communications à la presse.

RECYFILM est un lieu d'échanges et de communication entre les différents acteurs de la filière " films plastiques ". Chaque année, RECYFILM mène auprès des récupérateurs et des régénérateurs/recycleurs adhérents et non adhérents, une enquête sur les films plastiques usagés valorisés. L'enquête porte uniquement sur les films en PE (étirable, rétractable, sacs grande contenance), étant donné qu'ils représentent la grande majorité des emballages industriels et commerciaux.

En Allemagne, la RIGK, la Société pour la valorisation des emballages plastiques issus de l'industrie et du commerce, a été créée en 1992. Cet organisme traite non seulement les films (principalement par recyclage mécanique), mais également les récipients, bouteilles, emballages en tissu, etc. d'entreprises industrielles et commerciales.

La plus grande partie de la fraction propre des films usagés étant déjà ramassée dans certains pays, les nouvelles initiatives de collecte sont souvent confrontées à des déchets qui sont bien plus contaminés. Cet aspect rend beaucoup plus difficile l'établissement de nouvelles initiatives ainsi que l'extension des systèmes existants.

B-1-2 Description du programme de recyclage

En Europe, le recyclage des films PE (qui représentent la plus grande proportion des marchés de recyclage) a augmenté de 10 à 12% en 1998, avec encore une marge de progression prévue. L'une des raisons de cette augmentation est le fait que ces films sont relativement faciles à ramasser ; ils sont jetés de manière moins dispersée et sont moins sales que les films des déchets ménagers. En revanche, les recycleurs notent que ceux qui jettent les déchets ne font pas toujours preuve de précision avec comme résultat des déchets trop contaminés pour assurer un recyclage à forte valeur. Afin de pouvoir recycler les films pour réaliser des produits de qualité, la majorité des entreprises de recyclage est très exigeante en ce qui concerne la qualité des déchets. De préférence, aucune particule étrangère, telles le papier, autres plastiques, bois, etc., ne devra être présente. Ces exigences impliquent une très bonne qualité de collecte à la fois par l'émetteur du déchet et la société de collecte.

Après la collecte, les films sont généralement triés selon le type de films et de matériaux. Les films triés sont ensuite transportés vers le recycleur. Le processus de recyclage est constitué des étapes suivantes :

- Déballage
- Tri manuel, en cas de besoin
- Convoyeur → broyeur (simple ou double), éventuellement avec lavage frictionnel
- Lavage en deux étapes, dont une étape de décantation pour enlever les contaminants
- Séchage
- Extrusion – regranulation
- Stockage

En raison des caractéristiques du film étirable LLDPE (très mince et collant), son recyclage nécessite l'emploi de machines différentes de celles employées pour les films rétractables et les sacs plus épais. En raison de la part toujours croissante représentée par ce type de film, plusieurs initiatives ont été lancées pour s'attaquer au problème du recyclage de tels films. Après une phase d'expérimentation assez longue, le recyclage des films étirables est dorénavant opérationnel à l'échelle industrielle. Par rapport au recyclage des films rétractables, les capacités restent limitées. Le recyclage des mélanges LDPE / LLDPE est possible, mais uniquement à condition que la proportion de LLDPE ne soit trop importante. En règle générale, on peut affirmer qu'il est préférable d'effectuer une séparation intégrale des différents types de plastiques.

Les débouchés pour les matériaux recyclés issus de films industriels et commerciaux existent dans plusieurs secteurs :

- les sacs poubelle
- les films pour ensilage et les sacs horticoles
- les sachets de supermarché
- les films pour des applications dans la construction
- additif de 10-20% dans de nouveaux films rétractables
- Autres applications dans l'emballage industriel et en dehors du secteur des emballages (les tuyaux, par exemple).

En France, les chiffres de consommation (production française + importations – exportations) sont communiqués par le SFP. Pour l'année 2000, on compte 250 000 tonnes d'emballages industriels et commerciaux en film PE. Ce chiffre correspond au gisement d'emballages usagés, étant donné qu'il n'y a pas de réutilisation de films plastiques.

86 500 tonnes de films ont été valorisées dont 75 000 tonnes par valorisation matière (recyclage) et 11 500 tonnes valorisées par voie énergétique.

RECYFILM s'est associé à l'ADEME pour mener une étude sur le recyclage du film étirable. Cette étude doit permettre de collecter des éléments relatifs à la technologie pour permettre aux recycleurs français de juger de l'opportunité d'investir dans du matériel pour la régénération du film étirable. Un état des lieux du recyclage de l'étirable de palettisation a été réalisé par quatre représentants de RECYFILM et un représentant de l'ADEME. Le rapport des visites effectuées lors de cette mission est disponible auprès de RECYFILM.

B-1-3 Aspects économiques

Il existe un certain nombre d'éléments qui font que le recyclage des films industriels et commerciaux est potentiellement attractif du point de vue économique. Premièrement, étant

donné que ce flux de déchets peut être relativement propre (par rapport aux déchets ménagers, par exemple), les coûts de recyclage sont relativement bas. Comme nous l'avons déjà précisé, la qualité dépend fortement de la discipline de ceux qui émettent les déchets. Cette qualité relativement élevée des déchets permet des prix compétitifs pour le PE recyclé à partir de films. Ces prix doivent être inférieurs d'au moins 25% au prix du produit vierge pour que le recycleur puisse rivaliser avec les producteurs de matériaux vierges. Ceci s'avère difficile lorsque les prix du produit vierge sont bas.

La collecte non séparée entraîne des coûts plus élevés en raison du lavage supplémentaire et des étapes de séparation, ainsi qu'en raison des coûts d'élimination des déchets résiduels du processus de recyclage.

Deuxièmement, l'avantage de la collecte des films industriels et commerciaux réside dans le fait que les sources sont relativement concentrées. Ceci rend la collecte moins coûteuse que celle de déchets dispersés.

Troisièmement, il existe un fort potentiel de recyclage de ce film : d'un côté, on emploie d'importantes quantités de ces films et, de l'autre, cette quantité de film est relativement facile à collecter en raison des sources de déchets plutôt concentrées.

Le recyclage des films industriels et commerciaux se trouve confronté à deux défis :

- La réduction permanente de l'épaisseur du film en raison de l'optimisation du processus de production et de l'amélioration des propriétés mécaniques des films. Ceci répond aux objectifs de prévention par la réduction des sources de déchets, mais les films plus minces entraîneront une moindre efficacité des systèmes de collecte et de recyclage.
- L'augmentation du rapport film étirable / film rétractable (de 40 / 60 en Europe en 1996, avec une évolution jusqu'à 70 / 30 prévue d'ici 2006). Cette part croissante de films étirables (beaucoup plus minces) entraînera une moindre efficacité des systèmes de collecte et de recyclage

Le tableau suivant présente un aperçu des coûts (en €/ tonne) dans plusieurs pays :

	Collecte et recyclage commerciaux			Système garant
	France	Royaume Uni	Pays Bas	Autriche
Collecte / transport / tri		90 – 110	450 – 650	550
Prix d'achat versé par le recycleur	100 - 200	100 – 150	0 – 175	
Coûts de traitement*	137 - 520	275 - 350	275 - 375	375
Redevance versée par la société d'emballage / de remplissage				50

*coût de traitement à la tonne : broyage : 137€- lavage/séchage : 152€- granulation : 229€

Les prix payés pour le granulat LDPE varient entre 500 et 750 Euros par tonne. Ceci implique l'existence de déficits sur l'ensemble de la chaîne. Ces déficits sont soit payés par le garant matières plastiques tel que ÖKK, soit, dans une approche commerciale, facturés à ceux qui émettent les déchets.

B-1-4 Aspects juridiques et gouvernementaux

La force motrice du recyclage des films industriels et commerciaux est la Directive Européenne sur les plastiques d'emballage décrite précédemment.

Les approches adoptées par les différents pays européens par rapport à cette directive sont très variées. Le système néerlandais se focalise uniquement sur les emballages plastiques industriels, dont les films plastiques représentent un seul des flux, à travers des règlements volontaires dans la forme de ce qu'on appelle des « Conventions ». En Autriche, la valorisation des emballages plastiques industriels est organisée par ARA AG dans le cadre d'un système Point Vert combiné avec des emballages ménagers. En France, l'association RECYFILM participe au développement des filières de valorisation des emballages industriels et commerciaux en film plastique, dans le sens de la directive 94/62/CE.

B-1-5 Aspects sociaux

Le recyclage économiquement favorable des films évoqué dans ce chapitre, comme la directive Européenne sur les emballages, encourage les sociétés à travailler ensemble pour collecter, trier et recycler les films de la façon la plus efficace (en termes de coûts). Les systèmes d'organisation de la collecte existent déjà dans un certain nombre de pays européens. Dans certains pays, on a constaté une baisse de la qualité de la collecte. La communication auprès des sources des déchets doit être améliorée dans le but de garder les films propres à l'écart et de présenter les fractions de film de façon correcte. Ceci nous amène à conclure que les sociétés génératrices des déchets ne sont pas aussi « vertes » qu'elles devraient l'être pour que ce recyclage soit un succès. Les prix du marché constitueront le facteur principal pour que ces sociétés coopèrent. La cible des stratégies à long terme devra être les utilisateurs ultimes (marchés) et non pas les déchets disponibles.

Les consommateurs acceptent la présence de matériaux recyclés dans des produits tels que les sacs poubelle. Dans d'autres produits tels que les poches plastiques, les aspects tels que la couleur et la texture empêchent l'utilisation d'une forte proportion de matériau recyclé.

B-1-6 Aspects organisationnels

Les chiffres pour la collecte aux Pays-Bas et en Autriche montrent qu'il est possible de collecter une importante quantité de films industriels et commerciaux pour le recyclage. Les programmes de collecte des Pays Bas et de l'Autriche diffèrent légèrement. Aux Pays-Bas, il existe un programme de collecte spécifique, ciblant les films industriels, organisé par VMK. Pour aider les sociétés dans la collecte séparée de leurs déchets, VMK (Vereniging Milieubeheer Kunststofverpakkingen) a rédigé des directives pour orienter la collecte. Ces directives doivent améliorer la qualité de la collecte (aussi bien triée que possible) afin de réduire les coûts de tri et de recyclage, et ainsi, d'augmenter les marchés pour le matériau recyclé.

B-1-7 Matrices des facteurs de progrès / de blocage et critères décisifs

Une analyse croisée des différents aspects (économique, juridique, social et organisationnel) de la collecte et du recyclage des films industriels et commerciaux nous permet d'élaborer une liste des facteurs de progrès et de blocage en jeu (voir le tableau II).

Sur la base des informations contenues dans les paragraphes précédents et du résumé des facteurs de progrès / de blocage, les critères décisifs d'un programme de recyclage des films industriels et commerciaux ont été identifiés et pondérés selon la procédure décrite dans la partie "méthodologie" de ce rapport (voir ANNEXE III).

B-1-8 Considérations relatives au profil environnemental

Le niveau peu élevé de la contamination des films industriels et commerciaux constitue l'un des facteurs clé ayant un effet positif sur le profil environnemental du recyclage mécanique de ce flux de déchets. Un nombre limité de lavages et de tris est nécessaire pour obtenir un matériau recyclé de bonne qualité. Par ailleurs, il reste moins de résidus à éliminer. Les films étirables plus minces présentent un profil un peu moins avantageux en raison du contenu en eau élevé après le lavage, ce qui entraîne une forte demande énergétique pour le séchage.

La bonne qualité du matériau recyclé le rend apte à un emploi dans de nouveaux produits qui, sans cette qualité, seraient réalisés à partir de matières vierges. Cette substitution des matériaux vierges rend le profil environnemental encore plus positif.

En revanche, tous ces éléments ne s'appliquent qu'en cas de collecte de déchets bien triés et propres.

B-1-9 Conclusions

En tenant compte des facteurs de progrès / blocage (tableau III) et des résultats positifs en matière de critères décisifs (tableau IV), on peut conclure que le programme de recyclage mécanique des films industriels et commerciaux pourrait s'avérer être un grand succès, à condition que les différents films soient collectés séparément, qu'ils soient libres de corps étrangers et aussi propres que possible. Ceci implique une grande discipline de la part de ceux qui émettent les déchets. La qualité de la collecte est d'une importance capitale dans le succès de la valorisation des films.

Afin d'obtenir une bonne qualité de matériaux collectés, des structures logistiques performantes ont été introduites dans plusieurs pays.

La qualité potentiellement élevée des matériaux collectés, l'émission concentrée des déchets, les quantités importantes de films disponibles et le profil environnemental favorable rendent le programme de recyclage potentiellement très efficace.

Tableau II : Facteurs de progrès / de blocage dans le recyclage des films industriels et commerciaux.

Thèmes	Facteurs de progrès	Facteurs de blocage
Economique	<ul style="list-style-type: none"> • Subventions pour contribuer au financement de la filière • Coûts de logistique et de traitement relativement faibles • En partie « tiré par le marché. » 	<ul style="list-style-type: none"> • Les exportations vers les pays à bas salaires déterminent le prix des matériaux recyclés • Coûts d'élimination des résidus du processus de recyclage • Prix peu élevés et fluctuations au niveau des polymères vierges (il faut des prix supérieurs à 1.000 €/ tonne). • Coûts de collecte excessifs • Absence de soutien de la part des producteurs.
Légal, gouvernemental	<ul style="list-style-type: none"> • Normes d'application des matériaux recyclés et définitions des déchets (pour assurer une qualité régulière et pour améliorer l'image des matériaux recyclés). • Directive nationale et UE sur le recyclage des déchets d'emballages • Règlements environnementaux sur l'élimination des déchets 	<ul style="list-style-type: none"> • Interdiction de l'emploi des matières recyclées dans certains produits (les emballages alimentaires, par exemple). • Définitions peu claires des déchets / ressources • Législation ((inter)nationale) incohérente • Restrictions sur le transport transfrontalier • Ambitions politiques peu réalistes
Social	<ul style="list-style-type: none"> • Existence d'une structure institutionnelle et administrative (comme garant et lien entre les textes et les problèmes réels) • Existence de stratégies à long terme • Focalisation sur les utilisateurs finaux (marchés) et non pas sur les déchets disponibles • Soutien fort à de nouvelles initiatives et investissements • Stimuler la conscience des émetteurs de déchets • Campagnes de communication et d'information auprès des consommateurs et des organismes pour économiser sur les coûts de tri et de recyclage. 	<ul style="list-style-type: none"> • Résistances des consommateurs vis -à-vis des produits contenant des matériaux recyclés.
Organisationnel	<ul style="list-style-type: none"> • Systèmes de collecte séparée efficaces (non pas incorporés dans les activités de collecte des municipalités) • Se concentrer sur un nombre limité de sources générant des quantités importantes de déchets • Définition claire de la composition des matières plastiques • Capitaliser sur l'expérience des programmes de recyclage antérieurs • Disponibilité de logistique inverse • Existence d'infrastructures opérationnelles pour la collecte, la logistique et le traitement (les circuits traditionnels fonctionnent le mieux) • Disponibilité d'une capacité de recyclage suffisante • Disponibilité de débouchés pour les matériaux recyclés 	<ul style="list-style-type: none"> • Mélange de différents plastiques • Substitution du LDPE par d'autres polymères (« concurrence entre polymères ») • Tendance vers des films plus minces • Disponibilités de solutions parallèles pour l'élimination • Sources disponibles livrent leurs déchets plastiques avec des niveaux croissants de contamination.

B-2 Analyse des systèmes de recyclage des emballages en PSE

B-2-1 Introduction

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.

Plusieurs organisations sur le PSE dans plus de 25 pays dans le monde ont adhéré à l'accord international sur le recyclage. Les signataires s'engagent :

- à continuer à promouvoir l'utilisation de polystyrène recyclé dans une large variété d'applications finales.
- à établir un réseau permettant l'échange d'informations relatives à des programmes environnementaux de gestion des déchets solides du PSE, entre les professionnels de l'emballage, les fabricants de produits, les responsables des gouvernements, les membres des associations et les consommateurs.

En Allemagne, la chaîne PSE projette de rejoindre le système DSD pour la collecte et le transport des déchets. Les déchets de zones réduites sont regroupés vers des sites de collecte et acheminés ensuite en grande quantité vers des recycleurs. En Allemagne, pratiquement tous les détenteurs de PSE collectent leurs déchets à des fins de recyclage.

Au Royaume Uni, le PSERIS, qui fait partie de la Fédération Britannique des Matières Plastiques a été mis en place pour encourager la récupération et le recyclage des emballages en PSE usagés. Les membres de ce groupe représentent plus de 80% des fabricants d'emballages en PSE au Royaume Uni. Les industriels les plus importants de l'électricité et de l'automobile tout comme les principaux détaillants en matériel électrique entretiennent des systèmes de recyclage du PSE efficaces et rentables. Plus de vingt sociétés recyclent les emballages en PSE en Grande Bretagne, chacune satisfaisant à des exigences différentes en matière de quantités et de formes, en fonction de l'application finale.

En Norvège, PLASTRETUR est responsable du développement et de l'organisation de la collecte et de la récupération des emballages plastiques, tels que le PSE, auprès des ménages, du commerce et de l'industrie. Le modèle PLASTRETUR garantit aux propriétaires de déchets, aux collecteurs, aux usines de tri et aux recycleurs, une compensation financière pour le tri des déchets plastiques. La collecte du PSE est organisée par l'industrie du PSE, sous la responsabilité des producteurs et de leurs partenaires. Les résultats sont rapportés à PLASTRETUR. En 1999, près de 3.500 tonnes de déchets de PSE ont été générées. Sur cette quantité, 935 tonnes ont été collectées sélectivement dont 257 tonnes recyclées.

En Suède SVENKS PSE ÅTERVINNING AB organise la collecte et le recyclage des emballages en PSE. En 1998, 440 tonnes ont été collectées sur les 1500 tonnes mises sur le marché, 70% ont été mécaniquement recyclées et 30% traitées pour la récupération d'énergie.

En Hollande STYBENEX VERPAKKINGEN, est l'organisateur du système de collecte et de recyclage en collaboration avec tous les producteurs de PSE. Les emballages en PSE usagés peuvent être livrés franco de port dans les locaux des producteurs de PSE. En 1999 plus de 4000 tonnes de PSE ont été collectées et dans leur grande majorité recyclées mécaniquement. (Près de 500 tonnes ont été livrées par petites quantités au point de collecte et près de 3500 tonnes en provenance de gros détaillants ont été collectées sur la base d'un contrat à la demande des producteurs d'équipements électriques et électroniques). Le PSE trop contaminée est traitée par incinération avec récupération d'énergie.

En France, ECO PSE s'est donné pour mission, depuis 1993, de promouvoir et d'organiser les filières de valorisation des emballages en Polystyrène Expandé (PSE). Il fédère 95 % de la profession des fabricants d'emballages PSE, qui travaillent en étroite collaboration avec les producteurs de matière première, les transformateurs PSE du bâtiment et les professionnels du recyclage au travers d'un réseau d'environ 40 sites sur toute la France.

ECO PSE fait partie des 26 organismes dans le monde qui ont signé un accord international les engageant à organiser la valorisation des emballages usagés en PSE sur leur territoire, et ce, quel que soit leur pays d'origine. Ces organismes sont présents en Europe, en Amérique et en Asie. ECO PSE à travers ses adhérents, est en mesure d'apporter une solution aux gisements propres d'emballages en polystyrène expansé. (compactage et extrusion, ou réintroduction en production pour la fabrication d'objets moulés ou de blocs pour l'isolation).

En 2001, 6 920 tonnes d'emballages en PSE ont été recyclées en France soit une progression de 7 % par rapport à 2000. Cette progression des tonnages recyclés est d'autant plus significative qu'elle s'est faite sur un marché national en léger repli (36 000 tonnes d'emballages PSE consommées contre 37 000 en 2000) : ce repli s'expliquant principalement par les répercussions qu'ont eu le dépôt de bilan du groupe Moulinex-Brandt. Pour autant, le taux de recyclage 2001 s'affiche une nouvelle fois en hausse, avec 19,2% de la consommation nationale, tous gisements confondus. Qui plus est, s'agissant du seul gisement des emballages PSE industriels et commerciaux, (soit 22 500 des 36 000 tonnes mises sur le marché), le taux de recyclage atteint désormais les 30 %.

A la base de ces excellentes performances, on retrouve le système de recyclage multifilières, qui avec quatre filières indépendantes consommatrices de PSE recyclé (emballages PSE, blocs et plaques pour le bâtiment, produits PSE d'allégement des sols et bétons et granulés PS), peut s'affranchir de l'influence des variations des cours de la matière première. Ainsi en 2001, le système a pu s'appuyer sur un rééquilibrage entre la filière PS (51,5 %) et les trois autres filières PSE (48,5 %) ; en partie en raison du sensible recul des applications bâtiment. La filière "bâtiment" demeure cependant le plus gros ré-utilisateur de matière recyclée sous forme expansée.

La valorisation totale (recyclage et valorisation énergétique), tous gisements confondus, représente 15 400 tonnes soit 43 % des emballages consommés en 2001.

Les gros gisements industriels et commerciaux ne sont plus l'unique "cible" des actions d'ECO PSE. Parallèlement à l'effort engagé par les pouvoirs publics en faveur de la valorisation énergétique, la profession des emballages PSE a initié des actions visant les gisements professionnels diffus (artisans, petits commerçants,...).

B-2-2 Description du système de recyclage

La collecte et la récupération des emballages du PSE sont organisées en collaboration avec des gros détaillants, des producteurs, des recycleurs et des collecteurs. Les emballages en PSE destinés au recyclage doivent être séparés d'autres matériaux, de préférence à la source. Le PSE est aisément reconnaissable et peut-être collecté en aval des détaillants, dans des centres de distribution, des usines ou des magasins selon les convenances. Parfois le matériau est compacté sur le site de la collecte permettant ainsi de réduire le coût du transport. Le recycleur qui souhaite retraiter le matériau, enverra un camion pour récupérer le matériau (compacté ou non), chaque fois qu'une charge complète sera disponible, et l'acheminer à l'usine de recyclage. La collecte des déchets auprès des consommateurs est plus difficile ; c'est pourquoi cette partie des déchets n'est généralement pas collectée.

En Hollande, le PSE est recueilli dans des grands sacs de 2 m³, en ballots ou en conteneurs, et acheminé, en général sans compactage vers les recycleurs. Récemment un système additionnel de collecte est venu s'ajouter, utilisant ce qu'on appelle les « knapsacks » (1000 ou 250 litres). Ce système est également utilisé pour la collecte de films commerciaux.

Facultativement le PSE peut également être recueilli par le recycleur ou transporté par le service de collecte de déchets vers le recycleur ou un centre de distribution. La dernière option représente une économie pour le service de collecte de déchets. Dans d'autres pays, de grands sacs en plastique (jusqu'à 2500 litres) sont utilisés pour la collecte des déchets d'emballages industriels en PSE.

Il est important pour un recycleur de savoir si les déchets de PSE sont considérés comme « contaminés » ou propres. Le matériau est contaminé lorsqu'il inclut des matériaux autres que le PSE, par exemple des étiquettes en papier, des agrafes, des bandes adhésives, etc. Si au préalable l'emballage en PSE servait à contenir du poisson, des plantes ou des semences, des fruits ou des légumes, il sera également classé comme « contaminé ». Le PSE propre a servi généralement à emballer des matériels électriques ou des pièces de voiture. Un recycleur doit ajuster son procédé de recyclage au contenu contaminé des déchets.

LE PSE est recyclé en quatre applications principales. :

1. Remoulage en mousse : les emballages abandonnés par les consommateurs peuvent être traités pour remplacer partiellement ou directement un polymère vierge, dans un matériau brut pour la production d'emballages à calage souple ou même pour de nouveaux moulages en PSE. En général le taux de granules de PSE propre recyclé est de 5 à 15% pour la fabrication des plaques d'isolation de qualité élevée et des moulages du PSE ; l'utilisation de matériau recyclé jusqu'à 100% est possible pour certaines applications spécifiques au bâtiment.
2. Production du PSE pour le sol pour le drainage ou des applications horticoles (conditionnement des sols).

3. Réutilisation dans des bétons allégés et matériaux de construction : du PSE broyé est mélangé à du ciment pour la fabrication de béton allégé pour l'isolation de piscines, de toits en terrasse, de planchers, etc..
4. Réutilisation par extrusion en polystyrène rigide (portemanteaux, boîtiers de CD et de cassettes vidéo, etc).

B-2-3 Aspects économiques

Pour l'évaluation économique du recyclage du PSE, les coûts de collecte et de transport jouent un rôle important. Les coûts de transport du PSE sont relativement élevés à cause de sa faible densité. Afin de diminuer ces coûts, la logistique du retour pour les produits emballés peut être mise en œuvre. Une autre manière de réduire les coûts de transport est de combiner la collecte avec celle d'autres déchets de l'industrie ou du commerce, par exemple avec les déchets de films comme en Hollande avec le système «knapsack ». Les coûts varieront en fonction de la structure retenue pour la collecte ainsi que de la place du système de collecte dans le schéma d'ensemble de la récupération du PSE.

Par exemple en Norvège où le système de collecte et de récupération est basé sur une gestion des déchets préexistante et une infrastructure de logistique de recyclage, les coûts de collecte sont estimés à 300€par tonne. En Suède on a retenu la solution des contrats de collecte selon lesquels un prix fixe par sac de PSE est payé quelles que soient les distances du transport. Il en résulte un coût moyen de collecte de 750 €par tonne.

Il existe une grande demande de PSE recyclé, spécialement sous forme propre et broyée, qui d'une part est basée sur la pureté des emballages du PSE usagés et d'autre part sur un traitement relativement simple pour obtenir les qualités requises.

Dans le cas de la Hollande, des coûts de traitement (admission, contrôle de qualité, broyage et stockage en silos) s'élevant à 100 €par tonne sont signalés.

En Suède on signale des coûts de traitement plus élevés (jusqu'à 900 €par tonne) ; les étapes de traitement prises en compte (broyage, extrusion, moulage) n'apparaissent pas clairement. D'une manière générale les coûts de traitement pour obtenir du PSE recyclé solide (broyage, extrusion, dégazage et filtrage en fusion) son plus élevés que ceux qui permettent d'obtenir le PSE de base.

Les coûts totaux pour la collecte et le recyclage d'emballages en PSE dans des systèmes spécifiques, s'inscrivent dans un éventail de 300 à 1700 € par tonne. Dans le cas d'une collecte privée, les coûts de collecte à eux seuls peuvent être supérieurs aux 1700 €par tonne susmentionnés, selon le système de collecte retenu. (Lorsqu'un conteneur de 1100 litres est employé pour l'enlèvement des emballages en PSE dont la masse volumique moyenne apparente est de 6 à 8 kg/m³ et qu'il faut payer environ 25 €pour le remplissage du conteneur, le prix à payer pour la collecte des déchets du PSE est élevé !)

Suivant la situation et dans la mesure où on prend en compte les coûts de collecte et de transport, ainsi que les débouchés retenus, le recyclage des emballages en PSE peut se situer économiquement sur une échelle allant de la simple faisabilité à un profit élevé.

B-2-4 Aspects légaux gouvernementaux

Deux éléments sont à l'origine du recyclage du PSE : la directive européenne relative aux emballages et une certaine menace représentée par les matériaux concurrents. (D'autres raisons contribuent à l'image positive du PSE : sources de matériaux bruts bon marché et réduction des émissions de pentane).

En ce qui concerne PLASTRETUR il convient de signaler que l'Autorité Norvégienne de Contrôle de la Pollution a évalué le contrat entre le Ministère de l'Environnement et le commerce et l'industrie. Cette évaluation conclut que le commerce et l'industrie, à travers PLASTRETUR atteignent les cibles déterminées par l'accord et que les autorités sont satisfaites du développement actuel. Il est important pour PLASTRETUR d'avoir autant d'alternatives de recyclage que possible, dans le but de garantir que les plastiques collectés seront également vendus à l'avenir. En plus du recyclage mécanique d'autres options se présentent telles que le recyclage chimique et l'incinération avec récupération d'énergie.

B-2-5 Aspects sociaux

Dans tous les pays impliqués une grande attention a été portée à l'établissement de bonnes communications entre toutes les parties engagées dans la chaîne. Ayant conscience de l'éco-image potentiellement négative des emballages en PSE, très « visibles » parmi les autres déchets, les producteurs tout autant que les usagers industriels sont activement concernés par la réalisation d'une collecte nationale et par des systèmes de recyclage des emballages en PSE.

Il en résulte que l'éco-image des emballages en PSE a été convertie en une « image - verte » effectivement communiquée au grand public.

B-2-6 Aspects organisationnels

Malgré la logistique souvent compliquée du traitement des déchets d'emballage volumineux en PSE et les distances parfois longues à parcourir, des solutions efficaces ont été développées dans différents pays.

Par exemple en utilisant les infrastructures locales ou nationales pour la collecte des déchets ou les transports industriels (y compris la logistique du retour), les déchets d'emballages en PSE peuvent être transportés efficacement des points de collecte vers les recycleurs. D'une manière générale les points de collecte sont nombreux (par exemple jusqu'à 1600 en Allemagne) et géographiquement très bien répartis dans les régions examinées. En Hollande un système différent a été retenu avec les huit producteurs et quelques recycleurs agissant en tant que « site de collecte ». Les déchets de PSE sont collectés par d'autres parties à partir des lieux de dépôt et transportés ensuite vers les sites de collecte où le PSE est recyclé. D'autre part des contrats spécifiques sont conclus avec des entrepreneurs qui collectent les emballages en PSE, réduisent les déchets en morceaux plus petits pour un facteur 2 ou 3 (densification / compactage par voie mécanique ou thermique) et ensuite acheminent le PSE vers des recycleurs.

En France, ECO-PSE développe depuis mars 2002 la mise en place de "Point PSE". Il s'agit de nouveaux sites de collecte de déchets PSE réservés aux professionnels. A ce jour, il existe une cinquantaine de points d'apports volontaires de ce type dont une dizaine se trouve en déchetterie. Ces "points PSE" sont mis en place, aujourd'hui, sur des sites stratégiques, proches d'une unité de recyclage des déchets de PSE.

Si la logistique de collecte et de transport des déchets d'emballages en PSE est bien organisée, le recyclage et les traitements postérieurs des déchets ne sont pas problématique (à moins que les déchets ne soient trop contaminés auquel cas ils sont incinérés en combinaison souvent avec récupération d'énergie).

A-2-7 Matrices des facteurs de progrès / de blocage et critères décisifs

Une analyse croisée des différents aspects (économique, juridique, social et organisationnel) de la collecte et du recyclage du PSE nous permet d'élaborer une liste des facteurs de progrès et de blocage en jeu (voir le tableau III).

Sur la base des informations contenues dans les paragraphes précédents et du résumé des facteurs de progrès / de blocage, les critères décisifs pour la mise en œuvre d'un système de recyclage du PSE ont été identifiés et pondérés selon la procédure décrite dans la partie "méthodologie" de ce rapport (voir ANNEXE III).

A-2-8 Considérations relatives au profil environnemental

En ce qui concerne le profil environnemental du recyclage des emballages en PSE, il convient de mentionner les aspects à la fois positifs et négatifs.

Les aspects positifs (spécialement pour les déchets du PSE propres en provenance des emballages de biens électriques et électroniques) sont constitués par un potentiel 1:1 de remplacement de matériau vierge pour les applications en mousse ainsi que pour des applications de PS solides.

Parmi les aspects négatifs, on relève la faible densité des déchets en PSE, les distances de transport parfois importantes et le taux de contamination plus élevé de certains produits en PSE, tels que les cagettes à poissons et les plateaux de jardin. Par compactage ou densification avant le transport et en utilisant les infrastructures existantes et les logistiques de retour des transports industriels, l'impact négatif peut être réduit.

Tenant compte de la composition des flux de déchets ainsi que de la répartition des différents débouchés du marché, nous portons un jugement neutre sur le profil écologique du recyclage mécanique des déchets d'emballages en PSE.

Si on prend en considération, pour le recyclage mécanique uniquement, la qualité la plus élevée de déchets d'emballage en PSE, on aboutit à un jugement légèrement plus positif.

B-2-9 Conclusions

Une vue d'ensemble des facteurs de progrès/blocage et le résultat d'ensemble de pratiquement tous les aspects des critères décisifs sont positifs pour ce système de recyclage. En cas de déficit en chaîne, les producteurs ou les collecteurs ont à supporter financièrement (en général les coûts de collecte) du système de recyclage. La qualité des produits recyclés est dans une large mesure de très haut niveau et la demande de produits recyclés est nettement plus élevée que celle des produits disponibles. Les résultats des considérations écologiques démontrent que d'un point de vue environnemental, le recyclage des déchets PSE est également recommandable pourvu que les conditions préalables soient remplies.

Tableau III : Facteurs de progrès / de blocage dans le recyclage du PSE

Thèmes	Facteurs de progrès	Facteurs de blocage
Economique	<ul style="list-style-type: none"> • Attitude positive du secteur de la construction pour utiliser du PSE recyclé • Existence de marché pour les produits secondaires • Economie d'échelle 	<ul style="list-style-type: none"> • Rapport volume/poids important • Contamination importante des emballages utilisés en alimentaire • Coûts de collecte et de traitement pouvant être élevés (lié à la situation locale)
Légal, gouvernemental	<ul style="list-style-type: none"> • Directive nationale et UE sur le recyclage des déchets d'emballages 	
Social	<ul style="list-style-type: none"> • Attitude positive des producteurs et des utilisateurs • Participation active dans la réalisation de solutions locales • "Image verte" du PSE recyclé 	
Organisationnel	<ul style="list-style-type: none"> • Broyage et densification possible sur site de collecte • Système de collecte dans différents secteurs • Contrats à prix fixes par sacs de collecte indépendamment des distances de transport 	<ul style="list-style-type: none"> • Logistique de transport difficile sur de grandes distances

C - AUTRES SECTEURS

C-1 Analyses des systèmes de recyclage des films agricoles

C-1-1 Introduction

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.

Au Royaume Uni en 1995, les producteurs de films agricoles ont mis en œuvre un système de collecte des films usagés (essentiellement noirs) en vue de leur recyclage dans une usine spécialement créée à Dumfries (British Polythene Industries : BPI). Le Groupe de Producteurs de Films Agricoles (FFPG) a organisé la collecte des déchets plastiques dans les exploitations agricoles en les envoyant pour recyclage au BPI. Ces systèmes fonctionnaient sur la base d'une contribution volontaire (100£/tonne) perçue auprès des fabricants de films plastiques. En 1995 un total estimé à 3 900 tonnes (sur un potentiel de 20 000 tonnes de films plastiques soit 19,5%) a ainsi été collecté dans le cadre de ce système. Ceci a fonctionné jusqu'à début 1997 où le système s'est effondré en raison de la chute des prix provoqués par certains importateurs de films qui ont alors refusé de participer à ce réseau.

Quelques collecteurs ont continué leur mission dans certaines régions mais il n'existe pas aujourd'hui de système national de recyclage des films agricoles équivalent à celui qui avait vu le jour sur l'initiative du FFPG.

En Hollande, FOLINED a été fondé en 1993 dans le cadre de la convention hollandaise relative aux films agricoles. En 1996, cette convention a été remplacée par une réglementation valable pour tous les producteurs et importateurs de film pour des applications agricoles. FOLINED est une organisation à but non lucratif à laquelle participent trois secteurs : les associations de producteurs, les associations de recycleurs et la Commission Agricole. Par comparaison au FFPG, le FOLINED ne collecte que les films / sacs d'ensilage d'une épaisseur supérieure à 0,1 mm (engrais, aliments pour le bétail et autres emballages similaires). En 1998, près de 8 000 tonnes ont été collectées par le FOLINED, soit 30% de la quantité totale générée (déchets plastiques agricoles et horticoles).

Le Danemark possède également un système efficace de collecte et de recyclage. La collecte est assurée par les sociétés qui fournissent les films et les produits emballés. Près de 2 000 tonnes de films PEBD ont été collectés, pour une consommation totale de 6 600 tonnes. Pour l'avenir, l'objectif de recyclage est de 60%.

La Norvège possède un système conventionnel. En 1999, PLASTRETUR a collecté 4 500 tonnes de déchets de films, ce qui représente 70% des 6 500 tonnes de films plastiques. Près de 80-90% des films collectés sont des films d'ensilage.

En France, la filière du recyclage des films agricoles tarde à se mettre en place. Quelques expériences régionales de collecte et de recyclage des films agricoles usagés (FAU) voient le jour, souvent sur l'initiative des chambres d'agriculture.

On estime que les 75 000 tonnes de films utilisés chaque année par l'agriculture génèrent 150 000 tonnes de déchets chargés en terre. Moins d'un quart de ce tonnage est actuellement éliminé ou valorisé dans des filières légales (Centre d'Enfouissement Technique, recyclage matière), le reste étant généralement enfoui ou brûlé en bout de champ.

Aujourd'hui, les pouvoirs publics en association avec les producteurs, les utilisateurs et les distributeurs réfléchissent à la mise en place d'une filière pérenne de valorisation volontaire ou réglementaire.

C-1-2 Description du système de recyclage

Le schéma du recyclage commence par la collecte des déchets de films par l'agriculteur. Dans le système FFPG l'agriculteur devait effectuer le tri entre les films / sacs épais et les films minces et devait veiller à ce que ses plastiques soient raisonnablement propres, débarrassés de cailloux, de poussière, de terre, d'eau etc.

L'agriculteur devait prendre contact avec le FFPG après avoir réuni au moins 250 kg de plastiques. Le FFPG informait alors le collecteur le plus proche qui procédait à l'enlèvement des déchets dans un délai de 21 jours.

En Hollande, le système de collecte du FOLINED diffère légèrement du système FFPG. Le FOLINED organise la collecte des déchets de films une fois par an seulement (de mars à juin) sur l'ensemble du territoire. L'organisation informe l'ensemble des agriculteurs des dates auxquelles la collecte aura lieu ; ces derniers peuvent alors préparer les déchets. Le collecteur contracté par le FOLINED procède alors au ramassage des films. Ceux-ci sont directement pesés sur place, à la ferme. L'agriculteur reçoit alors un document établissant la quantité totale collectée. Le FOLINED peut ainsi établir le coût total en fonction de ce document.

La Norvège compte environ 80 collecteurs disposant chacun d'au moins un dépôt, parfois plus. Les films peuvent être déposés gratuitement dans les dépôts. Une taxe est prélevée pour la collecte à la ferme. La Norvège comprend près de 80.000 fermiers dont certains sont établis dans des contrées éloignées. La fréquence des collectes est variable.

En général le collecteur effectue les premières étapes du tri (séparation en fonction des épaisseurs, des couleurs) puis réalise la mise en ballots. Au Royaume Uni, le FFPG réalisait la collecte ainsi que la livraison à un recycleur (le BPI). En Hollande, le collecteur vend les films à des recycleurs sous contrat. La Norvège compte 4 recycleurs pour lesquels les distances de transport varient entre 0 et 1000 kilomètres.

D'une manière générale le procédé de recyclage consiste en une combinaison des étapes suivantes : déballage, déchiquetage grossier, lavage par friction, déchiquetage fin (broyage), lavage avec décantation, centrifugation, extrusion avec filtrage, granulation. Avec le film étirable, une étape de pré-lavage peut être ajoutée et le broyage nécessite des outils spécifiques à ce type de matériau.

Le taux de contamination varie sensiblement selon les circonstances locales, le choix des matériaux à recycler ainsi que le système de collecte retenu. Le taux de contamination (terre, eau, autres matériaux) varie entre 20 et 70% avec une moyenne de 30 à 50 %.

Parmi les débouchés pour les déchets de films agricoles recyclés, on relève par exemple, les palettes, les films d'ensilage noirs, les films pour la construction, les sacs poubelles, les sacs ultra résistants. En Norvège une partie des films d'ensilage blancs est même recyclée en sacs de supermarché.

C-1-3 Aspects économiques

Au Royaume Uni, le total des coûts de la collecte et du recyclage des films agricoles en granulés est estimé aux environs de 520 à 580€ par tonne (pour un taux moyen de contamination de 25-40% ; lorsque ce taux atteint 45 à 55%, les coûts peuvent atteindre 800€ par tonne). En comparaison avec le prix des polymères vierges (base 680€ par tonne), on observe une très faible marge de bénéfice lorsqu'elle existe !

Le système FOLINED en Hollande est en partie financé par les producteurs et importateurs de films au travers d'une taxe d'enlèvement de 50 €par tonne. L'agriculteur qui paye à FOLINED 100€par tonne de films plastiques collectée, participe en fait aux coûts du recyclage.

Dans le système norvégien PLASTRETUR, les producteurs de films agricoles où les négociants doivent payer une taxe de 200€par tonne.

Avec un objectif de collecte de 70%, dont 80% doivent être recyclés et remis sur le marché, un équilibre entre les taxes et les coûts de collecte et de recyclage a été trouvé.

Le granulat est vendu à des prix variant entre 250 et 500€par tonne. Dans les trois prochaines années la contribution de PLASTRETUR au coût de traitement sera progressivement réduite (de 220€par tonne actuellement à une échelle de 0 à 150€par tonne selon le produit final mis sur le marché).

Le taux moyen de contamination des films agricoles norvégiens est de 20%, dont à peu près 5% de terre et 15% d'eau. Ce faible taux de contamination provient d'une communication efficace avec les détenteurs de déchets et de leur éducation.

En général il est établi que le recyclage de films agricoles est stimulé par l'accroissement des taxes d'ensevelissement des déchets. La mise en service des premiers systèmes de collecte et de recyclage a eu lieu dans une perspective commerciale sous condition que les films collectés soient aussi propres que possible. La contamination entraîne des procédés de recyclage relativement coûteux compte tenu du nombre plus important d'étapes de lavage nécessaires et de l'évacuation des résidus. Compte tenu du bas prix du Polyéthylène vierge, la contamination rend difficile la concurrence entre le recyclage et le matériau vierge.

Une taxe pour chaque tonne de films mise sur le marché contribue fortement à la faisabilité du système de collecte et de recyclage.

C-1-4 Aspects légaux et gouvernementaux

Les fermiers britanniques ne sont pas autorisés à brûler le film alors que les décharges ne les acceptent pas. De surcroît les autorités locales ne sont pas obligées d'en assurer la collecte. Les films plastiques agricoles ne font pas partie des emballages et ne sont actuellement pas couverts par les contrôles de gestion de ce type de déchets. Sans incitations législatives la période de mise en œuvre de recyclage est très longue si tant est qu'elle existe (le BPI est impliqué dans le recyclage de films agricoles depuis plus de huit ans et il n'existe à ce jour aucune procédure fixe). La quantité de 24 000 à 27 000 tonnes de films agricoles usagés n'est pas significative si on la compare aux 11,7 millions de tonnes de déchets d'emballages au Royaume Uni ; les films agricoles ne constituent donc pas une priorité. Tous ces faits entraînent de gros problèmes pour les agriculteurs qui demandent au gouvernement de les résoudre. Une note de consultation a été rédigée par le Ministère du Commerce et de l'Industrie et a été envoyée à toutes les parties concernées. En 2001, le Royaume Uni devait atteindre les objectifs fixés par la Directive Européennes sur la récupération et le recyclage des emballages et des déchets d'emballage (y compris les films agricoles).

En Hollande une convention a été signée en 1993 entre un certain nombre de producteurs de films agricoles, le NFK (fédération hollandaise des plastiques) et le gouvernement afin de réglementer la collecte et le recyclage de films agricoles. En 1996 sur la base de cette convention des réglementations sont intervenues pour le traitement des déchets de films agricoles épais non destinés à l'emballage. L'ensevelissement de ces déchets est interdit depuis le 1^{er} janvier 1996. Cette réglementation s'applique à tous les producteurs de films agricoles et pas seulement à ceux qui ont signé la convention. Ainsi, la présence d'entrepreneurs faisant cavalier seul, susceptibles de contourner le système de recyclage de FOLINED, est contrecarrée dans la mesure du possible.

C-1-5 Aspects sociaux

La faiblesse du système FFPG au Royaume Uni (mentionnée dans l'introduction) était que tous les fabricant de films plastique ne soutenaient pas le programme de recyclage volontaire. Quelques importateurs isolés vendaient leurs films moins cher aux agriculteurs que les sociétés participant au FFPG. Il devenait évident que ces dernières ne pouvaient pas tenir face aux prix cassés. C'est ainsi que le système développé par le FFPG a cessé début 1997. Le BPI traite actuellement une quantité limitée de plastiques agricoles en provenance d'autres Etats membres de l'Union Européenne. L'usine de recyclage a pourtant une capacité annuelle de 10 000 tonnes de plastiques agricoles.

Une bonne communication entre toutes les parties concernées, producteurs, agriculteurs et recycleurs, est nécessaire. Cela permettrait de motiver les agriculteurs à regrouper les déchets de la manière la plus propre possible. La promotion d'une collecte propre de plastiques agricoles est importante pour obtenir une qualité plus élevée de produit recyclé à un moindre coût. Pour obtenir ce résultat, il est nécessaire de lier la contribution de l'agriculteur au poids de films collectés. De la sorte l'agriculteur payera moins s'il nettoie le film (le film propre est plus léger que lorsqu'il contient de la terre...). Ce système existe déjà dans certaines région du nord de l'Italie.

De surcroît les recycleurs doivent communiquer les exigences relatives aux déchets à la fois aux agriculteurs et aux collecteurs. Souvent il n'existe aucun soutien de la part des producteurs de films car ils ne voient aucun bénéfices au recyclage. Seule une haute qualité et des coûts faibles convaincront les producteurs d'utiliser des produits de recyclage. Tout système efficace repose sur ce sensible équilibre.

C-1-6 Aspects organisationnels

Un taux de collecte et de recyclage maximum sera obtenu par la mise en œuvre de systèmes de collecte régionaux et nationaux au sein desquels les agriculteurs, les collecteurs et les recycleurs travailleront étroitement ensemble. Un des avantages organisationnels dans la collecte des films repose sur la saisonnalité de certaines cultures. La collecte peut être concentrée et réalisée dans des périodes spécifiques de l'année.

Une capacité de recyclage suffisante doit être offerte ; dans ce sens la situation du film étirable est plus critique encore. Une transformation des films d'ensilage en films plus minces est observée par exemple en Hollande. Le traitement de films plus minces est plus contraignant car il nécessite des technologies de broyage spécifiques à ce type de produit. Un recycleur équipé pour traiter du film épais ne pourra pas traiter du film mince sur ce même équipement. Bien entendu la disponibilité sur le marché des produits recyclés est toute aussi

importante. Une qualité supérieure entraînera l'apparition de nouveaux débouchés sur le marché. De plus, une réglementation adaptée stimulerait la production de produits recyclés destinés à l'agriculture.

C-1-7 Matrices des facteurs de progrès / de blocage et critères décisifs

Une analyse croisée des différents aspects (économique, juridique, social et organisationnel) de la collecte et du recyclage des films agricoles nous permet d'élaborer une liste des facteurs de progrès et de blocage en jeu (voir le tableau IV).

Sur la base des informations contenues dans les paragraphes précédents et du résumé des facteurs de progrès / de blocage, les critères décisifs pour la mise en œuvre d'un système de recyclage des films agricoles ont été identifiés et pondérés selon la procédure décrite dans la partie "méthodologie" de ce rapport (voir ANNEXE III).

C-1-8 Considérations relatives au profil environnemental

Les films agricoles recyclés sont d'une manière générale débarrassés de contaminants dangereux tels que les pesticides ; la terre et le sable résiduel provenant du processus de recyclage peuvent être éliminés sans trop de problèmes dans certains pays. Ce n'est pas le cas en France où il existe une réglementation très stricte sur l'épandage des boues en fonction de leur origine. Ces réglementations constituent aujourd'hui en France, un des principaux freins au développement des filières de recyclage des films agricoles. Le lavage des sables et boues résiduelles avant leur élimination induit des coûts de traitement difficilement gérables d'un point de vue économique. Le taux de contamination (terre et eau) peut être maintenu à un niveau acceptable par le biais de programmes de communication adéquats. Même si le niveau de contamination est plus élevé que celui des films industriels et commerciaux, la bonne qualité des produits de recyclage (susceptibles de remplacer le matériau vierge dans des applications spécifiques) compense ces aspects négatifs sur le plan du profil environnemental qui devient neutre pour le recyclage mécanique des films agricoles à l'échelle européenne.

C-1-9 Conclusion

La formation des agriculteurs au moyen de programmes de communication efficaces a eu pour résultat, dans différents pays, l'apparition de flux de déchets de films agricoles avec un niveau de contamination modéré. Un tel matériau peut être collecté et recyclé mécaniquement d'une manière plutôt efficace à condition qu'un soutien financier soit apporté de la part des producteurs ou des négociants de films. La bonne qualité des produits de recyclage suscite une demande qui constitue un aspect très positif pour cette activité orientée par le marché. La législation constitue un autre stimulant pour un système de recyclage efficient et parfois même une condition indispensable.

Tableau IV : Facteurs de progrès / de blocage dans le recyclage des films agricoles.

Thèmes	Facteurs de progrès	Facteurs de blocage
Economique	<ul style="list-style-type: none"> • Système de contributions bien organisé • Augmentation de la taxe de mise en décharge • Disponibilité de marchés secondaires suffisants • Déclaration d' «engagement» pour payer la taxe d'enlèvement • Prix élevés pratiqués par les compagnies de gestion des déchets au Royaume-Uni 	<ul style="list-style-type: none"> • Les exportations vers les pays à bas salaires influencent le prix des matériaux recyclés • Forts coûts d'élimination et de traitement des résidus du processus de recyclage (terre, sable) • Prix peu élevés et fluctuations au niveau des plastiques vierges et des matériaux recyclés • Export vers les pays voisins où ils sont utilisés comme source d'énergie
Juridique, gouvernemental	<ul style="list-style-type: none"> • Règlement rigoureux pour la collecte et le recyclage, c à d interdiction de mise en décharge • Normes d'application des matériaux recyclés et définitions des déchets (pour assurer une qualité régulière et pour améliorer l'image des matériaux recyclés) • Responsabilité des fabricants pour la destruction et la réutilisation de ces produits après usage • Déclaration d' «engagement» pour rejoindre le système convenu pour la collecte et le recyclage des films agricoles (c. f Folined) 	<ul style="list-style-type: none"> • Législation internationale incohérente en ce qui concerne les systèmes de collecte (En Suède et au Danemark, il n'y a pas de système équivalent au système norvégien) • Restrictions sur le transport transfrontalier • Lacunes dans la législation : sans ligne de conduite législative, la réalisation prend beaucoup de temps • La mise en vigueur de la législation ou le contrôle de la conformité avec la législation ne sont pas toujours claires • Dérogations à la Déclaration d' «engagement général» facilement délivrées par le Ministre de l'Environnement pour certaines compagnies
Social	<ul style="list-style-type: none"> • Existence d'une structure institutionnelle et administrative (comme garant et lien entre les textes et les problèmes réels) • Bonne communication entre les parties concernées : fabricants, agriculteurs et compagnies de recyclage • Opinion publique positive • Participation active dans la réalisation de solutions locales (chambres d'agriculture) • Bonne chaîne de coopération entre les parties concernées (fabricants, secteurs agricoles et organismes de recyclages) 	<ul style="list-style-type: none"> • Absence de soutien de la part des fabricants dans certains pays • Trop d'acteurs dans la chaîne de recyclage
Organisationnel	<ul style="list-style-type: none"> • Les infrastructures locales et nationales de collecte peuvent être utilisées • Pas de notion de propriété pour les matériaux : l'organisation est libre de choisir l'origine de la collecte, afin d'atteindre une efficacité maximale • Disponibilité d'une capacité de recyclage suffisante • Pas d'émission dans l'air provenant du procédé de recyclage • Si absence de contaminants spécifiques (pesticides), les résiduels peuvent être déposés dans les champs (dans certains pays uniquement - lié à la politique nationale) 	<ul style="list-style-type: none"> • Evolution des films en films plus minces, plus difficiles à recycler • Grandes distances entre les fermes et les dépôts locaux dans certaines régions

C-2 Analyses des systèmes de recyclage des profilés pour fenêtres en PVC

C-2-1 Introduction

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.

En Allemagne, un système a été établi à l'échelon national avec le soutien de l'industrie des profilés pour fenêtres. Après collecte, les profilés sont traités dans des usines spécialisées. Fondée en 1993 l'une de ces usines, VEKA recycle aujourd'hui 5 000 tonnes de profilés usagés en PVC pour fenêtre par an (dont une partie est importée des pays d'Europe).

En Hollande un système semblable a été mis en place avec le soutien financier du secteur de production. La fondation pour le recyclage émanant de l'association des producteurs de fenêtres et de profilés en plastique (SRVKG) est en mesure d'organiser l'ensemble du système de recyclage. Ce système fonctionne depuis 1996 et durant la période de juillet 1996 à avril 1998, 70 tonnes de profilés usagés en PVC pour fenêtre, à l'exclusion du verre, ont été collectées. En 1999, 39 tonnes de profilés usagés en PVC pour fenêtre ont été collectées.

En Belgique, une solution a été trouvée pour les châssis de fenêtres, les volets mécaniques et autre matériel de construction en PVC. Les gestionnaires de parcs à conteneurs communaux ou de PME ainsi que ceux des installations de tri de déchets peuvent déposer gratuitement leurs déchets de tuyaux et profilés, en matières plastiques rigides, auprès de la société RULO à Hérisson-lez-Pecq, une société spécialisée dans le recyclage du PVC. En opérant de la sorte, ils épargnent le coût de l'enfouissement ou de l'incinération de ces déchets. RULO et FECHIPLAST, l'association belge qui regroupe les transformateurs de matières plastiques, garantissent que les matériaux ainsi récupérés seront recyclés et transformés en produits à haute valeur ajoutée, pour le secteur du bâtiment.

C-2-2 Description du système de recyclage

VEKA retraite des profilés issus des systèmes de collecte de France, d'Allemagne, de Suisse, d'Autriche, de Hollande et du Danemark. La fréquence de collecte est variable et les fenêtres (essentiellement récupérées lors de démolitions) sont collectées dans des conteneurs par des sociétés spécialisées dans la collecte de déchets. Plus de 700 producteurs de fenêtres et un certain nombre de sociétés de récupération fournissent 15 000 tonnes de profilés usagés en PVC pour fenêtre par an, dont un tiers usagé et le reste provenant de déchets de production. Les fabricants de fenêtres en PVC, signataires d'un Eco-contrat avec VEKA fournissent leurs profilés démodés ou obsolètes ainsi que les chutes, les autres déchets de production et les

pièces refusées à l'usine VEKA. Pour le reste, l'usine est alimentée par des services de conteneurs qui fournissent des fenêtres en fin de vie y compris l'acier et le verre. Le réseau de points de collecte s'accroît constamment. L'usine de recyclage VEKA traite des fenêtres complète d'une manière entièrement automatique. Les différents postes de traitement de la ligne sont les suivants :

- *Alimentation de la ligne*
- *Pré-broyage*
- *Séparation des métaux ferreux*
- *Trommel de calibrage*
- *Séparateur de métaux non-ferreux*
- *Séparateur des caoutchoucs*
- *Criblage*
- *Séparation du bois*
- *Séparation du verre*
- *Séparation finale des métaux*
- *Broyage et lavage*
- *Tamisage et séparation des résidus de caoutchouc*
- *Séparation par couleur*
- *Stockage*

VEKA, en tant que fabricant de profilés PVC pour fenêtre, utilise 90% du PVC régénéré par Veka UT. Le PVC recyclé est principalement utilisé dans la fabrication de nouveaux profilés. Il est incorporé par co-extrusion et représente la partie interne du nouveau profilé. La surface, partie visible avec aspect brillant, est obtenue à partir d'une couche de PVC vierge. Les 10% restants sont vendus à des petits fabricants de profilés et autres structures.

En Hollande, les fenêtres démontées et exemptes de verre sont rassemblées dans des conteneurs. Les profilés collectés sont acheminés vers 9 sites de tri puis, les fractions triées sont transportées vers 5 sociétés de recyclage parmi lesquelles VEKA UT.

C-2-3 Aspects économiques

Compte tenu de la bonne qualité des PVC recyclés, l'utilisation de ce matériau dans la fabrication de nouveaux produits ne pose aucun problème. La plus grande partie de la fraction recyclée est appliquée à la production de nouveaux profilés pour fenêtres (système en boucles fermées).

Le prix de vente se situe à 70-80% du prix du matériau vierge. Celui-ci est trop faible pour couvrir les coûts élevés de collecte et de traitement, et par conséquent la chaîne est déficitaire. Ce déficit est évalué à 50-130€ par tonne en Allemagne et autour de 135€ par tonne en Hollande. Le déficit lié au faible niveau des prix du matériau vierge doit être compensé par une contribution des différents producteurs. D'autres acteurs, ceux de la filière de recyclage, doivent être payés pour leurs activités (ceci concerne les démanteleurs, la société de tri, la société de transport et le recycleur).

En Allemagne les coûts de collecte sont de 50€ par tonne et en Hollande de 45€ par tonne. En Hollande, les coûts supplémentaires pour le tri sont de 70€ par tonne et le coût de transport vers le recycleur de 45€ par tonne ; le tri produit des bénéfices de 45€ par tonne. Les coûts de traitement en Allemagne sont de 460€ par tonne et en Hollande de 450€ par tonne. Le total

des bénéfiques de la fraction hollandaise s'élève à 380€par tonne et VEKA annonce un prix du marché de 600-700€par tonne.

En Allemagne aussi bien qu'en Hollande une contribution pour chaque nouvelle fenêtre est nécessaire pour le fonctionnement du système, parce que les coûts de reprise ajoutés à ceux du recyclage sont plus élevés que les bénéfiques. Les coûts de reprise sont relativement élevés parce que différentes activités doivent être réalisées : démontage, collecte, tri/nettoyage, transport vers la société de recyclage. Les coûts de traitement sont élevés à cause du caractère complexe du processus de recyclage, qui permet la séparation de toute une gamme de matériaux différents et dont le PVC ne représente qu'une partie. On ne peut envisager de réduire facilement ces coûts. Les coûts ne pourraient être réduits qu'avec un volume traité plus important et la mise en œuvre de structures de reprises plus optimales.

Aujourd'hui, comme nous l'avons déjà mentionné, les quantités collectées et traitées de profilés usagés en PVC pour fenêtre sont relativement faibles. Le profilé en PVC pour fenêtre est un produit relativement nouveau et seules des quantités limitées de profilés en fin de vie sont générées. Ces quantités s'accroîtront probablement à l'avenir. L'objectif futur pour VEKA est de recycler 30 000 tonnes par an. Aujourd'hui 60 000 tonnes par an deviennent accessibles en Europe de l'Ouest avec une prévision de près de 150 000 tonnes par an en 2010 et de près de 290 000 tonnes par an en 2020. On peut en conclure que ces quantités croissantes devraient permettre de réaliser des systèmes de recyclage plus optimaux à l'avenir, non seulement en Allemagne mais également dans d'autres pays.

C-2-4 Aspects légaux et gouvernementaux

En mars 2000, l'industrie du PVC a pris les devants face aux campagnes anti-PVC des associations environnementales, en publiant un Engagement Volontaire. Celui-ci regroupe à la fois les producteurs de PVC, les producteurs d'additifs et les transformateurs qui sont représentés par leurs associations professionnelles respectives : ECVM (conseil européen des fabricants de produits vinyliques), ECPI (conseil européen des plastifiants et des produits intermédiaires), ESPA (association des fabricants européens de stabilisants) et EUPC (association européenne des transformateurs de matières plastiques). Cette démarche repose sur le programme Responsible Care® qui débouche sur un système de surveillance des produits. L'industrie s'engage par principe à lancer une série d'actions jusqu'en 2010. Au cours de cette période, des objectifs sont fixés tous les cinq ans. L'état d'avancement de ces projets sera vérifié en 2003 puis en 2008 de manière à réviser les objectifs pour prendre en compte les évolutions technologiques et les suggestions des parties prenantes. Plus concrètement, depuis 2001, l'industrie a supprimé le cadmium de ses additifs. D'ici 2005, le secteur s'engage à réduire le plomb. En 2003, le taux de recyclage des déchets PVC est fixé à 25% et passera à 50% en 2005. Cela concerne à la fois les tubes et les raccords mais aussi les châssis de fenêtres.

L'Engagement Volontaire prévoit que les quantités totales de déchets de PVC recyclés atteindront 200 000 tonnes en 2010, sans compter les déchets industriels.

Si le recyclage ou la réutilisation en interne des chutes de production PVC ne pose pas de réels problèmes, l'industrie du PVC se penche en revanche sur le cas des déchets post-consommation, générés lors de la déconstruction ou de la rénovation. C'est à ce titre que s'est créée, en 2001, la structure syndicale pour le recyclage des déchets en PVC rigide, PVC Recyclage. Dans le cadre de l'Engagement Volontaire, elle s'inscrit dans le lancement d'une vaste opération nationale dont l'objectif est de développer la collecte des déchets PVC issus de châssis ou de réseaux de canalisation en vue de leur recyclage mécanique. Cette démarche est

réalisée parallèlement dans deux autres pays : l'Espagne et l'Allemagne. Pour chacun d'eux, des programmes de collecte et de recyclage ont été instaurés jusqu'en 2005.

C-2-5 Aspects sociaux

Du fait de l'existence d'anciens lobbies "anti-PVC" représentés essentiellement par les groupes écologistes, visant à décourager l'utilisation de PVC dans la fabrication de produits, l'industrie du PVC a pris l'initiative de réaliser des filières de recyclage pour des groupes de produits spécifiques avec pour objectif de boucler la boucle. Ceci a entraîné une diminution de la pression exercée par la société civile et même la transformation de cette pression en une attitude positive de la part du grand public. Le fait que l'industrie ait pris ses propres responsabilités a eu un impact positif. Les producteurs de fenêtres ont organisé la structure institutionnelle et administrative et les autres acteurs de la chaîne assurent l'organisation pragmatique de l'ensemble du système de recyclage (boucle fermée). La disponibilité actuelle de PVC mis au rebut est toujours relativement faible mais avec la future coopération de dépositaires / démantelers un accroissement des quantités collectées et recyclées est à envisager pour l'avenir.

C-2-6 Aspects organisationnels

La structure logistique de retour a été bien organisée et la capacité de traitement est suffisante. A l'heure actuelle, les faibles quantités de profilés de fenêtres usagées en PVC collectées sont traitées avec d'autres fractions de profilés en PVC pour fenêtres tels que les chutes de montage et les déchets de production. Il est à prévoir que les profilés usagés en PVC pour fenêtres seront bientôt disponibles en quantité suffisante pour répondre à la capacité de recyclage. Il en résultera une plus grande efficacité de l'ensemble du processus de recyclage à des coûts plus faibles. En initiant de nouvelles activités de recyclage dans d'autres pays on pourrait collecter différents produits en PVC en fin de vie, tels que des canalisations, des fenêtres, des câbles, etc. La collecte conjointe de profilés usagés en PVC pour fenêtres et d'autres composants issus des déchets de démolition, pourra contribuer à la baisse des coûts de collecte.

C-2-7 Matrices des facteurs de progrès / de blocage et critères décisifs

Une analyse croisée des différents aspects (économique, juridique, social et organisationnel) de la collecte et du recyclage des profilés de fenêtres en PVC nous permet d'élaborer une liste des facteurs de progrès et de blocage en jeu (voir le tableau V).

Sur la base des informations contenues dans les paragraphes précédents et du résumé des facteurs de progrès / de blocage, les critères décisifs pour la mise en œuvre d'un système de recyclage des profilés de fenêtres en PVC ont été identifiés et pondérés selon la procédure décrite dans la partie "méthodologie" de ce rapport (voir ANNEXE III).

C-2-8 Considérations relatives au profil environnemental

D'une manière générale le recyclage des profilés usagés en PVC pour fenêtres contribue fortement à fermer la boucle dans la chaîne de fabrication de ce produit. L'application de ressources secondaires dans des nouveaux produits entraîne une diminution des nouvelles ressources et de l'énergie ainsi que des quantités de déchets émises. Le système logistique de

retour bien organisé et présentant un faible niveau de contamination ainsi que des débouchés satisfaisants, contribuent ensemble à un profil environnemental positif du système de recyclage des profilés usagés en PVC pour fenêtres.

C-2-9 Conclusions

Le tableau d'ensemble des facteurs, spécialement pour ce qui concerne la coopération de filière et de secteur, est positif pour ce système de recyclage. Lorsque l'industrie peut soutenir financièrement les activités de collecte et de recyclage, le déficit de la chaîne peut être compensé. La qualité des produits recyclés est bonne et ceux-ci font l'objet d'une demande beaucoup plus importante que la quantité offerte. Les résultats des considérations relatives au profil écologique montrent que sur le plan environnemental le recyclage des profilés usagés en PVC pour fenêtres constitue une option favorable.

Tableau V : Facteurs de progrès / de blocage dans le recyclage des profilés de fenêtres en PVC.

Thèmes	Facteurs de progrès	Facteurs de blocage
Economique	<ul style="list-style-type: none"> • Contributions sur les produits en PVC pour la collecte et le recyclage • Subventions régionales • Débouchés existants pour les matières recyclées 	<ul style="list-style-type: none"> • Les exportations vers les pays à bas salaires déterminent le prix des matériaux recyclés • Prix peu élevés et fluctuations au niveau des polymères vierges. • Coûts de collecte, de transport et de recyclage relativement élevés
Légal, gouvernemental	<ul style="list-style-type: none"> • Normes d'application des matériaux recyclés et définitions des déchets (pour assurer une qualité régulière et pour améliorer l'image des matériaux recyclés). • Interdiction de mise en décharge • Menaces de législation • Politique active des gouvernements (dans le cadre de la politique sur le PVC) 	<ul style="list-style-type: none"> • Manque d'harmonisation entre les différents états membres • Restrictions sur le transport transfrontalier
Social	<ul style="list-style-type: none"> • Fortes pressions sur le recyclage des déchets à base de PVC. • Fortes implications des producteurs de profilés dans la collecte et le recyclage • Bonne organisation des systèmes existants • Lobbies anti-PVC stimulent les initiatives de recyclage • Opinion publique positive sur la collecte et le recyclage 	<ul style="list-style-type: none"> • Difficultés de communication dans le domaine du BTP pour convaincre de trier les déchets • Absence de politique locale pour contrôler la collecte et le transport vers les sites de traitement
Organisationnel	<ul style="list-style-type: none"> • Bonne qualité des matières recyclées • Disponibilité d'une capacité de recyclage suffisante • Existence d'infrastructure opérationnelle • Réseau de distributeurs et infrastructure de collecte imbriqués 	<ul style="list-style-type: none"> • Faibles quantités de profilés usagés : gisements en croissance régulière • Gisements très dispersés pour un seul site de traitement

C-3 Analyses des systèmes de recyclage des pare-chocs automobiles

C-3-1 Introduction

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.

En Hollande, l'organisation Auto Recycling Nederland (ARN) soutient le démontage d'une grande variété de pièces dans le but d'en récupérer les matériaux. L'une des conditions préalables à ce démontage sélectif est l'existence d'un marché pour ces matériaux secondaires. Ceci vaut pour les pare-chocs en PP (Polypropylène) prélevés sur les véhicules en fin de vie. Après broyage, le plastique secondaire est utilisé directement en injection, ou après granulation.

En Allemagne TARGOR GmbH, une « joint-venture » entre BASF et HOECHST, utilise des granulés secondaires en PP pour la production de toute une gamme de produits incluant certaines applications du secteur automobile.

L'organisation CARE (Consortium for Automotive Recycling) au Royaume Uni a été créée en 1995 par un groupe de producteurs de véhicules. En étroite coopération avec plusieurs projets pilotes, tous les aspects du démontage ainsi que le recyclage correspondant ont été étudiés. Au cours des deux premières années de l'opération (1996 et 1997) CARE a étendu son réseau de « casseurs » à 30 sociétés affiliées. L'objectif principal était une croissance constante de la réutilisation et du recyclage des composants et des matériaux issus des véhicules en fin de vie. L'un des projets pilotes mis en œuvre par le consortium concernait les recherches en matière de recyclage des pare-chocs en Polypropylène, englobant tous les différents aspects tels que la collecte, le broyage et le recyclage.

En France, il n'existe pas, aujourd'hui, de filière de recyclage spécifiquement dédiée aux pare-chocs de voitures. On peut toutefois parler de filière de recyclage du polypropylène (PP). La difficulté principale de cette filière est la dispersion du gisement au travers de ses nombreuses applications. Toutefois, les plus gros tonnages se retrouvent dans le secteur de l'automobile. Les pièces concernées sont :

- les pare-chocs de véhicules accidentés ou en fin de vie,
- les carcasses de batteries automobiles.

Après préparation et régénération, le polypropylène est principalement repris par le secteur de l'automobile dans la fabrication de produits finis (passages de roues, pièces sous capot, conduites de câbles, absorbeurs de chocs, boîtiers de chauffage, pièces de tableau de bord,...).

C-3-2 Description du système de recyclage

Au niveau de la "casse" les véhicules en fin de vie sont démontés et les pare-chocs sont ôtés. Après démontage, les pare-chocs sont triés en fonction du matériau brut qui les constitue, car les pare-chocs peuvent avoir une composition différente suivant les marques.

En Hollande, seuls les pare-chocs en PP sont triés et déchiquetés sur deux sites. Le déchiquetage augmente la rentabilité du transport vers les entreprises de recyclage. L'entreprise de recyclage effectue le broyage, la séparation des impuretés et des métaux résiduels, ainsi que le lavage et le séchage. La regranulation et le compoundage sont réalisés soit par l'entreprise de recyclage soit par un compoundeur, par exemple TARGOR. Les granulés de grades spécifiques sont ensuite vendus à une grande variété d'industries finales.

A titre indicatif, CARE fournit le bilan économique de toutes les activités :

	£/tonne	Euro/tonne 1£ = 0.6 €
Démontage/ tri	100-150	160-240
Transport	50	80
Granulation, séparation	130	210
Extrusion / compounding	185	295
Livraison / emballage	50	80
TOTAL	515-565	825-905

Les coûts sont relativement élevés ce qui implique que le prix du matériau secondaire soit également élevé pour compenser les coûts.

En France, l'élimination d'un véhicule hors d'usage comprend sa dépollution, l'extraction de pièces en vue du recyclage ou réemploi, le broyage et tri des matériaux issus des pièces non extraites.

➤ *La dépollution des VHU*

La dépollution des VHU consiste à récupérer, avant toute opération de démontage, l'ensemble des produits polluants pour l'environnement (carburants, huiles, liquides de freins et de refroidissement, batterie, pot catalytique).

Cette dépollution doit se faire sur une aire de travail spécifiquement conçue, devant respecter une réglementation très précise : tout stockage de VHU d'une surface supérieure à 50 m² est soumis à une autorisation préfectorale.

➤ *L'extraction des pièces*

L'extraction des pièces nécessite un traitement différencié des produits et organes, condition souvent indispensable à un recyclage efficace.

Les pièces extraites sont soit revendues pour le marché de l'occasion en France ainsi que pour certains pays étrangers, soit rénovées en pièces de réemploi.

Le réemploi revêt différentes formes :

- le réemploi de pièces rénovées à neuf, c'est à dire de pièces d'origine reconditionnées en usine avec changement systématique de toutes les pièces d'usure et remplacement par des pièces d'origine ou équivalentes à l'origine,
- le réemploi de pièces rénovées adaptables, de pièces reconditionnées en usine avec changement de pièces d'usure et remplacement par des pièces qui peuvent ne pas être équivalentes à l'origine,
- le réemploi de pièces réparées, c'est à dire de pièces réparées avec changement des pièces défectueuses mais sans changement systématique des pièces d'usure.

La mention " échange standard " ne peut être utilisée que pour désigner les pièces remises en état par le fabricant lui-même ou dans un atelier qu'il a agréé à cet effet. (Décret n°78993 du 4 octobre 1978, article 4).

➤ *Les pièces non extraites*

Les pièces non extraites (les carcasses) sont broyées. Il existe 47 sites de broyage déchetage en France dont 44 sont représentés par FEDEREC.

Après broyage, les fractions métalliques ferreuses et non ferreuses sont triées par différents procédés et recyclées. Les résidus de broyage (partie non triée) comprennent des composés organiques (mousses, plastiques, caoutchouc) et minéraux (verre, résidus métalliques) qui étaient jusqu'à lors enfouis. Leur séparation et leur utilisation est un des enjeux du recyclage et est rendu indispensable par l'engagement pris dans le cadre de l'accord cadre de valoriser plus de 75% de la fraction métallique.

Afin de répondre aux objectifs de l'accord-cadre du 10 mars 1993 sur le retraitement des véhicules hors d'usage, la Branche Démolisseurs du CNPA (Conseil National des Professions de l'Automobile) a développé depuis 1994 une démarche Qualité adaptée aux entreprises de démolition automobile : la Certification de services "Traitement des V.H.U."

Les entreprises de démolition automobile certifiées par Qualicert s'engagent à respecter les caractéristiques certifiées du référentiel "traitement de V.H.U" n° RE/DEM/02 de la Branche Démolisseurs du CNPA.

Cette certification comprend le respect de l'environnement (dépollution des véhicules, récupération des déchets issus de la dépollution, recyclage et valorisation des composants du VHU) ainsi qu'un enregistrement et suivi complet des véhicules.

En 1997, environ 500 entreprises de démolition en France étaient certifiées Qualicert.

➤ *Les gestionnaires-distributeurs*

Afin de bien identifier les points d'entrée de la chaîne de traitement ainsi que les opérateurs retraitant les VHU en aval de ces points d'entrée, il existe en France des gestionnaires-distributeurs : INDRA, ECOVHU, VALORAUTO.

Ces gestionnaires sont des offreurs de services qui ne procèdent aucunement à la logistique. Ils ont un rôle d'interface entre les constructeurs et les démolisseurs et suivent sur le terrain une partie de la filière, en amont de la chaîne de traitement des VHU, avec des conseillers techniques auprès des démolisseurs et un suivi des actions de dépollution et de désassemblage.

➤ *Respecter la réglementation c'est notamment...*

- être titulaire d'une autorisation d'exploiter et appliquer toutes les prescriptions techniques qui y sont prévues, conformément à la loi du 19 juillet 1976 sur les Installations Classées,
- gérer et éliminer correctement ses déchets conformément à la loi du 15 juillet 1975 modifiée par la loi du 13 juillet 1992 relative à l'élimination et à la récupération des matériaux.

C-3-3 Aspects économiques

La qualité des matériaux secondaires est suffisante pour atteindre un certain nombre de débouchés. Les marchés potentiels existent notamment pour l'industrie de la chaussure (fabrication de talons) et le secteur automobile (passages de roues et autres pièces cachées). Les matériaux peuvent également être mélangés avec du polypropylène vierge pour atteindre des niveaux de qualités qui satisferont aux exigences plus pointues de l'industrie automobile. Le prix du polypropylène copolymère grade injection, se situe aujourd'hui (08/2002) autour de 850 à 900 €/ tonne. Cela signifie qu'en l'occurrence les coûts de traitement et les prix du matériau vierge sont très rapprochés.

En Hollande, une taxe est payée par les consommateurs (+/- 70 € en 1999 pour chaque première immatriculation d'un véhicule de plus de 3,5 tonnes) permettant ainsi la constitution d'un fonds de soutien au recyclage des pare-chocs en PP. Le démontage est de plus en plus efficace et a pour effet de réduire les coûts. Le déchiquetage préalable des pare-chocs a été mis en œuvre en 1999, ce qui a entraîné une diminution des coûts de transport et la possibilité d'approvisionner un nombre plus important d'entreprises de recyclage (le déchiquetage permet d'envisager le transport sur des distances plus longues). Les revenus du recyclage dépendent des prix du marché et l'approvisionnement d'un plus grand nombre de recycleurs stimule la concurrence. La baisse des coûts de recyclage entraîne un accroissement des bénéfices et par conséquent une diminution du montant des taxes : cela se produit à travers l'amélioration de la qualité des granulés qui peuvent alors être commercialisés pour des applications avancées.

Il est possible de conclure que l'augmentation des quantités recyclées contribuera positivement à la réalisation de systèmes de recyclages optimaux à l'avenir.

C-3-4 Aspects légaux et gouvernementaux

En Hollande le gouvernement et la filière de recyclage des véhicules en fin de vie se sont fixé pour but de recycler 86% de tous les matériaux des épaves à partir de l'année 2000 et d'augmenter le niveau de recyclage au cours des années suivantes. ARN portera ses objectifs à 95% en 2015 (avec un minimum de 85% par recyclage mécanique et 10% par valorisation énergétique). Les pare-chocs sont des pièces de grandes dimensions faciles à démonter et à recycler. Par conséquent ils peuvent contribuer à la réalisation des objectifs de recyclage mécanique. La Directive Européenne pour les voitures hors d'usage, qui a pris pour modèle l'accord hollandais, fixe également un objectif de recyclage de 95% en 2015. Dans cette perspective une augmentation des quantités de pare-chocs à traiter est attendue à l'échelle européenne.

On estime qu'entre 1,2 et 1,6 millions de véhicules hors d'usage (VHU) sont générés chaque année en France (pour plus de 2 millions de véhicules neufs vendus en 1999 et 2000) ce qui

représente de 1,1 à 1,4 millions de tonnes de déchets. Devant l'enjeu environnemental que représente la bonne élimination de ces produits en fin de vie, un Accord-Cadre a été signé le 10 mars 1993 avec les différents acteurs de la filière automobile. Les signataires (les Pouvoirs publics représentés par le Ministère de l'Environnement et le Ministère de l'Industrie, les démolisseurs représentés par le Conseil National des Professions de l'Automobile, les constructeurs automobiles et tous les autres professionnels de la filière automobile) se sont engagés à limiter progressivement le poids de déchets ultimes issus du traitement des VHU.

La directive européenne VHU du 21 octobre 2000 devait être transposée en droit national au plus tard en avril 2002. Cette directive introduit la responsabilité des producteurs, tant en amont de la chaîne de production des véhicules (concernant la prévention) qu'en aval (collecte et traitement des VHU). Cette directive prévoit notamment la réutilisation et la valorisation des composants avec un objectif en 2006 de 85% de valorisation totale dont 80% du poids moyen du véhicule recyclé ou réutilisé. Actuellement, en France, le taux moyen de recyclage d'un VHU est de l'ordre de 75%. L'accord-cadre vise à limiter la mise en décharge en 2002 à 15% du poids du véhicule avec un plafond de 200 kilogrammes et, à terme, à limiter la mise en décharge à 5%. Actuellement, 75% du poids total, essentiellement la fraction métallique, fait l'objet d'un retraitement ce qui place l'automobile parmi les produits les plus recyclés.

C-3-5 Aspects sociaux

Le système originel de recyclage automobile repose sur le démontage d'épaves et sur le recyclage des métaux. La vente de pièces réutilisables est devenue au long des années un pilier important de la structure économique de cette activité aussi bien pour des raisons économiques que pour des raisons législatives, dans la mesure où le recyclage d'autres matériaux est venu s'ajouter aux activités existantes. Cela vaut également pour le recyclage mécanique de parties spécifiques en plastiques rendu possible par la mise en place de la structure organisationnelle requise.

En Hollande les acteurs de la chaîne automobile ont organisé une structure institutionnelle et administrative en créant ARN. Cette structure s'est avérée capable de gérer l'ensemble du système tout en répondant aisément aux exigences initiales de la directive européenne (2006) y compris le recyclage de pièces spécifiques en plastique telles que les pare-chocs en PP. Le système est accepté par la société civile. Le recyclage des pièces automobiles en plastique est largement soutenu par le secteur de production et de recyclage des matières plastiques.

C-3-6 Aspects organisationnels

Dans le cadre d'un réseau de démontage optimisé la collecte et le tri des pare-chocs est envisageable sans grandes contraintes. Il en va de même pour le broyage des fractions de pare-chocs triées dans la mesure où le broyage d'une grande variété de produits plastiques est une pratique courante. Compte tenu de la quantité relativement faible de ce type de déchets plastiques, la capacité d'extrusion est concentrée en quelques endroits en Europe, ce qui entraîne des coûts élevés. Lorsque les quantités à traiter augmentent les coûts de recyclage diminuent. Ceci concerne également le cas où d'autres produits en fin de vie (même en provenance d'autres secteurs) fabriqués en PP de même grade sont traités ensemble. C'est le cas, par exemple en France de la société C2P. L'activité de C2P est étroitement liée à celle de Metaleurop, dont elle partage une partie des locaux. Dans les usines de Metaleurop les

batteries sont broyées et le plomb affiné. Dirigés vers C2P, les broyats des bacs plastiques des batteries représentent la première source d'approvisionnement de C2P, soit environ 60% de son activité ; le reste étant représenté par le recyclage des pare-chocs de voitures.

La présence de couches de peinture et le fait que des PP de différents grades et compounds (PP / EPDM) soient utilisés pour la production de pare-chocs peuvent avoir une influence négative sur le système de recyclage (facteur bloquant). Le traitement du problème de la peinture sur les pare-chocs constitue une étape supplémentaire dans le processus de recyclage de ces déchets. Des quantités plus importantes de matériaux peints seront disponibles dans les années à venir, du fait de l'apparition de ce type de produits quasiment sur l'ensemble du parc automobile. Sur le plan technologique ces problèmes ne sont pas insolubles mais le processus deviendra plus onéreux.

C-3-7 Matrices des facteurs de progrès / de blocage et critères décisifs

Une analyse croisée des différents aspects (économique, juridique, social et organisationnel) de la collecte et du recyclage des pare-chocs automobiles nous permet d'élaborer une liste des facteurs de progrès et de blocage en jeu (voir le tableau VI).

Sur la base des informations contenues dans les paragraphes précédents et du résumé des facteurs de progrès / de blocage, les critères décisifs pour la mise en œuvre d'un système de recyclage des pare-chocs automobiles ont été identifiés et pondérés selon la procédure décrite dans la partie "méthodologie" de ce rapport (voir ANNEXE III).

C-3-8 Considérations relatives au profil environnemental

D'une manière générale le recyclage des pare-chocs automobiles présente un aspect positif d'un point de vue environnemental, particulièrement dans le cas d'un recyclage conduisant à un matériau de haute qualité (remplacement de matériaux vierges dans le secteur automobile) et mieux encore lorsque la boucle du produit peut être bouclée par l'utilisation des produits recyclés dans de nouveaux pare-chocs (en mélange avec des résines vierges par exemple). L'application de ressources secondaires dans de nouveaux produits entraîne une diminution de la consommation de ressources naturelles et d'énergie ainsi que le volume de pollution et de déchets.

C-3-9 Conclusions

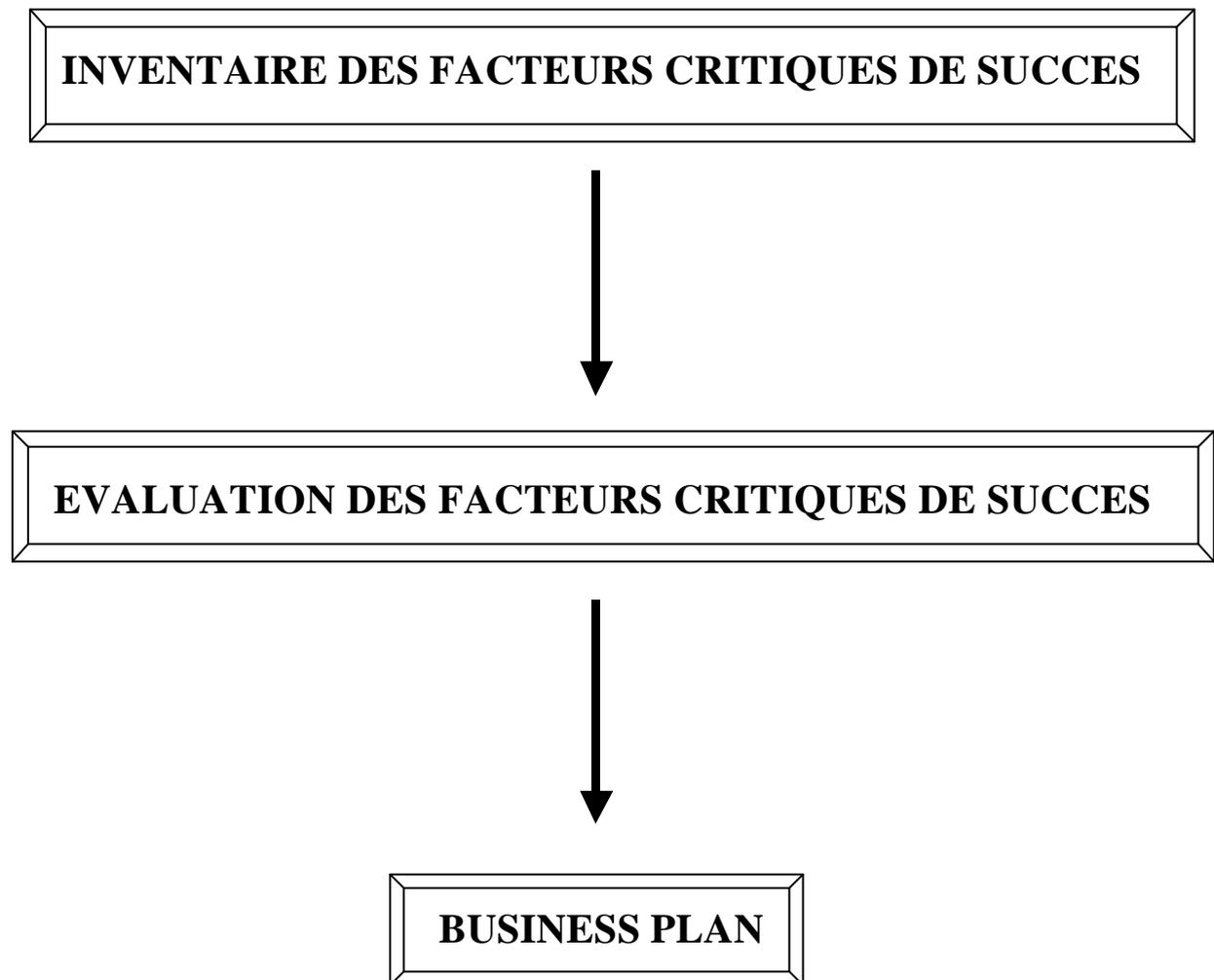
La vue d'ensemble des facteurs de progrès / blocage, plus particulièrement en ce qui concerne la coopération de la chaîne, la participation des détenteurs et les marchés disponibles, est positive pour ce système de recyclage. Une coopération entre la chaîne automobile et le secteur des matières plastiques existe. La qualité des produits recyclés est relativement intéressante et la demande pour ces produits est croissante. Le résultat des considérations sur le profil environnemental montre que le recyclage des pare-chocs automobiles constitue une option favorable d'un point de vue environnemental.

Tableau VI : Facteurs de progrès / de blocage dans le recyclage des pare-chocs automobiles.

Thèmes	Facteurs de progrès	Facteurs de blocage
Economique	<ul style="list-style-type: none"> • Prélèvements (chez le consommateur) pour établir des fonds destinés à stimuler le recyclage • Autre activité liée (ex Galloo Plastics) • Avec une taxe, le recyclage est moins dépendant des prix du marché des plastiques vierges 	<ul style="list-style-type: none"> • Forts coûts de démontage • Coûts de traitement des résidus du recyclage
Juridique, gouvernemental	<ul style="list-style-type: none"> • Directive UE pour les véhicules en fin de vie comme base pour un politique nationale • Normes d'application des matériaux recyclés et définitions des déchets (pour assurer une qualité régulière et pour améliorer l'image des matériaux recyclés). 	
Social	<ul style="list-style-type: none"> • Tous les acteurs de la chaîne sont présents dans le schéma de fin de vie des véhicules • Participation des constructeurs automobiles basée sur l'idée de « service pour nos clients » • Certification de toutes les activités des acteurs • Le système de recyclage hollandais est accepté par le public 	<ul style="list-style-type: none"> • Différences essentielles entre les différents pays comme Royaume -Uni, France, Hollande.
Organisationnel	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilité des sites de démontage • Disponibilité d'une capacité de recyclage suffisante • Existence de débouchés pour la matière secondaire 	<ul style="list-style-type: none"> • Différents types de plastiques en fonction des modèles de véhicules • Pare-chocs peints • Méthodes alternatives de traitement accessibles • Centres de traitement localisés sur quelques sites en Europe

III - OUTIL D'AIDE A LA DECISION

➤ Quelques étapes inéluctables...



Inventaire des facteurs critiques de succès :

- Inventaire des quantités de déchets accessibles non encore recyclées
 - nombre de détenteurs
 - quantité par détenteurs
 - étendue des détenteurs

- Inventaire du niveau de mélange des déchets plastiques à collecter
 - méthode de collecte existante
 - type de collecteur actif dans la région
 - volonté des détenteurs à séparer le flux concerné des autres déchets

- Inventaire des marchés
 - présence de sociétés de recyclage des matières plastiques dans la région
 - présence de réseau de commercialisation dans la région
 - possibilité de coopération avec des acteurs du recyclage pouvant vendre des matières recyclées

- Inventaire du niveau des coûts de recyclage de la future unité
 - détermination des coûts de collecte
 - estimation des coûts de traitement prévisibles (broyage, lavage, séparation, séchage...)
 - estimation des coûts de traitement des déchets issus du procédé
 - situation du prix des résines vierges

- Inventaire des possibilités de coopération de filières
 - inventaire des acteurs actifs régionaux
 - estimation des acteurs pouvant s'intégrer dans la mise en place d'une collecte
 - jugement des différentes options de coopération dans la filière

- Inventaire des possibilités de coopération dans le secteur concerné
 - extension du secteur dans la région concernée
 - possibilités de soutien financier du secteur dans la mise en place d'un système de collecte
 - si aucune organisation du secteur n'existe, possibilités d'initiatives de création ?

- Analyse de la disposition des détenteurs
 - existence réussie de filière de recyclage similaire dans la région
 - existence de coopération entre détenteurs et collecteurs
 - existence d'alternatives de stockage des déchets à faibles coûts

Evaluation des facteurs critiques de succès :

Au regard des facteurs critiques de succès, les points suivant devront être validés :

- Les **quantités** accessibles à collecter sont-elles suffisantes pour développer une filière ?
- Le **niveau de contamination** est-il acceptable et contrôlable ?
- Les **applications finales** existent-elles vraiment ?
- Les **coûts de traitement** (ou les déficits) pourront-ils être supportés par les acteurs de la filière ?
- Une **coopération dans la filière** peut-elle engendrer la mise en place de la collecte ?
- Le **secteur** concerné peut-il soutenir les initiatives ?

Business plan :

Pour confirmer la viabilité industrielle et commerciale d'une filière de recyclage, un business plan doit être développé.

ANNEXES

ANNEXE I : Références Bibliographiques

Généralités

- Perchards, "Packaging Legislation in Europe (Perchards), updates 17 September 1999 and 21 July 1999.
- Brandrup, 'Recycling and Recovery of Plastics', Dr. J. Brandrup, editor, Hanser Publishers, 1996, ISBN 3-446-18258-6.
- Etudes Eco Emballages, 'Le recyclage des emballages plastiques en Europe', Décembre 1998, avec l'aimable autorisation de M. Yvan Liziard, Département Recyclage, 44 Avenue Georges Pompidou, BP306, 92302 Levallois-Perret Cedex, France.

Analyse des systèmes de recyclage des bouteilles et flacons en PET

- 'PET recycling Europe, Supply/Demand Report', PCI PET Packaging, Resin & Recycling Ltd, fourth edition, 1999.
- PETCORE informations issues de brochures et internet.
- Recoup, informations issues d'internet.
- 'Collecting of Sorting Plastic Bottles; a comprehensive guide', PETCORE, P.O.Box 5227, 2000 CE Haarlem, The Netherlands, 1998.

Analyse des systèmes de recyclage des films industriels et commerciaux

- 'Extended producer responsibility in The Netherlands', information from internet by VMK, 1999.
- The Annual report 1998 of Plastretur A.S., P.O.Box 441 Skoyen, 0212 Oslo, Norway.
- VMK Impact brochure, June 1999 (in Dutch).
- 'Stretch wrap film recycling in the USA', report from Recyfilm, April 1999.
- Info Recyfilm: 65, Rue de Prony, 75854 Paris Cedex 17, France Telephone: +33 1 44 01 16 51, Fax: +33 1 47 54 01 92.

Analyse des systèmes de recyclage des emballages en PSE

- VMK, 'Infrastructuur: Inzameling kunststofverpakkingsafval uit de KWDI sectoren', a guide towards the collection infrastructure of plastics packaging waste in The Netherlands, provided by VMK, P.O. Box 420, 2260 AK Leidschendam, The Netherlands, December 1998 (in Dutch)
- EPS Verpakkingen en Ketenbeheer, Stybenex Verpakkingen, January 1994 (in Dutch)
- Documentation ECO-PSE, France
- Recycling Polystyrene and its environmental benefits- a life cycle analysis; Fact Sheet of British Plastics Federation, 6 Bath Place, Rivington Street, London EC2A 3JE, November 1996.
- Quelques liens utiles:
 - Europe: <http://www.epsrecycling.org>
 - United Kingdom: <http://www.eps.co.uk>

- France: <http://www.ecopse.fr>
- Norway: <http://www.plastretur.no>
- The Netherlands: <http://www.stybenexverpakkingen.nl>
- USA: <http://www.epspackaging.org>
- Japan: <http://www.jepsra.gr.jp>

Analyses des systèmes de recyclage des films agricoles

- 'Plastics recycling in practice', APME/PWMI brochure.
- 'La valorisation des déchets de plastiques agricoles', Comité des Plastiques en Agriculture, 65, Rue de Prony, 75854 Paris Cedex 17, France.
- 'Energy recovery of Greenhouse PE film: Co-combustion in a coal-fired power plant', Technical paper APME.
- Discussions avec Freddy Maréchal, APME, Brussels, Belgium

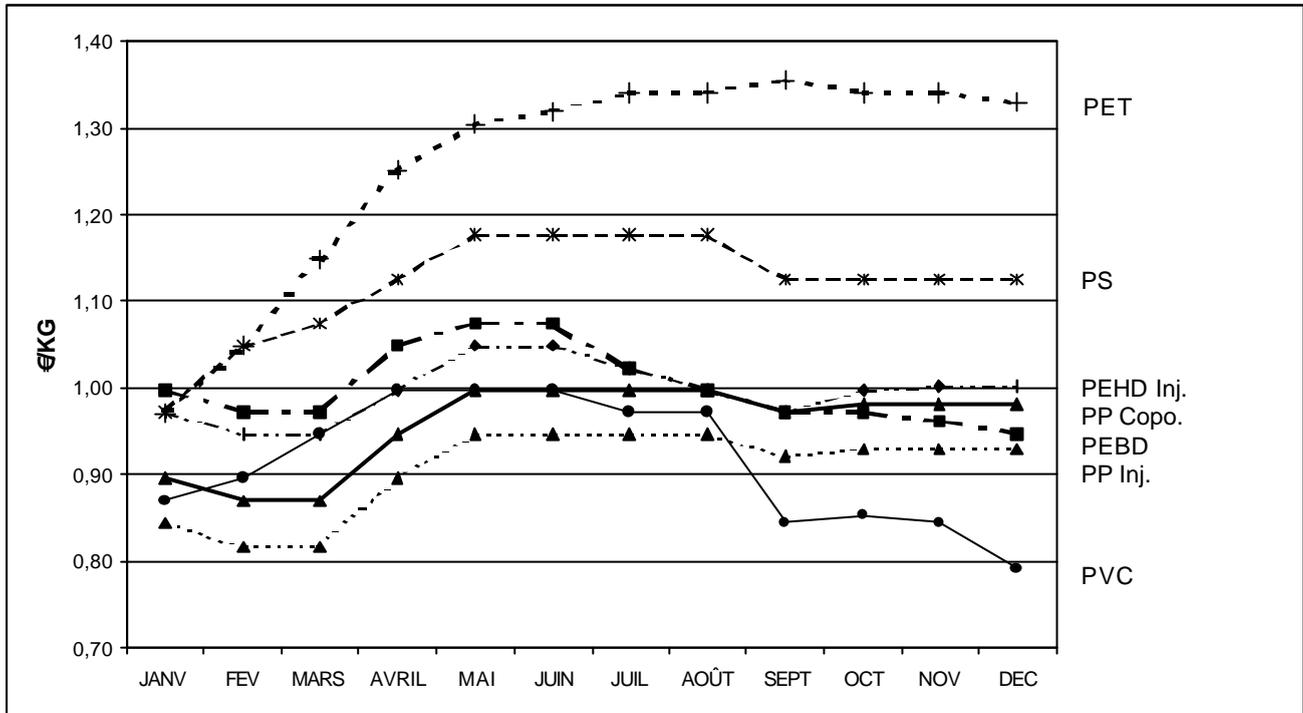
Analyses des systèmes de recyclage des profilés pour fenêtres en PVC

- N.Bruns; VEKA Umwelttechnik GmbH (Germany), Im Strassfeld 1, D-99947 Behringen; Contact et visite su site.
- Prognos study for DG XI on the mechanical recycling of PVC; Working document from ECVN (European Council of Vinyl Manufacturers)

Analyses des systèmes de recyclage des pare-chocs automobiles

- European assessment of plastic waste from end of life vehicles, current situation and forecast; APME-study, Brussels, January 1999.
- Phase 1 report, summer 1995 to spring 1998; Consortium for Automotive Recycling (CARE).
- First annual report (1997); Automotive Consortium On Recycling and Disposal (ACORD); London, England, June 1998.

ANNEXE II : Cours des résines vierges (2000)



Variations du cours de quelques résines vierges sur 2000.

ANNEXE III : Evaluation des différents programmes de recyclages

Critères décisifs et évaluations des programmes de recyclage des bouteilles et flacons en PET

Critères décisifs	Notes spécifiques Programme de recyclage	Evaluation globale
1. Economique		
1.1 Prix plastiques vierges	+	
1.2 Quantité	++	
1.3 Nombre d'émetteurs de déchets	0	
1.4 Niveau de contamination	0	+
1.5 Marchés	+	
1.6 Menace de substitution	+	
1.7 Coûts de recyclage (collecte incluse)	0	
2. Juridique		
2.1 Lois / directives	+	
2.2 Accord gouvernemental	+	+
2.3 Obstacles commerciaux	+	
2.4 Normes d'application	0	
3. Social		
3.1 Coopération filière	++	
3.2 Coopération secteur	++	+ / ++
3.3 Participation des émetteurs	+	
3.4 Pressions de la société	+	
3.5 Exemples réussis de recyclage	+	
4. Organisationnel		
4.1 Système d'élimination	+	
4.2 Logistique de reprise	++	+ / ++
4.3 Capacité de traitement	++	
4.4 Certification produits secondaires	0	

- ++ Très positif
- + Positif
- 0 Neutre
- Négatif
- Très négatif

Critères décisifs et évaluations des programmes de recyclage des films industriels et commerciaux

Critères décisifs	Notes spécifiques Programme de recyclage	Evaluation globale
1. Economique		
1.1 Prix plastiques vierges	0	
1.2 Quantité	++	
1.3 Nombre d'émetteurs de déchets	+	
1.4 Niveau de contamination	+	+
1.5 Marchés	+	
1.6 Menace de substitution	-	
1.7 Coûts de recyclage (collecte incluse)	0	
2. Juridique		
2.1 Lois / directives	+	
2.2 Accord gouvernemental	+	+
2.3 Obstacles commerciaux	+	
2.4 Normes d'application	0	
3. Social		
3.1 Coopération filière	++	
3.2 Coopération secteur	+	+
3.3 Participation des émetteurs	+	
3.4 Pressions de la société	0	
3.5 Exemples réussis de recyclage	+	
4. Organisationnel		
4.1 Système d'élimination	+	
4.2 Logistique de reprise	+	+
4.3 Capacité de traitement	+	
4.4 Certification produits secondaires	0	

- ++ Très positif
- + Positif
- 0 Neutre
- Négatif
- Très négatif

Critères décisifs et évaluations des programmes de recyclage du PSE

Critères décisifs	Notes spécifiques Programme de recyclage	Evaluation globale
1. Economique		
1.1 Prix plastiques vierges	+	0
1.2 Quantité	0	
1.3 Nombre d'émetteurs de déchets	0	
1.4 Niveau de contamination	+	
1.5 Marchés	+	
1.6 Menace de substitution	0	
1.7 Coûts de recyclage (collecte incluse)	0	
2. Juridique		
2.1 Lois / directives	+	+
2.2 Accord gouvernemental	+	
2.3 Obstacles commerciaux	+	
2.4 Normes d'application	0	
3. Social		
3.1 Coopération filière	+	+
3.2 Coopération secteur	+	
3.3 Participation des émetteurs	+	
3.4 Pressions de la société	+	
3.5 Exemples réussis de recyclage	0	
4. Organisationnel		
4.1 Système d'élimination	+	+
4.2 Logistique de reprise	+	
4.3 Capacité de traitement	+	
4.4 Certification produits secondaires	0	

- ++ Très positif
- + Positif
- 0 Neutre
- Négatif
- Très négatif

Critères décisifs et évaluations des programmes de recyclage du film agricole

Critères décisifs	Notes spécifiques Programme de recyclage	Evaluation globale
1. Economique		
1.1 Prix plastiques vierges	0	0
1.2 Quantité	0	
1.3 Nombre d'émetteurs de déchets	0	
1.4 Niveau de contamination	-	
1.5 Marchés	+	
1.6 Menace de substitution	0	
1.7 Coûts de recyclage (collecte incluse)	0	
2. Juridique		
2.1 Lois / directives	0	0/+
2.2 Accord gouvernemental	+	
2.3 Obstacles commerciaux	+	
2.4 Normes d'application	0	
3. Social		
3.1 Coopération filière	+	0
3.2 Coopération secteur	0	
3.3 Participation des émetteurs	0	
3.4 Pressions de la société	0	
3.5 Exemples réussis de recyclage	0	
4. Organisationnel		
4.1 Système d'élimination	+	+
4.2 Logistique de reprise	+	
4.3 Capacité de traitement	+	
4.4 Certification produits secondaires	0	

- ++ Très positif
- + Positif
- 0 Neutre
- Négatif
- Très négatif

Critères décisifs et évaluations des programmes de recyclage des profilés de fenêtres en PVC

Critères décisifs	Notes spécifiques Programme de recyclage	Evaluation globale
1. Economique		
1.1 Prix plastiques vierges	0	0
1.2 Quantité	-	
1.3 Nombre d'émetteurs de déchets	0	
1.4 Niveau de contamination	0	
1.5 Marchés	+	
1.6 Menace de substitution	+	
1.7 Coûts de recyclage (collecte incluse)	0	
2. Juridique		
2.1 Lois / directives	0	0/+
2.2 Accord gouvernemental	+	
2.3 Obstacles commerciaux	+	
2.4 Normes d'application	0	
3. Social		
3.1 Coopération filière	++	+
3.2 Coopération secteur	+	
3.3 Participation des émetteurs	0	
3.4 Pressions de la société	+	
3.5 Exemples réussis de recyclage	0	
4. Organisationnel		
4.1 Système d'élimination	+	+
4.2 Logistique de reprise	+	
4.3 Capacité de traitement	+	
4.4 Certification produits secondaires	0	

- ++ Très positif
- + Positif
- 0 Neutre
- Négatif
- Très négatif

Critères décisifs et évaluations des programmes de recyclage des pare-chocs automobiles

Critères décisifs	Notes spécifiques Programme de recyclage	Evaluation globale
1. Economique		
1.1 Prix plastiques vierges	+	0/+
1.2 Quantité	+	
1.3 Nombre d'émetteurs de déchets	0	
1.4 Niveau de contamination	0/+	
1.5 Marchés	+	
1.6 Menace de substitution	+	
1.7 Coûts de recyclage (collecte incluse)	-/0	
2. Juridique		
2.1 Lois / directives	+	+
2.2 Accord gouvernemental	+	
2.3 Obstacles commerciaux	+	
2.4 Normes d'application	?	
3. Social		
3.1 Coopération filière	0	0/+
3.2 Coopération secteur	+	
3.3 Participation des émetteurs	+	
3.4 Pressions de la société	0	
3.5 Exemples réussis de recyclage	0/+	
4. Organisationnel		
4.1 Système d'élimination	+	+
4.2 Logistique de reprise	+	
4.3 Capacité de traitement	+	
4.4 Certification produits secondaires	0	

- ++ Très positif
- + Positif
- 0 Neutre
- Négatif
- Très négatif

ANNEXE IV : Organisations Internationales

• **ORGANISATIONS INTERNATIONALES**

<p>APME Association of Plastic Manufacturers in Europe Avenue E. van Nieuwenhuysse 4, Box 5 B-1 160 BRUSSELS</p> <p>Contact: Neil Mayne Tel + 32 2 675 3258 Fax + 32 2 675 3935 E-mail: Neil_Mayne@apme.org http://www.apme.org</p>	<p>ECVM European Council of Vinyl Manufacturers Avenue E. van Nieuwenhuysse 4, Box 4 B-1 160 BRUSSELS</p> <p>Contact: John Svalander Tel + 32 2 675 2971 Fax + 32 2 675 3935</p>
<p>PETCORE PET Container Recycling Europe P.O. Box 5227 NL-2000 CE Haarlem</p> <p>Contact: Henk Hansler Tel: + 31 23 542 5369 Fax: + 31 23 542 5371 E-mail : maggie@euronet.nl http://www.petcore.org</p>	<p>EPRO European Association of Plastics Recycling and Recovery Organisations</p> <p>Contact: Christina Stadlbauer p/a OKK Handelskai 388 Top 841 A-1020 WIEN Tel: + 43 1 720700142 Fax: + 43 1 720700140 E-mail : okk-cs@okk.co.at http://www.epro-recycling.org</p>
<p>EUPC European Plastics Converters Avenue de Cortenbergh 66, Box 4 B-1040 BRUSSELS</p> <p>Contact: Joachim Eckstein Tel + 32 2 732 4124 Fax + 32 2 732 4218 E-mail : EuPC@Skynet.be http://www.eupc.org</p>	<p>EUPR European Plastics Recyclers Avenue de Cortenbergh 66, Box 4 B-1040 BRUSSELS</p> <p>Contact: Alexandre Dangis Tel + 32 2 732 4124 Fax + 32 2 732 4218 E-mail : EuPR@Skynet.be</p>
<p>ERRA European Recovery & Recycling Association Avenue E. Mounier 83, Box 5 B-1200 Brussels</p> <p>Contact: Jacques Fontaine Tel: + 32 2 772 5252 Fax: + 32 2 772 5419 E-mail: errap@hebel.net http://www.erra.be</p>	

Organisations nationales sur les matières plastiques	Organisations nationales sur le recyclage et la réutilisation
<p>Austria Österreichischer Kunststoffhersteller Verband (KV) Jakobergasse 4/14 A-1010 VIENNA</p> <p>Contact: Mr. A. Seidl Tel. + 43 1 513 1664 Fax + 43 1 512 908820 E-mail: kv@telekabel.at</p>	<p>Austria OKK - Österreichischer Kunststoff Kreislauf AG Handelskai 388 / Top 841 A-1020 VIENNA</p> <p>Managing director: Andrea Ecker Contact: Christine Stadlbauer E-mail: okk-cs@okk.co.at Tel: + 43 1 720700142 Fax: + 43 1 720700140 http://www.okk.co.at/okk</p>
<p>Belgium Vereniging van kunststofverwerkers (Fechiplast) Square Marie-Louise 49 B-1000 BRUSSELS</p> <p>Contact: Mr. G. Scheys Tel + 32 2 238 9711 Fax + 32 2 231 1301 E-mail: fechiplast@fedichem.be</p>	<p>Belgium Plarebel Square Marie Louise 49 B-1000 Bruxelles</p> <p>Managing director: Philippe Diercxsens Contact: Jos VanStraelen E-mail: ejvanstraelen@dow.com Tel: + 32 2 238 9781 Fax: + 32 2 238 9998</p>
<p>Danmark Plast Industrien DK 48, Nørre Voldgade DK-1358 COPENHAGEN K</p> <p>Contact: Mr. P. Skov Tel: + 45 33 133022 Fax: + 45 33 910898</p>	<p>Danmark (Non Epro member)</p>
<p>Finland Finnish Plastics Industries Federation P.O. Box 4 7th Floor Eteläranta 10 SF-00131 HELSINKI</p> <p>Contact: Mr. K. Teppola Tel + 358 9 172841 Fax + 358 9 171164 E-mail: kari.teppola@kemia.tliitot.fi</p>	<p>Finland Suomen Uusiomuovi Oy P.O. Box 4 7th Floor Eteläranta 10 SF-00131 HELSINKI</p> <p>Managing director: Vesa Karha E-mail: vesa.karha@kemia.tliitot.fi Tel: + 358 9 1728 4326 Fax: + 358 9 171164</p>

Organisations nationales sur les matières plastiques	Organisations nationales sur le recyclage et la réutilisation
<p>France Syndicat des Producteurs de Matieres Plastiques (S.P.M.P.) Le Diamant A F-9209 PARIS, La Défense Cedex</p> <p>Contact: Mr. A. Chapelle Tel + 33 1 4653 1053 Fax + 33 1 4653 1073 E-mail: a.chapelle@dial.oleane.com</p>	<p>France Valorplast 14, Rue de la République F-92800 PUTEAUX</p> <p>President: Jacques Dumas Contact: Pierre Villatte E-mail: p.villatte@valorplast.com Tel: + 33 1 4653 1095 Fax: + 33 1 4653 1037 http://www.valorplast.com</p>
<p>Germany Verband Kunststoffherzeugende Industrie e.V (V.K.E.) Karlstrasse 21</p> <p>D-60329 FRANKFURT Contact: Mr. R. Kamps Tel + 49 69 2556 1300 Fax + 49 69 251060 E-mail: kamps@vke.de</p>	<p>Germany DKR – Deutsche Gesellschaft für Kunststoff Recycling mbH Frankfurter Strasse 720-726 D-51145 KÖLN</p> <p>Managing director: Dr. Wolfgang Lindner Contact: Dr. Jens Lühr E-mail: thiele_dkr@t-online.de Tel: + 49 2203 9317 739 Fax + 49 2203 9317 700 http://www.dkr.de</p>
<p>Great Britain British Plastics Federation (B.P.F.) 6 Bath Place Rivington Street LONDON EC2A 3JE</p> <p>Contact: Mr. P. Davis Tel + 44 171 457 5000 Fax + 44 171 457 5018</p>	<p>Great Britain VALUPLAST 6 Bath Place Rivington Street LONDON EC2A 3JE</p> <p>Contact: Brian Smith Tel + 44 171 457 5042 Fax + 44 171 457 5038 (Non EPRO member)</p>
<p>Greece Association Hellenic Plastics Industries 60 Michalakopoulou GR-611 ATHENS</p> <p>Contact: Mr. C. Panayotopoulos Tel + 30 1 779 4518 Fax + 30 1 779 4518 E-mail: aegis@ath.fothnet.gr</p>	<p>Greece (Non EPRO member)</p>

Organisations nationales sur les matières plastiques	Organisations nationales sur le recyclage et la réutilisation
<p>Ireland Plastics Industries Association 84-86 Lower Baggot St DUBLIN 2</p> <p>Contact: Mr. R. McCabe Tel + 353 1 660 1011 Fax + 353 1 660 1717 E-mail: Reg.Mccabe@IBEC.ie</p>	<p>Ireland (Non EPRO Member)</p>
<p>Italy Federchimica Assoplast Via Accademia 33 I-20131 MILANO</p> <p>Contact Mr. R. Chiodini Tel + 39 02 2681 01 Fax + 39 02 2681 0311 E-mail: plast_base@federchimica.it</p>	<p>Italy CO.RE.PLA Via del Vecchio Politecnico 3 I-20121 MILANO</p> <p>Managing director: Eugenio Bora Contact: Cesare Anzivino E-mail: c.anzivino@replastic.it Tel: + 39 02 760 54227 Fax: + 39 02 760 01590 http://www.replastic.it http://www.corepla.it</p>
<p>The Netherlands Federatie Nederlandse Rubber en Kunststofindustrie (N.R.K.) P.O. Box 420 NL-2260 AK LEIDSCHENDAM</p> <p>Contact: Mr. W. de Ruijter Tel: + 31 70 317 5490 Fax: + 31 70 317 7408 E-mail: info@nrk.nl</p>	<p>The Netherlands Vereniging Milieubeheer Kunststofverpakkingen (VMK) P.O. Box 420 NL-2260 AK LEIDSCHENDAM</p> <p>Contact: Harry Lucas Tel: + 31 70 317 5497 Fax: + 31 70 317 7408</p>
<p>Norway Norwegian Plastics Industries Association (PIF) Stensberggt. 27 N-0170 OSLO</p> <p>Contact: Mr. L. Kildahl Tel: + 47 2 308 7800 Fax: + 47 2 308 7899 E-mail: lk@pif.no</p>	<p>Norway Plastretur Karenslyst Allé 9A P.O. Box 441 N-0212 OSLO</p> <p>Managing director: Peter Sundt E-mail: peter@plastretur.no Tel: + 47 2 212 1780 Fax: + 47 2 212 1781 http://www.plastretur.no</p>

Organisations nationales sur les matières plastiques	Organisations nationales sur le recyclage et la réutilisation
<p>Portugal Associação Portuguesa da Indústria de Plásticos (A.P.I.P.) Rue D'Estefania 32-2º P-1000 LISBON</p> <p>Contact: Mrs. I. Ferreira da Costa Tel: + 351 1 315 0633 Fax: + 351 1 314 7760</p>	<p>Portugal Plastval Avenida Defensores de Chaves N° 15-2ºE P-1000-109 LISBON</p> <p>President: Rui Toscano Contact: Joao Letras E-mail: plastval@mail.telepac.pt Tel: + 351 21 312 9715 Fax: + 351 21 312 9717</p>
<p>Spain Confederacion Española de Empresarios de Plasticos (A.N.A.I.P.) Evenida Brasil, 17 13º-A E-28020 MADRID</p> <p>Contact: Mr. J.M. Cavanillas Tel: + 34 91 356 5059 Fax: + 34 91 356 5628</p>	<p>Spain Cicloplast Rosario Pino 6-7B E-28020 MADRID</p> <p>Managing director: Teresa Martinez Contact: Alberto Caldeiro E-mail: ciclopla@teleline.es Tel: + 34 91 571 7606 Fax: + 34 91 579 6345</p>
<p>Sweden Plast- och Kemibranschern (PoK) Drottninggatan 68, Box 105 S-10122 STOCKHOLM</p> <p>Contact: Mr. T. Bohlin E-mail: pir.plastkretsen@plast-kemi.se</p>	<p>Sweden Plastkretsen Drottninggatan 68, Box 105 S-10122 STOCKHOLM</p> <p>Managing director: Maria Schyllander E-mail: maria.schyllander@plastkretsen.se Tel: + 46 8 402 1375 Fax + 46 8 204549</p>
<p>Switzerland Kunststoff-Verband Schweiz</p> <p>Contact: Tel + 41 62 823 0863 Fax + 41 62 823 0762</p>	<p>Switzerland (Non EPRO member)</p>