

Mise en place d'une approche multicritères pour le choix d'une filière de valorisation matière/énergie des déchets plastiques

Avis d'experts



**AVIS D'EXPERTS SUR LA MISE EN PLACE
D'UNE APPROCHE MULTICRITERES
POUR LE CHOIX D'UNE FILIERE DE VALORISATION
MATIERE/ENERGIE DES DECHETS PLASTIQUES**

RAPPORT FINAL

février 2006

S. BICOCCHI, A. MALTOT – CADET International

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 collégialement 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, Avis d'experts sur la mise en place d'une approche multicritères pour le choix d'une filière de valorisation matière/énergie des déchets plastiques, 2006, 155 p, n°04-0906/2A.
- ✓ Ces travaux ont reçu le soutien de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie)
www.ademe.fr

© RECORD, 2006

SOMMAIRE

<i>Avant propos</i> _____	3
<i>Préambule</i> _____	4
1- Sujet de l'étude _____	4
2- Le déroulement de l'étude _____	5
3- L'intervention des experts _____	6
4- Le contenu de l'étude _____	7
Chapitre 1 LE CONTEXTE DE L'ETUDE _____	8
1- Les grands chiffres des matières plastiques _____	8
2- Les trois grandes familles de plastiques _____	8
3- La réglementation _____	9
4- Les divers modes de traitement des déchets plastiques _____	11
5- Les déchets plastiques retenus pour l'étude _____	12
6- La méthodologie multicritères _____	13
Chapitre 2 LES POLYMERES PLASTIQUES _____	15
1- Préambule _____	15
2- Fiche 1: LE POLYETHYLENE (C ₂ H ₄) _____	18
3- Fiche 2 : LE POLYPROPYLENE (C ₃ H ₆) _____	27
4- Fiche 3 : LE POLYSTYRENE (C ₈ H ₈) _____	35
Chapitre 3 : LES FILIERES DE VALORISATION _____	42
1- Préambule _____	43
2- PARTIE 1 : LA VALORISATION MATIERE _____	47
Fiche 1 : Le recyclage physique _____	47
Fiche 2 : Le recyclage chimique _____	53
3- PARTIE 2 : LA VALORISATION ENERGETIQUE _____	58
Fiche 3 : L'incinération _____	59
Fiche 4 : Les filières alternatives à l'incinération _____	61
3- PARTIE 3 : LA VALORISATION MATIERE/ENERGIE _____	63
Fiche 5 La co-incinération en cimenterie _____	63
Chapitre 4 LA METHODOLOGIE MULTICRITERES _____	64
1- Le but de la méthodologie multicritères _____	64
2- Présentation de la méthodologie multicritères et ses étapes _____	65
3- Définition des étapes de la méthodologie _____	67
ETAPE 1 LA FICHE DE SPECIFICATION DU DECHET PLASTIQUES _____	67
ETAPE 2 : EVALUATION DE LA COMPATIBILITE DU DECHET PAR FILIERE DE VALORISATION _____	70
ETAPE 3 : EVALUATION DES FILIERES DE VALORISATION COMPATIBLES _____	71
ETAPE 4 L'INTERPRETATION DES RESULTATS _____	91
CONCLUSION _____	95

<i>BIBLIOGRAPHIE</i> _____	97
<i>GLOSSAIRE</i> _____	99
<i>Annexe 1 : La méthodologie QWERTY</i> _____	106
<i>Annexe 2 : Les comptes rendus des rencontres avec les experts</i> _____	115

Avant propos



Ce document constitue le rapport final de l'étude :

« Avis d'experts pour la mise en place d'une approche multicritères pour le choix d'une filière de valorisation matière/énergie des déchets plastiques »

Cette étude a été mandatée par l'association R.E.C.O.R.D (Réseau Coopératif de Recherche sur les Déchets) afin de fournir à ses membres une méthodologie permettant d'appréhender la valorisation des déchets plastiques.

Pour suivre et orienter ce travail, un Comité de Pilotage a été mis en place. Il est composé des tuteurs suivants :

- Mlle Bénédicte COUFFIGNAL – RECORD (Direction Scientifique)
- Mr Gérard ANTONINI – UT COMPIEGNE (Direction Scientifique)
- Mme Anne GOBBEY – ADEME
- Mlle Maryline COUDERT – LAFARGE CEMENTS
- Mr Lauro CIMOLINO – SOCOTEC
- Mr Robert LASSARTESES – RENAULT
- Mr Jean Jacques CAMPILLO – CREED
- Mr Christian PHAM VAN CANG – EDF
- Mr Jean SOUCHET – SOLVAY
- Mr Hugues LEVASSEUR – TREDI SECHE

Préambule

La place qu'occupe le « plastique » dans notre société ne cesse de croître et la multitude de possibilités techniques qu'il offre en fait un matériau de choix. On le retrouve dans la plupart des domaines et à divers niveaux d'application ; allant du secteur de l'emballage à celui de l'automobile, ce dernier intégrant des contraintes très élevées.

Cette « révolution industrielle » menée ces dernières décennies vient aujourd'hui se confronter à une problématique majeure qu'est la prise en considération de la notion de développement durable. Derrière ce terme, se dessine le principe de la gestion et de l'utilisation raisonnée des ressources.

L'utilisation et l'extraction des ressources ; qui sont à la base de pollutions multiples ; quelles soient vis-à-vis de l'eau, de l'air, du sol ; conduisent à l'élaboration de biens de consommation dont le destin ultime et inéluctable est l'abandon. Le gisement de déchets produit, bien que grandissant, n'est pas une finalité en soi. En effet, l'optimisation de sa gestion et de son exploitation vient répondre de manière concrète à la problématique relative à l'épuisement des ressources et aux dégradations exercées sur l'équilibre environnemental global. Le déchet n'est alors plus considéré comme un rebut dont on ne sait se débarrasser mais comme une matière potentiellement valorisable. En terme de réglementation, les taux et objectif fixés depuis une dizaine d'années en faveur de la valorisation des déchets dans des secteurs de plus en plus diversifiés indiquent l'importante place qu'occupe la valorisation de nos jours.

Par ailleurs, les efforts réalisés lors de la conception des produits par le choix de matériaux spécifiques par exemple, visent d'une part à diminuer ce flux de déchets et d'autre part à intégrer et à faciliter les étapes de valorisations futures. La gestion des déchets plastiques intègre parfaitement cette logique.

La réflexion menée par l'association RE.CO.R.D sur le devenir des plastiques reflète cette prise de conscience. En effet, les membres de l'association représente à eux seuls un échantillon de l'ensemble de la chaîne de gestion des plastiques : de la conception du produit à sa valorisation matière et/ou énergétique.

1- Sujet de l'étude

« Avis d'experts pour la mise en place d'une approche multicritères pour le choix d'une filière de valorisation matières/énergie des déchets plastiques »

Devant la diversité des types de déchets plastiques rencontrés et des procédés techniques permettant leur valorisation ; l'association RECORD a décidé de procéder à un travail prospectif concernant à la fois les déchets plastiques et les filières de valorisation existantes ou en devenir afin de constituer une méthodologie multicritères pour le choix d'une filière de valorisation de ces déchets.

L'approche consiste, à l'aide de fiches descriptives (polymères plastiques et déchets plastiques, filières de valorisation) et de critères prédéfinis, à définir un outil d'aide à la décision permettant à un utilisateur industriel, producteur ou détenteur de déchets plastiques, de sélectionner de façon motivée et justifiée une filière de valorisation pour son type de déchet plastique.

Cet outil d'aide à la décision représente donc un document support permettant à l'utilisateur de se poser les bonnes questions afin d'évaluer à la fois son type de déchet plastique et une filière de valorisation sous toutes ses facettes.

Cette méthodologie, formalisée pour tout type de déchets plastiques ; post/pré consommation, durable/non durable ; a été élaborée à l'aide d'avis d'experts sur la base d'une méthodologie initiale.

2- Le déroulement de l'étude

L'étude s'est déroulée en 6 grandes étapes :

- 1^è étape : Réalisation d'une étude préliminaire définissant le contexte de l'étude et son champ d'action. Elle s'est axée particulièrement sur les points suivants : les polymères plastiques, les déchets plastiques, les secteurs détenteurs et producteurs de déchets plastiques, la réglementation en vigueur, les filières de valorisation existantes et en devenir et les outils d'aide à la décision actuellement en place.
- 2^è étape : Détermination et choix de 3 familles de polymères plastiques puis élaboration de 3 fiches synthétisant leurs propriétés, leurs applications ou encore leur mode de valorisation. Ces fiches constituent des outils et des supports servant de base de référence à l'utilisateur afin qu'il appréhende au mieux son type de déchet plastique.
- 3^è étape : Recensement et définition des diverses filières de valorisation des déchets plastiques : la valorisation matière ; la valorisation énergétique ainsi que les procédés alliant les 2 « modes » de valorisation. Ces filières de valorisation ont également fait l'objet de fiches de synthèse.
- 4^è étape : Détermination de critères et de sous critères constituant la base de la méthodologie à élaborer. Ces critères tant qualitatifs que quantitatifs seront évalués et agrégés au sein de l'outil d'aide à la décision.
- 5^è étape : Consultations d'experts ayant des compétences dans les domaines de la valorisation matière, de la valorisation énergétique ou le domaine institutionnel afin d'affiner, de critiquer et d'approfondir la mise en place de l'outil grâce à leurs connaissances et à leur retour d'expérience.
- 6^è étape : Elaboration de l'outil d'aide à la décision en réponse, en adéquation avec les divers avis d'experts et pré-test de cet outil.

3- L'intervention des experts

L'étude, comme son intitulé l'indique, repose sur des avis d'experts. Suite à l'élaboration d'une base de réflexion concernant les déchets plastiques, les filières de valorisation, la liste des critères et des sous critères et les étapes de la démarche méthodologique ; les experts interviennent afin d'initier, d'affiner, de critiquer et d'approfondir la mise en place de l'outil.

Des rencontres avec les experts ont eu lieu tout au long de l'avancement de l'étude et en fonction des besoins.

Les experts associés à ce travail sont présentés dans le tableau ci après. Au total 10 experts ont été mobilisés.

Pour réaliser ce travail, nous avons procédé de la façon suivante :

- Identification des experts à consulter en collaboration avec les tuteurs de l'association R.E.C.O.R.D ;
- Prise de contact avec l'expert présent ;
- Envoi d'une note explicative de l'étude et d'un document retraçant son avancement. Ce dernier mettant en avant les interrogations et les besoins, en fonction des compétences de l'expert contacté ;
- Rencontre et entretien avec l'expert ;
- Elaboration d'un compte rendu de la rencontre puis envoi de ce dernier à l'expert pour validation ;
- Sollicitations ponctuelles en fonction des besoins et de l'avancement de l'étude sous la forme d'envoi de document électronique ou d'entretiens téléphoniques.

L'ensemble des comptes rendu des entretiens est présenté en annexe.

Nom de l'expert	Organisme	Domaine de compétence
Mr De Chefdebien	CNIM	Valorisation énergétique ; Institutions Française et Européenne
Mme Gobbey	ADEME	Méthodologie multicritères
Mme Poncelet	ADEME	Valorisation énergétique
Mme Marioge	ADEME	Déchets plastiques et valorisation matière
Mr David	TERRA	Méthodologie multicritères
Mr Caudron	ADEME	Valorisation matière
Mr François	GALLOO	Valorisation matière ; Institutions Française et Européenne
Mr Bourely	PELLENC ST	Techniques de valorisation matière
Mr Crespin	C2P	Valorisation matière
Mr Froelich	ENSAM	Méthodologie multicritères et valorisation matière

4- Le contenu de l'étude

Le dossier est constitué de 4 chapitres.

- Chapitre 1 : Le contexte de l'étude

Ce chapitre pose les bases de l'étude et définit son contexte : la réglementation, les polymères plastiques étudiés, les secteurs producteur ou détenteur de déchets plastiques et enfin les modes de traitement des déchets plastiques.

- Chapitre 2 : Les polymères plastiques

Le chapitre 2 indique, à l'aide de trois familles de polymères plastiques (le polyéthylène (PE), le polypropylène (PP) et le polystyrène (PS)), les caractéristiques, les propriétés, les applications, les producteurs ou encore les secteurs d'utilisation se référant à ces 3 familles.

Ces indications, mentionnées par famille de polymères plastiques, sont présentées sous forme de fiches synthétiques. Ces fiches sont des documents types permettant à l'utilisateur d'identifier les renseignements reflétant les propriétés et les particularités d'un polymère plastique. Ces renseignements sont utiles afin d'appréhender au mieux la 1^e étape de la démarche méthodologique multicritères développée au chapitre 4.

- Chapitre 3 : Les filières de valorisation

Au sein de ce chapitre est recensé l'ensemble des filières de valorisation. Ce chapitre est divisée en 3 parties : la valorisation matière, la valorisation énergétique ainsi que la valorisation dite « mixte » alliant valorisation matière et énergie. Pour chacune de ces parties, les divers procédés de valorisation s'y référant sont développés sous forme de fiches de synthèse détaillant le procédé technique, ses avantages et inconvénients et son potentiel.

Ces fiches références viennent renseigner l'utilisateur quant aux divers procédés de valorisation dénombrés à l'heure actuelle et permettent ainsi d'appréhender au mieux les informations recensées au sein de la méthodologie multicritères développée au chapitre 4.

- Chapitre 4 : La méthodologie multicritères

Le dernier chapitre développe la méthodologie multicritères. Cette méthodologie se décompose en 3 étapes :

- Etape 1 : la fiche de spécification du déchet plastique ;
- Etape 2 : l'évaluation de la compatibilité du déchet plastique vis-à-vis des filières de valorisation ;
- Etape 3 : l'évaluation des filières de valorisation compatibles selon une approche multicritères brassant tant des critères qualitatifs que quantitatifs ;
- Etape 4 : l'interprétation des résultats.

Chapitre 1 LE CONTEXTE DE L'ETUDE

Le rapport 2002/2003 d'analyse de la consommation et de la collecte des plastiques en Europe occidentale de l'association des manufacturiers du plastique (Plastics Europe) ^[1], nous indique les évolutions et les grandeurs suivantes :

- La demande en matière plastique a augmenté de 5.6% entre 2001 et 2003 atteignant 39 700 000 tonnes.
- La croissance la plus importante porte sur le secteur automobile avec une hausse de la consommation de 5.7% en 2003.
- Le volume total de déchets représentait 21 150 000 tonnes en 2003.
- Le volume de déchets plastiques collectés et valorisés pour toutes les applications plastiques (tous secteurs confondus) a été de 39% en 2003.
- La collecte totale des déchets plastiques issus de l'emballage est passée de 49.4% en 2001 à 52.6% en 2002 principalement grâce au recyclage donc le volume de plastiques en décharge a diminué.
- Le recyclage des plastiques a augmenté de 11% entre 2001 et 2002, augmentation s'étant poursuivie en 2003 amenant un taux de recyclage proche de 13%.

1- Les grands chiffres des matières plastiques

2- Les trois grandes familles de plastiques

- *les thermoplastiques* qui caractérisent les plastiques malléables qui peuvent être chauffés, refroidis pour donner une forme, puis chauffés à nouveau pour une autre forme. Cette caractéristique donne à la matière sa propriété recyclable. Entrent dans cette catégorie : Polyéthylène (PEhd, PEbd), Polychlorure de vinyle (PVC), Polyéthylène Téréphtalate (PET), Polypropylène (PP), Polystyrène (PS), Polyamide (PA) par exemple.
- *les thermodurcissables* qui caractérisent les plastiques qui se figent et se rigidifient dès la première transformation et sont très difficiles à recycler comme par exemple le Polyuréthane (PUR), Polybismaléimide (PBMI),...
- *les élastomères* qui caractérisent les plastiques qui se déforment (caoutchouc, élastomères thermoplastiques)

En ce qui concerne les mélanges et les alliages, ils sont très nombreux et très diversifiés selon les propriétés et les utilisations recherchées (constitution de film étirable ou encore alliage de type polypropylène-polyamide, polycarbonate-polyesters, ABS-polycarbonates..).

3- La réglementation

Concernant les déchets plastiques, seuls 3 domaines sont actuellement soumis à une réglementation : les emballages, les Véhicules Hors d'Usage (VHU) et les Equipements Electriques et Electroniques (EEE).

3-1 Les emballages

La directive n° 94/62/CE du 20 décembre 1994 du parlement et du conseil relative aux emballages et aux déchets d'emballages a pour objet d'une part de prévenir et de réduire leur incidence sur l'environnement et d'autre part de garantir le fonctionnement du marché intérieur.

Le texte de la directive n° 94/62/CE a été modifié par la directive 2004/12/CE du 11 février 2004 fixant de nouveaux objectifs sur les taux de recyclage et de valorisation, à respecter au plus tard le 31 décembre 2008, des différentes fractions dont le plastique :

- 60% au minimum en poids des déchets d'emballages seront valorisés ou incinérés dans des installations d'incinération des déchets avec valorisation énergétique.
- 55% au minimum en poids des déchets d'emballages seront recyclés.
- Pour les matériaux contenus dans les déchets d'emballages, le taux de recyclage des déchets plastiques devra être de 22.5% ; en comptant exclusivement les matériaux qui sont recyclés sous forme de plastique.

3-2 Les Véhicules Hors d'Usage (VHU)

La directive européenne 2000/53/CE du 18 septembre 2000 du parlement et du conseil relative aux véhicules hors d'usage, fixe des mesures visant en priorité la prévention des déchets et en outre, le recyclage, la réutilisation et les autres formes de valorisation des VHU et de leurs composants afin de réduire la quantité de déchets à éliminer. Ceci en vue d'améliorer l'efficacité, au regard de la protection de l'environnement, de tous les opérateurs économiques intervenants dans le cycle de vie des véhicules.

La directive fixe les objectifs sur les taux de recyclage et de valorisation à respecter au plus tard le 1^e janvier 2006 :

- 85% au minimum du poids moyen du véhicule sera réutilisé et valorisé.
- 80% au minimum du poids moyen du véhicule sera réutilisé et recyclé.

La directive fixe aussi les objectifs suivants au 1^e janvier 2015 :

- 95% au minimum du poids moyen du véhicule sera réutilisé et valorisé.
- 90% au minimum du poids moyen du véhicule sera réutilisé et recyclé.

3-3 Les Déchets des Equipements Electriques et Electroniques (DEEE)

La directive européenne 2002/96/CE du 27 janvier 2003 du parlement européen et du conseil relative aux déchets d'équipements électriques et électroniques, a pour objectifs prioritaires la prévention, la réutilisation, le recyclage et les autres formes de valorisation de ces déchets de manière à réduire la quantité de déchets à éliminer. Elle vise aussi à améliorer les performances environnementales de tous les opérateurs concernés au cours du cycle de vie des équipements électriques et électroniques tels que les producteurs, les distributeurs, les consommateurs et en particulier les opérateurs.

Cette directive fixe des objectifs sur les taux de recyclage et de valorisation à respecter par les producteurs au plus tard au 31 décembre 2006. Ces objectifs et taux sont présentés ci après :

Catégories d'équipements électriques et électroniques couvertes par la directive :

- 1- *Gros appareils ménagers*
- 2- *Petits appareils ménagers*
- 3- *Equipements informatiques et de télécommunications*
- 4- *Matériel de grands publics*
- 5- *Matériel d'éclairage*
- 6- *Outils électriques et électroniques (sauf gros outils industriels fixes)*
- 7- *Jouets, équipements de loisir et de sport*
- 8- *Dispositifs médicaux (à l'exception des produits implantés et infectés)*
- 9- *Instruments de surveillance et de contrôle*
- 10- *Distributeurs automatiques*

Pour les DEEE relevant des catégories 1 et 10

- Le taux de valorisation est porté à 80% au moins en poids moyen par appareil
- Le taux de réutilisation et de recyclage des composants, des matières et des substances est porté à 75% au moins en poids moyen par appareil

Pour les DEEE relevant des catégories 3 et 4

- Le taux de valorisation est porté à 75% au moins en poids moyen par appareil
- Le taux de réutilisation et de recyclage des composants, des matières et des substances est porté à 65% au moins en poids moyen par appareil

Pour les DEEE relevant des catégories 2, 5, 6, 7 et 9

- Le taux de valorisation est porté à 70% au moins en poids moyen par appareil
- Le taux de réutilisation et de recyclage des composants, des matières et des substances est porté à 50% au moins en poids moyen par appareil

Cette directive a été complétée par la directive 2002/95/CE du parlement européen et du conseil du 27 janvier 2003 relative à la limitation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques. Ainsi les États membres veillent à ce que, à compter du 1er juillet 2006, les nouveaux équipements électriques et électroniques mis sur le marché ne contiennent pas de plomb, de mercure, de cadmium, de chrome hexavalent, de polybromobiphényles (PBB) ni de polybromodiphényléthers (PBDE).

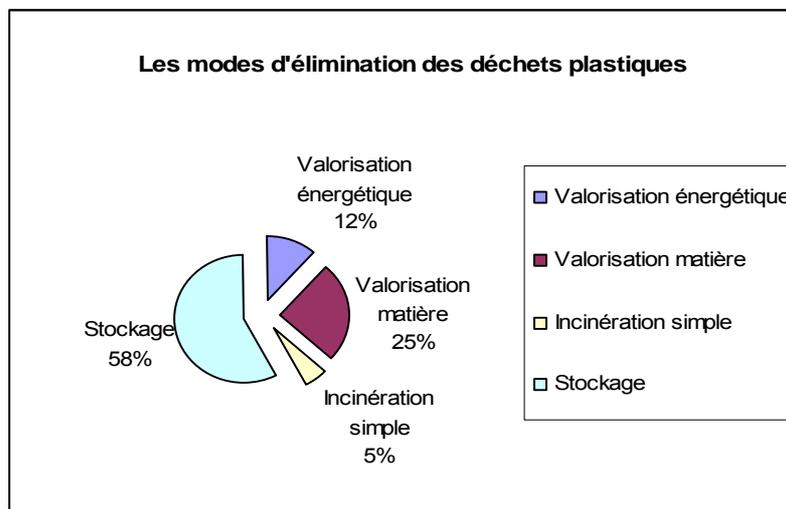
Par ailleurs la directive 2002/96/CE fut modifiée par la directive 2003/108/CE du 8 décembre 2003 qui stipule que les financements concernant les DEEE provenant d'utilisateurs autres que les ménages et issus de produits mis sur le marché après le 13 août 2005 soient assurés par le producteur. Les directives 2002/95 et 2002/96 ont été transposées en droit français par le décret n°2005-829 du 20 juillet 2005 relatif à la composition des équipements électriques et électroniques et à l'élimination des déchets issus de ces équipements.

Ces trois secteurs (emballages, électrique/électronique, automobile) sont les seuls à faire l'objet d'une réglementation. Malgré tout, d'autres domaines sont source d'un gisement important de déchets plastiques comme le bâtiment. Mais l'absence de réglementation dans ces domaines ne facilite pas la mise en place de filières de récupération et de traitement des déchets de ce secteur.

D'un point de vue international, la situation est différente et varie selon les pays, notamment en terme de réglementation et de coûts.

4- Les divers modes de traitement des déchets plastiques

4-1 La répartition des modes de traitement



Les modes d'élimination des déchets plastiques en Europe en 2002 [1] [2]

Valorisation énergétique : Utilisation de déchets combustibles en tant que moyen de production d'énergie, par incinération directe avec ou sans autres déchets ; mais avec récupération de chaleur (d'après la directive 94/62/CE du 20 décembre 1994).

Valorisation matière : Ce terme générique reprend les termes de recyclage physique (recyclage matière et procédés en solution) et de recyclage chimique.

Recyclage matière : Le retraitement, dans un processus de production, des déchets, soit en vue de la même utilisation que celle d'origine, soit à d'autres fins mais à l'exclusion de la valorisation énergétique (d'après la directive 2000/53/CE du 18 septembre 2000).

Procédé en solution : Principe consistant à utiliser un solvant ou un mélange de solvants susceptibles de dissoudre uniquement la fraction que l'on souhaite récupérer.

Recyclage chimique : Le retraitement, autre qu'un recyclage organique, aux fins originelles ou à d'autres fins, à l'exclusion de la valorisation énergétique et de l'élimination, par modification de la structure chimique des déchets et recyclage des constituants contenus dans la matière originelle des déchets (d'après la proposition de modification de la directive 94/62/CE § 9ter de décembre 2001).

4-2 Les modes de valorisations des déchets plastiques en Europe de l'Ouest

Les modes de valorisations des déchets plastiques en Europe de l'Ouest * en 2002 par secteur ^[1]:

	Agriculture	Automobile	BTP	Industrie & distribution	DEEE	Déchets ménagers	Total
Déchets plastiques collectés (en kT)	311	959	628	4190	848	13671	20 607
Stockage et incinération simple (en kT)	145	895	574	2145	811	8246	12 817
Valorisation énergétique (en kT)	1	7	0	444	3	4222	4 678
Valorisation Matière (recyclage chimique) (en kT)	0	0	0	0	0	330	330
Recyclage Matière (recyclage physique) (en kT)	164	58	54	1601	32	897	2 466
% Valorisation totale	53.4 %	6.7 %	8.6%	48.2 %	4.1 %	39.7 %	37.9%

* Les pays de l'Europe de l'Ouest concernés ; et ce, dans l'ensemble du rapport ; sont les suivants : Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Finlande, France, Grande Bretagne, Grèce, Hollande, Irlande, Italie, Norvège, Portugal, Suède, Suisse.

5- Les déchets plastiques retenus pour l'étude

Les déchets plastiques ou les familles de déchets plastiques retenus pour l'étude ne sont pas seulement les plus représentatifs. D'autres critères, comme leurs caractères dangereux ou toxiques, leur présence au sein d'un mélange de déchets plastiques ou de déchets de diverses origines et leurs caractères de qualité au sein du gisement, sont également considérés.

Ainsi 3 familles de déchets plastiques ont été retenus et serviront d'exemples lors de l'utilisation de la méthode multicritère élaborée. On retrouve le polyéthylène (PE), le polypropylène (PP) et le polystyrène (PS).

En France, les polyoléfines (PE et PP) entrent dans la constitution des plastiques à hauteur de 58% dans l'emballage, 45% dans les transports, 14% dans le BTP, 33% dans l'électrique et l'électronique, 17% dans l'ameublement, 29% dans les sports et loisirs, 23% dans la santé, 51% pour les autres (agriculture, maroquinerie, chaussure, textile, décoration, peinture) ^[3].

Pour sa part, le polystyrène entre dans la constitution des plastiques à hauteur de 21% dans l'emballage, 8% dans le BTP, 10% dans l'électrique et l'électronique, 2% dans l'ameublement, 11% dans les sports et loisirs, 7% dans la santé, et 6% pour les autres (agriculture, maroquinerie, chaussure, textile, décoration, peinture) ^[3].

6- La méthodologie multicritères

Afin d'élaborer la méthodologie multicritères, de nombreuses méthodologies ont été étudiées telles :

- La méthode multicritères d'évaluation des systèmes de traitement des déchets (ESTRADE, 2004) ;
- La méthode QWERTY (Quotes for Environmentally Weighted Recyclability, 2003) ;
- Les méthodes ELECTRE (Elimination et choix Traduisant la REalité).

6-1 La méthodologie ESTRADE

Objectifs de la méthode

L'objectif général assigné à cette méthode est de fournir une vision globale des caractéristiques des installations de traitement de déchets, en prenant en compte les aspects techniques, économiques, environnementaux et sanitaires. La méthode, élaborée par l'ADEME, consiste en un recueil et une exploitation simple de données déjà disponibles ; elle ne permet donc pas en elle-même d'effectuer une analyse fine des processus techniques et des performances des installations.

La méthode permet à son utilisateur d'évaluer une installation ou un projet selon sa propre perception de l'importance relative des différents critères, d'identifier les points forts et les points faibles des installations, et par conséquent de fixer des priorités d'amélioration de ces installations. Elle permet enfin de repérer les domaines pour lesquels les informations disponibles sont insuffisantes.

Cette méthode doit être considérée non pas comme un moyen de labelliser telle ou telle installation de traitement des déchets, mais plutôt comme une base commune d'échange entre les différents partenaires concernés par une installation : porteur du projet ou exploitant de l'installation, industriels clients de l'installation, associations de riverains, administrations, organismes financeurs du projet.

Domaine d'application de la méthode

Tous types de procédés de traitement de déchets, au stade de projet ou d'installation existante. Dans le cas d'un projet, le recours à la méthode est d'autant plus pertinent que le projet est avancé ; notamment, la définition des conditions d'implantation des installations est incontournable pour mener à bien l'évaluation des performances environnementales et sanitaires locales.

6-2 La méthode QWERTY ^[16]

Cette méthode multicritère est spécifique aux Déchets des Equipements Electriques et Electroniques. Elle est particulièrement dédiée au traitement des produits en fin de vie. Ainsi, seule l'étape de fin de vie du produit est traitée dans cette étude.

Divers perspectives sont prises en compte :

- Le critère « environnemental »
- Le critère « économique »
- Le critère « technique »
- Le « design » des produits (Analyse du cycle de vie et plus particulièrement son impact lors de la fin de vie du produit)
- Le critère « réglementation »

On peut représenter cette approche sous la forme d'une pyramide où l'on retrouve au sommet l'aspect « réglementation » ; au centre les aspects « environnement » et « économie » et à la base se situent les aspects « technologie » et « design ».

Une présentation plus précise de cette méthode est exposée en Annexe.

6-3 Les méthodes ELECTRE ^[17]

Les méthodes ELECTRE sont des analyses multicritères ayant pour but d'explicitier une famille cohérente de critères et permettant d'appréhender les différentes conséquences d'une action.

La problématique est la façon dont le problème de décision est posé. Les 4 problématiques de référence sont décrites ci après :

Problématique	Objectif	Résultat	Procédure
alpha	Choix d'un sous ensemble contenant les actions les meilleures ou à défaut satisfaisantes	choix	sélection
bêta	Tri par affectation des actions à des catégories prédéfinies	tri	affectation
gamma	Rangement de classes d'équivalence, composées d'actions, ces classes étant ordonnées de façon complète ou partielle	rangement	classement
delta	Description, dans un langage approprié des actions et de leurs conséquences	description	cognition

Ces diverses problématiques sont appliquées et décrites au sein des méthodes ELECTRE I, II, III, IV, I S et TRI.

Domaines d'application

Les domaines d'application des méthodes Electre sont très diversifiés. L'utilisation de l'aide à la décision dans la gestion environnementale se retrouve dans des sujets sur l'eau, l'air, les déchets, les transports...

Chapitre 2 LES POLYMERES PLASTIQUES

1- Préambule

Parmi l'ensemble des polymères plastiques, 3 familles ont été retenues pour illustrer cette étude. Les polymères plastiques retenus pour l'étude appartiennent à la famille des polyéthylènes (PE), des polypropylènes (PP) et des polystyrènes (PS). Ces types de polymères plastiques sont fortement représentés dans le gisement de déchets plastiques et font preuve d'une problématique accrue quant à leur traitement.

Ils représentent donc des exemples de choix pour cette étude.

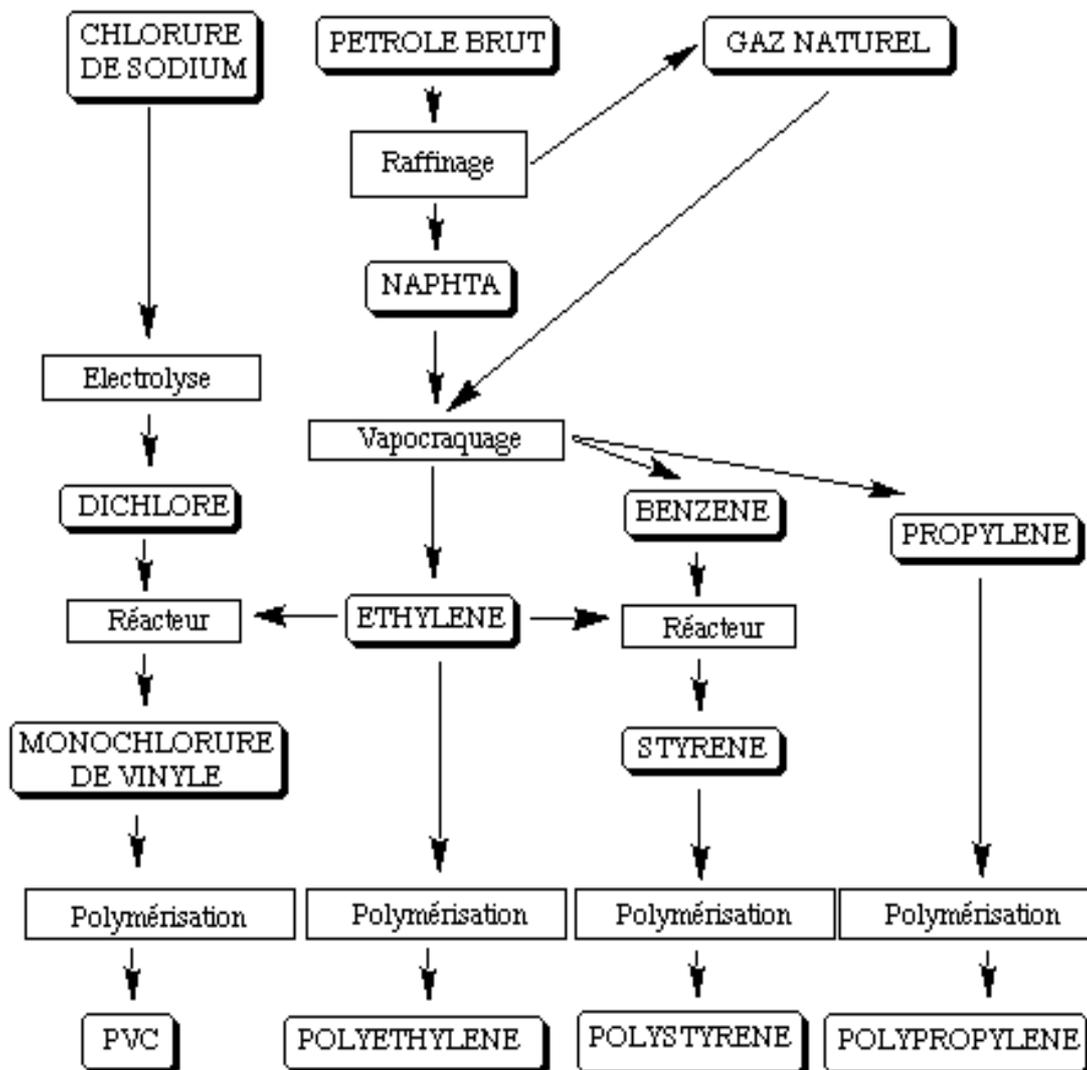
Les renseignements relatifs à ces 3 familles sont assemblés sous la forme de fiches synthétiques. Ces fiches balayent les diverses propriétés des polymères plastiques ; de leur fabrication en passant par leur utilisation, leur proportion au sein du gisement de matières plastiques consommées et enfin leur proportion au sein du gisement des déchets plastiques rencontrés par secteur (automobile, équipement électrique et électronique et emballage).

NOTA : Ces fiches sont des documents types permettant à l'utilisateur d'identifier les renseignements reflétant les propriétés et les particularités d'un polymère plastique. Ces renseignements sont utiles afin d'appréhender au mieux la 1^e étape de la démarche méthodologique développée au chapitre relatif à la méthodologie multicritères.

Avant de détailler les propriétés et particularités de ces 3 polymères plastiques, il est important de rappeler le mode de fabrication de ces derniers et d'analyser leur cycle de vie.

Mode de fabrication des principaux polymères plastiques

Le synoptique ci-après reprend les modes de fabrication des principaux polymères :



Les modes de fabrication des principaux polymères plastiques

2- Fiche 1: LE POLYETHYLENE (C₂H₄)

Le polyéthylène (C₂H₄)

Définition

Les polyéthylènes (PE) sont des matériaux thermoplastiques semi cristallins obtenus par la polymérisation de l'éthylène. Dans la famille des polyéthylènes, les produits se différencient par leur structure moléculaire issue de leur mode de synthèse.

Le polyéthylène basse densité – haute pression (PEbd)

Ces polyéthylènes sont des polymères à branches longues et courtes fabriqués par amorçage radicalaire avec les procédés haute pression. Par polymérisation simultanée de l'éthylène et de divers comonomères : acétate de vinyle, esters acryliques, anhydride maléique... sous haute pression, on obtient des copolymères ou des terpolymères statistiques, de cristallisation plus faible que les homopolymères.

Le polyéthylène basse densité linéaire (PEbdl)

Ces polyéthylènes sont en fait des polymères linéaires fabriqués par copolymérisation de l'éthylène avec des alpha-oléfinés : propylène, butène, hexène, 4-méthyl pentène1 ou octène, par catalyse ionique à basse, moyenne et haute pressions.

Le polyéthylène haute densité (PEhd)

Ces polyéthylènes à très haut poids moléculaire prennent place dans la gamme des masses volumiques moyennes à hautes. Pour la polymérisation on utilise principalement les catalyseurs Ziegler-Natta et les catalyseurs au chrome (Phillips).

Propriétés physiques

Les matériaux en polyéthylène sont opaques en forte épaisseur et transparents en films. Pour une épaisseur donnée, la transparence est d'autant plus importante que la masse volumique est faible.

La perméabilité varie à l'inverse de la masse volumique. Les polyéthylènes sont peu perméables à la vapeur d'eau, par contre leurs propriétés barrières sont assez faibles pour d'autres gaz.

Vapeur d'eau	4.3.10 ⁻¹⁶
Oxygène	0.2.10 ⁻¹⁶
Gaz carbonique	0.7.10 ⁻¹⁶
Azote	0.06.10 ⁻¹⁶

Perméabilité volumique aux gaz du PEhd (en m².Pa⁻¹.s⁻¹) [2] [4]

Le polyéthylène (C₂H₄)

Propriétés mécaniques

A 23° C, ces matériaux semi cristallins sont au dessus de leur température de transition vitreuse (Tv = 100°C) ; leur phase amorphe est caoutchoutique ; ceci est sensible au niveau des propriétés mécaniques.

Propriétés	Unités	PEbd	PEbdl	PEhd
Masse volumique	g/cm ³	0.918-0.935	0.915-0.940	>0.955
Indice de fluidité (190°C)	g/10 min	0.2-6	0.9-4	0.3-18
Contrainte au seuil d'écoulement (traction)	MPa	8-15.5	9-20	25-30
Résistance rupture	MPa	9-23	20-30	30-35
Allongement rupture	%	150-1000	600-1200	500-1100
Module d'élasticité en traction	MPa	200-500	200-600	800-1100
Dureté shore D	-	40-47	46-63	66

Les propriétés mécaniques de différents types du PE^{[2] [4]}

Les propriétés mécaniques sont améliorées si les macromolécules sont orientées dans le sens de l'effort soit par technique de mise en œuvre, soit par le post-étirage pour des films, fils ou bandelettes.

La résistance au choc des PE est très élevée.

Propriétés chimiques^{[2] [4]}

- Les polyéthylènes possèdent une très grande stabilité chimique. A des températures inférieures à 60° C, ils sont pratiquement insolubles. Ils ne sont attaqués ni par les acides, sauf les oxydants, ni par les bases, ni par les solutions de sels, d'où leur utilisation en vaisselle de chimie. Ils sont insolubles dans l'eau et sont reconnus utilisables pour des applications alimentaires (bouteilles de lait par exemple)
- Les polyéthylènes sont sensibles à la fissuration sous contrainte en présence de savons, alcools, détergents... Un polyéthylène refroidi lentement, donc moins cristallin, est moins perméable aux solvants
- Les polyéthylènes sont sensibles, en ambiance naturelle, à l'action des ultraviolets en présence d'oxygène. Pour palier à cet inconvénient, ils sont chargés de poudre de carbone, 2 à 3 %, ou de stabilisants lumière

Le polyéthylène (C₂H₄)

Propriétés électriques ^{[2] [4]}

Les polyéthylènes sont d'excellents isolants électriques pour des conditions d'ambiance variées. Ils ont une résistivité et une rigidité diélectrique élevées.

Propriétés	Unités	PEbd	PEbdl	PEhd
Masse volumique	kg/m ³	0.918-0.935	0.915-0.940	>0.955
Permittivité relative à -10 ⁶ Hz-	–	2.28-2.3		
Facteur de pertes diélectriques -10 ⁶ Hz-	–	2.10 ⁻⁴		
Rigidité diélectrique	kV/mm	>65 pour épaisseur de 0.4mm		
Résistivité transversale	Ω.cm	1.10 ¹⁸		

Les propriétés électriques de différents types du PE ^[2]

Propriétés thermiques ^{[2] [4]}

- La fusion des polyéthylènes est étalée. La température maximale de fusion augmente avec la masse volumique
- Les polyéthylènes sont classés M4 (tenue au feu) à l'essai par rayonnement. Ils brûlent avec une flamme bleutée et ils « gouttent »
- En l'absence de contraintes, le polyéthylène haute densité peut supporter une température de 110 à 120° C (stérilisation par exemple). Cette température décroît sous une charge et augmente avec la réticulation. Le passage de la température de transition vitreuse est d'autant moins sensible que le polyéthylène est cristallin.
- La température de ramollissement dépend également de la charge, elle est généralement d'environ 80°C.
- Le pouvoir calorifique inférieur est de 43 MJ/kg ^[3]

Le polyéthylène (C₂H₄)

Mise en forme et applications

Films

Il s'agit de la plus importante des applications. Les usages sont très variés. Le polyéthylène doit répondre à plusieurs caractéristiques : souplesse ou rigidité, aptitude à être étiré en film mince, résistance à la déchirure, transparence, pouvoir de rétraction, résistance des soudures...

Les secteurs utilisateurs sont les suivants :

- La sacherie
- L'industrie : emballages thermorétractables, films pour la construction
- L'hygiène : couches bébés
- La plasticulture : serres, tunnels

Le PEbd est utilisé pour le film étirable à froid.

Le PEhd est utilisé dans les secteurs où la rigidité est recherchée comme l'emballage de substitution du papier.

Objets moulés

Le PEhd est très développé dans le secteur industriel : manutention, seau, jouet, mobilier urbain.

Le PEbd est utilisé dans la fabrication de couvercles, capsules, bouchons...

Extrusion soufflage

Ce domaine est principalement réservé au PEhd ; les secteurs sont l'embouteillage rigide : bouteilles, flacons, bidons de lait... et les grands récipients : fosses septiques, fûts.

Le PEhd est aussi utilisé pour la réalisation de tuyauteries gaz, tuyaux sous pression, eau chaude ou encore chauffage par le sol.

Limites d'emploi

- Les PE en l'état sont sensibles à la dégradation thermique. C'est pourquoi les producteurs introduisent, au moment de la fabrication, des stabilisants chaleur qui assure la protection du produit lors de sa mise en œuvre et de son utilisation ultérieure.
- Les PE sont également sensibles à la dégradation par rayonnement ultra violet. Ainsi dans le cas d'articles devant avoir une durée de vie prolongée et exposés à l'extérieur, les producteurs introduisent à la demande des stabilisants UV.
- Les producteurs fournissent des éléments sur la compatibilité de leurs qualités avec différentes substances chimiques.

Type et forme

Les produits sont commercialisés sous forme de granulés, de poudre ($\varnothing < 300\mu\text{m}$, $\varnothing < 800\mu\text{m}$) pour le rotomoulage et selon des procédés spécifiques, de poudre ultrafines ($\varnothing < 100\mu\text{m}$).

Le polyéthylène (C₂H₄)

Des producteurs de PE en Europe de l'Ouest

Société produisant du PEbd et PEhd
Apsell polymeres SNC
BP Amoco Chemicals SNC
Dow
DSM
Elenac
Elf Atochem
Exxon Chemical Polymers
Fina Chemicals
Mobil Petrochemicals International
Repsol Quimica SA
Solvay polyolefins

Tableau récapitulatif des producteurs de PE en Europe [2]

Production et consommation du PE en 2002

- En France [5] :

	production	importation	exportation	consommation
PEhd (x1 000T)	506	425	350	600
PEbd (x1 000T)	768	343	385	538
PEbdl (x1 000T)	465	143	189	277
Totalité des plastiques (MT)	6.7	4	5	5.7

- En Europe de l'ouest [1] [6] [8]

	production	consommation
PEhd (x1 000T)	4800	5065
PEbd + PEbdl (x 1 000T)	7 000	7225
Totalité des plastiques (MT)	52.2	39.7

Le polyéthylène (C₂H₄)

Proportion de PE par filière

La consommation de plastiques en Europe de l'Ouest représente 39.7 MT dont 9% provenant de l'automobile, 7.5% de l'électrique/électronique et 38% de l'emballage ^[7]

- Pour le **domaine automobile** la proportion de polyoléfines (PE + PP) est voisine de 50% des polymères utilisés et celle du PE est de l'ordre de **10%**. Pour une automobile récente la proportion de plastiques en poids est voisine de 12 % mais ces chiffres dépendent de la stratégie des constructeurs ^[5]
- Pour le **domaine de l'électrique/électronique** la proportion de polyoléfines (PE + PP) est voisine de 30% et celle du PE est de **12%** ^{[5] [14]}
- Pour le **domaine de l'emballage**, la proportion de polyoléfines (PE + PP) est proche de 60% et celle du PE est de l'ordre de **45%** ^[5]

Proportion de PE dans les déchets plastiques par filière

Le gisement de déchets plastiques collectés est de 21 MT en Europe de l'Ouest dont 66% provenant de l'emballage, 4% des VHU et 4% des DEEE ^[7].

- **Pour le domaine de l'automobile (VHU)** : après le démantèlement du véhicule en vue du recyclage matière de certains composants (pare chocs, tableau de bord...) et après son broyage, on retrouve les Résidus de Broyage Automobiles (RBA) qui représentent 25% en poids du VHU. Ils sont constitués à 31% de plastiques et de polymères dont **1.5% de PE** ^[9]
- Pour le **domaine des DEEE**, ces déchets sont composés à hauteur de 33 % de plastiques dont environ **8% de PE** ^{[9] [10] [15]}
- Pour le **domaine de l'emballage**, le **PE** est représenté à hauteur de **40%** environ ^{[3] [11]}

Le polyéthylène (C₂H₄)

Coût de la matière plastique et des déchets plastiques PE

NOTA : L'ensemble des données concernant les coûts d'achat, d'enlèvement, de traitement, de transport ou encore de location de matériel est notifié à titre indicatif. Ces valeurs correspondent à des moyennes nationales et des cas généraux définis qui ne prennent pas en considération les disparités pouvant se manifester dans un contexte local ou particulier.

Coût de la matière plastique PE

Les chiffres suivants sont les prix moyens mensuels HT sur le marché français (en €/kilos) [12].

Type de PE	Janvier 2004	Février 2004	Mars 2004	Avril 2004	Mai 2004	Juin 2004	Juillet 2004	Août 2004	Septembre 2004	Octobre 2004
PEbd	0.851	0.901	0.915	0.905	0.890	0.920	0.960	0.988	1.058	1.125
PEhd soufflage	0.763	0.818	0.825	0.825	0.820	0.838	0.874	0.905	0.980	1.053
PEhd THPM	1.315	1.360	1.360	1.360	1.360	1.360	1.410	1.410	1.460	1.510
PEhd Injection	0.771	0.826	0.835	0.835	0.830	0.839	0.869	0.890	0.975	1.025

Type de PE	Novembre 2004	Décembre 2004	Janvier 2005
PEbd	1.178	1.226	1.230
PEhd soufflage	1.078	1.108	1.113
PEhd THPM	1.510	1.610	1.650
PEhd Injection	1.073	1.093	1.095

Le polyéthylène (C₂H₄)

Coût des déchets plastiques

Les prix suivants sont des prix indicatifs HT en €/Tonne ^[13] à l'enlèvement par négociant spécialisé pour des quantités de 1 à 5 tonnes maximum, quantités moyennes et marchandises propres. Ces prix s'étendent pour des quantités bien séparées, propres sans matières étrangères.

Lorsque le signe – apparaît devant un prix cela signifie que le déchet est enlevé pour ce tarif, et non qu'il est acheté ; lorsque aucun signe n'apparaît cela signifie que le déchet est acheté pour le prix indiqué.

Les prix d'autres qualités recyclables sont très variables et nécessitent toujours la présentation d'échantillons. De plus les prestations d'enlèvement feront l'objet d'une facturation séparée (cf sous le tableau).

Polyéthylène	Janvier 2004	Février 2004	Mars 2004	Avril 2004	Mai 2004	Juin 2004	Juillet 2004	Août 2004
Film/housse mélangées étirables +	-30	-20	-40	-40	-40	-40	-30	-30
Films agricoles à laver	-170	-170	-170	-170	-170	-170	-170	-170
Films étirables naturel à laver	15	25	5	5	5	5	15	15
Housses couleurs à laver	10	20	20	20	20	20	20	20
Housses naturelles à laver	90	100	100	100	100	100	110	110
Flaconnages PEhd à laver	40	40	40	40	40	40	40	40
Déchets neufs couleurs PEbd	95	95	95	95	95	95	95	95
Déchets neufs naturels PEbd	130	130	130	130	130	130	130	130
Déchets neufs PEhd	45	45	45	45	45	45	45	45

Polyéthylène	Septembre 2004	Octobre 2004	Novembre 2004	Décembre 2004	Janvier 2005	Février 2005
Film/housse mélangées + étirables	0	15	25	15	-25	-20
Films agricoles à laver	-170	-170	-170	-170	-170	-170
Films étirables naturel à laver	35	45	55	45	5	15
Housses couleurs à laver	25	35	45	45	45	50
Housses naturels à laver	120	135	145	145	145	150
Flaconnages PEhd à laver	40	40	50	50	50	55
Déchets neufs couleurs PEbd	105	115	125	125	125	125
Déchets neufs naturels PEbd	145	155	165	165	165	165
Déchets neufs PEhd	55	65	75	75	75	75

Le polyéthylène (C₂H₄)

Coûts de traitement et des prestations d'enlèvement

Ces montants sont des prix indicatifs HT selon une référence et une moyenne nationale (hors fluctuations du marché).
[12]

Montant moyen des prestations

Transport ramassage :

- Camion seul : 70 €/h
- Camion + remorque : 80 €/h

Location de matériel :

- Benne 25/30 m³ : environ 92 €/mois
- Benne de compacteurs : 115 €/mois
- Compacteur + benne : 880 €/mois

Coût de traitement moyen des produits à la tonne

- Tri contrôle mise en balle : 76 €/T
- Broyage : 150 €/T
- Lavage séchage : 152 €/T
- Micronisation : 150 €/T
- Granulation : 230 €/T

3- Fiche 2 : LE POLYPROPYLENE (C₃H₆)

Le polypropylène (C₃H₆)

Définition

Les polypropylènes (PP) sont des matériaux thermoplastiques semi cristallins obtenus par la polymérisation du propylène qui est lui-même obtenu par le vapo-craquage des hydrocarbures, en même temps que l'éthylène. Ils existent sous 3 formes : PP isotactique, syndiotactique et atactique ; qui dépendent du mode d'organisation des groupes méthyle par rapport au plan de la chaîne.

Cependant le polypropylène n'est intéressant industriellement que sous sa forme isotactique dont le taux d'isotacticité se situe entre 90 et 98%. L'isotacticité est obtenue par l'emploi de catalyseurs ioniques de type Ziegler-Natta (chlorure de titane/dérivé de chlorure d'aluminium) dits stéréospécifiques.

Les polypropylènes isotactiques se répartissent en 3 familles :

- Les homopolymères : obtenus par polymérisation d'un seul monomère : le propylène. On recherche l'isotacticité maximale. Ils ont une grande rigidité et une faible tenue au choc à froid.
- Les copolymères statistiques : obtenus par copolymérisation du propylène et de l'éthylène. Ces copolymères plus souples, sont caractérisés par de bonnes propriétés optiques en film et une tenue au choc moyenne sous forme de pièces injectées.
- Les copolymères séquencés : obtenus par la polymérisation successive du propylène et de l'éthylène. Ils sont caractérisés par une excellente tenue au choc à froid, au détriment de la rigidité.

Propriétés physiques

Le polypropylène est le plus léger des thermoplastiques usuels : sa masse volumique est de 0.905g/cm³. Les pièces refroidies rapidement présentent une densité plus basse et une structure cristalline plus fine.

La perméabilité dépend essentiellement du taux de polymère atactique car la pénétration des gaz se produit particulièrement au niveau de la phase amorphe. La perméabilité à la vapeur d'eau est très faible, ce qui permet son emploi dans les films de protection contre l'humidité.

Vapeur d'eau	4.3.10 ⁻¹⁶
Oxygène	0.2.10 ⁻¹⁶
Gaz carbonique	0.7.10 ⁻¹⁶
Azote	0.06.10 ⁻¹⁶

Perméabilité volumique aux gaz du PP (en m².Pa⁻¹.s⁻¹) [2] [4]

Le polypropylène (C₃H₆)

Propriétés mécaniques ^{[2] [4]}

Propriétés	Unités	PP homopolymère	PP copolymère séquencé	PP copolymère statistique
Masse volumique	g/cm ³	0.905	0.900	0.900
Indice de fluidité (230° C ; 2,16 kg)	g/10 min	2.5	3-40	5
Contrainte au seuil d'écoulement (traction)	MPa	32	24	24
Allongement rupture	%	800-1000	800-1000	–
Module d'élasticité en traction	MPa	1200-1000	1000	–
Dureté shore D	–	–	48	29
Température de fragilité à froid	° C	20	-35 - -2	0

Tableau récapitulatif des propriétés mécaniques du PP

La dureté du polypropylène homopolymère est supérieure à celle du PEhd et la rigidité du PP homopropylène à 100° C est comparable à celle d'un PEbd à température ambiante. Par conséquent, les objets en PP peuvent être stérilisés à la vapeur de manière répétée.

La résistance au choc du PP dépend de sa composition, de sa masse moléculaire, de l'orientation moléculaire et du degré de cristallinité. La résistance au choc d'un polymère augmente avec sa masse moléculaire et varie dans le même sens que la température.

La résistance à l'abrasion est bonne, voisine de celle des polyamides. Les articles ont une surface brillante et une résistance à la rayure excellente.

Le polypropylène a d'excellentes propriétés en flexion répétée, d'où son utilisation pour la réalisation de charnières intégrées à la pièce injectée.

Propriétés chimiques ^{[2] [4]}

- Les polypropylènes possèdent une très grande stabilité chimique. A des températures inférieures à 60° C, ils sont pratiquement insolubles. Ils ne sont attaqués ni par les acides, ni par les bases, ni par les solutions de sels. Ils sont insolubles dans l'eau et sont reconnus utilisables pour des applications alimentaires.
- Les polypropylènes présentent une excellente résistance à la fissuration sous contraintes en présence de savons, détergents, alcools...
- La bonne résistance à l'oxydation est réduite au contact du cuivre et de ses alliages.
- Les polypropylènes, en ambiance naturelle, sont sensibles à la dégradation par les rayons ultra violets. Les producteurs proposent, ou réalisent à la demande, des produits stabilisés.

Le polypropylène (C₃H₆)

Propriétés électriques ^{[2] [4]}

Les polypropylènes sont d'excellents isolants électriques pour des conditions variées d'ambiance.

Propriétés	Unités	Polypropylène Homo et copolymère
Permittivité relative -10 ⁶ Hz-	–	2.2-2.3
Facteur de pertes diélectriques -10 ⁶ Hz-	–	3.10 ⁴
Rigidité diélectrique	kV/mm	40
Résistivité transversale	Ω.cm	>10 ¹⁶

Tableau récapitulatif des propriétés électriques du PP

Propriétés thermiques ^{[2] [4]}

- La température de fusion théorique d'un polypropylène homopolymère 100% isotactique est de 176° C. En pratique, les fractions inévitables de polypropylène atactique ramènent cette température à 165-170° C.
- La température de ramollissement est dépendante de la composition du plastique, elle peut atteindre 130°C.
- Les polypropylènes sont classés M4 (tenue au feu).
- En l'absence de contraintes, le polypropylène homopolymère peut supporter une température de 140° C (stérilisation répétée). Cette température décroît néanmoins sous charge.

Le pouvoir calorifique inférieur est de 43 MJ/kg.

Le polypropylène (C₃H₆)

Mise en forme et applications

Techniques de transformation et applications	PP
Injection : jouets, électricité, automobile...	65%
Extrusion : câbles, tubes, profilés, plaques et feuilles...	20%

Textile

Dans le domaine du textile, sa faible densité, sa haute ténacité et son imputrescibilité font du polypropylène homopolymère le matériau de choix, mais il faut rappeler son inaptitude à la teinture en l'état.

- Sous la forme de fibres et de filaments pour la moquette, linge, tissus...
- Sous forme de non tissés et de ouate
- Le secteur des géotextiles en travaux publics.

Emballages

Dans ce domaine le polypropylène est présent sous forme de films extrudés, de récipients à parois minces, de barquettes thermoformées ou de corps creux.

Automobiles

Dans le domaine automobile, les pièces injectées représentent le marché le plus important et toujours l'un des plus porteurs.

- Dans la carrosserie le PP est adopté pour les pare-chocs, les panneaux de protections latéraux... (environ 50% des polymères utilisés) ;
- Dans l'habitacle, les principaux domaines d'application sont la boîte à gant, les éléments du tableau de bord, les doublures de garnitures et les supports de sièges.

Limites d'emploi

- Les PP en l'état sont sensibles à la dégradation thermique. Les producteurs introduisent au moment de la fabrication des stabilisants chaleur qui assurent la protection du produit lors de sa mise en œuvre et de son utilisation ultérieure.
- Ils sont également sensibles à la dégradation par rayonnement ultra violet. Ainsi dans le cas d'articles devant avoir une durée de vie prolongée et exposés à l'extérieur, les producteurs introduisent à la demande des stabilisants UV.
- Les producteurs fournissent des éléments sur la compatibilité de leurs qualités avec différentes substances chimiques.

Type et forme

Les produits sont commercialisés sous forme de granulés.

Le polypropylène (C₃H₆)

Des producteurs de PP en Europe de l'Ouest

Producteurs	Capacité en millions de tonnes
Montell (Shell)	1.7
Targor (Hoechst/Basf)	1.7
Appryl (ATO/BP)-Amoco	1.2
Borealis	1.2
DSM	0.9
Repsol	0.42
Total/Petrofina	0.38
Solvay Polyolefins	0.36
Dow	0.25
Total	8.11

Tableau récapitulatif des producteurs de PP en Europe ^{[2] [4]}

Production et consommation du PP en 2002

- En France ^[5] :

	production	importation	exportation	consommation
PP (x1 000T)	1 500	350	750	966
Totalité des plastiques (MT)	6.7	4	5	5.7

- En Europe de l'ouest ^{[1] [6] [8]}

	production	consommation
PP (x1 000T)	8600	7725
Totalité des plastiques (MT)	52.2	39.7

Le polypropylène (C₃H₆)

Proportion de PP consommé par filière

La consommation de plastiques en Europe de l'Ouest représente 39.7 MT dont 9% provenant de l'automobile, 7.5% de l'électrique/électronique et 38% de l'emballage ^[7].

- Pour le **domaine automobile** la proportion des polyoléfinés (PE + PP) est voisine de **50%** des polymères plastiques utilisés et celle du PP est de l'ordre de **40%**. Pour une automobile récente la proportion de plastiques en poids est voisine de 12 % mais dépend de la stratégie des constructeurs ^[5]
- Pour le **domaine de l'électrique/électronique** la proportion de polyoléfinés (PE + PP) est voisine de 30% et celle du PP est de **14 %** ^{[5] [14]}
- Pour le **domaine de l'emballage**, la proportion de polyoléfinés (PE + PP) est de 60% et celle du PP est de l'ordre de **15%** ^[5]

Proportion de PP dans les déchets plastiques par filière

Le gisement de déchets plastiques collectés est de 21 MT en Europe de l'Ouest dont 66% provenant de l'emballage, 4% des VHU et 4% des DEEE.

- **Pour le domaine de l'automobile (VHU)** : après le démantèlement du véhicule en vue du recyclage matière de certains composants (pare chocs, tableau de bord...) largement composé de PP et après son broyage, on retrouve les Résidus de Broyage Automobiles (RBA) qui représentent 25% en poids du VHU. Ils sont constitués à 31% de plastiques et de polymères dont **4% de PP**. ^[9]
- Pour le **domaine des DEEE**, ces déchets sont composés à hauteur de 33 % de plastiques dont environ **8% de PP** ^{[9] [10] [15]}
- Pour le **domaine de l'emballage**, le **PP** est représenté à hauteur de **13%** environ ^{[3] [11]}

Le polypropylène (C₃H₆)

Coût de la matière plastique et des déchets plastiques PP

NOTA : L'ensemble des données concernant les coûts d'achat, d'enlèvement, de traitement, de transport ou encore de location de matériel est notifié à titre indicatif. Ces valeurs correspondent à des moyennes nationales et des cas généraux définis qui ne prennent pas en considération les disparités pouvant se manifester dans un contexte local ou particulier.

Coût de la matière plastique PP

Les chiffres suivants sont les prix moyens mensuels HT sur le marché français (en €/kilos) [12]

Type de PP	Janvier 2004	Février 2004	Mars 2004	Avril 2004	Mai 2004	Juin 2004	Juillet 2004	Août 2004	Septembre 2004	Octobre 2004
PP homo injection	0.775	0.809	0.819	0.825	0.830	0.848	0.880	0.895	0.937	1.038
PP copolymère	0.825	0.859	0.869	0.870	0.870	0.884	0.925	0.940	0.977	1.040

Type de PP	Novembre 2004	Décembre 2004	Janvier 2005
PP homo injection	1.049	1.045	1.061
PP copolymère	1.061	1.085	1.106

Coût des déchets plastiques

Les prix suivants sont des prix indicatifs HT en €/T [13] à l'enlèvement par négociant spécialisé pour des quantités de 1 à 5 T maximum, quantités moyennes et marchandises propres. Ces prix s'étendent pour des quantités bien séparées, propres sans matières étrangères.

Lorsque le signe – apparaît devant un prix cela signifie que le déchet est enlevé pour ce tarif, et non qu'il est acheté ; lorsque aucun signe n'apparaît cela signifie que le déchet est acheté pour le prix indiqué.

Les prix d'autres qualités recyclables sont très variables et nécessitent toujours la présentation d'échantillons. De plus les prestations d'enlèvement feront l'objet d'une facturation séparée (cf sous le tableau)

Polypropylène	Janvier 2004	Février 2004	Mars 2004	Avril 2004	Mai 2004	Juin 2004	Juillet 2004	Août 2004
Déchets à broyer	55	55	55	55	55	55	55	55
Films couleurs imprimés	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10
Films naturels	165	165	165	165	165	165	165	165

Polypropylène	Septembre 2004	Octobre 2004	Novembre 2004	Décembre 2004	Janvier 2005	Février 2005
Déchets à broyer	70	85	85	85	85	85
Films couleurs imprimés	-5	10	20	20	20	20
Films naturels	180	195	205	205	205	205

Le polypropylène (C₃H₆)

Coûts de traitement et des prestations d'enlèvement

Pour information :

Montant moyen des prestations

Ces montants sont des prix indicatifs HT selon une référence et une moyenne nationale (hors fluctuations du marché) [12]

Transport ramassage :

- Camion seul : 70 €/h
- Camion + remorque : 80 €/h

Location de matériel :

- Benne 25/30 m³ : environ 92 €/mois
- Benne de compacteurs : 115 €/mois
- Compacteur + benne : 880 €/mois

Coût de traitement moyen des produits à la tonne

- Tri contrôle mise en balle : 76 €/T
- Broyage : 150 €/T
- Lavage-séchage : 152 €/T
- Micronisation : 150 €/T
- Granulation : 230 €/T

4- Fiche 3 : LE POLYSTYRENE (C₈H₈)

Le polystyrène (C₈H₈)

Définition

On distingue selon la composition du matériau, les deux grandes classes de polystyrène (PS) suivantes :

- Le polystyrène standard : il s'agit d'un matériau constitué uniquement de la macromolécule polystyrène. Il est amorphe, totalement transparent comme le cristal, d'où son appellation commune de PS cristal. Il se distingue par son comportement rigide et cassant.
- Le polystyrène choc : il s'agit d'un matériau obtenu par polymérisation du styrène en présence d'un élastomère (caoutchouc). La plupart du temps, l'élastomère utilisé est le polybutadiène. Le matériau obtenu est donc un mélange ou alliage de polybutadiène et de polystyrène. Nous sommes en présence d'un matériau thermoplastique amorphe, opaque (dû à la différence d'indice de réfraction des 2 phases) mais résistants aux chocs.

Selon l'usage final on peut distinguer les familles suivantes :

Pour le PS standard

- Le PS standard chaleur pour l'extrusion
- Le PS standard medium polyvalent pour l'extrusion et l'injection
- Le PS standard fluide pour l'injection et notamment les hautes cadences sur presses

Pour le PS choc

- Le PS demi-choc
- Le PS choc
- Le PS super-choc
- Le PS hyper-choc

Le choix du matériau dépendra des connaissances de son mode de transformation et de son usage final.

Propriétés physico-chimiques ^{[2] [4]}

- Pour le PS standard les propriétés physico chimiques clés sont le profil moléculaire et la teneur en plastifiant (adjuvant mis à la synthèse pour faciliter la mise en œuvre).
- Pour le PS choc les paramètres clés outre ceux du PS standard sont : la morphologie de la phase élastomère, la taille des particules d'élastomère et le niveau de greffage et de réticulation de l'élastomère.

Le polystyrène (C₈H₈)

Propriétés mécaniques et thermiques ^{[2] [4]}

Le pouvoir calorifique moyen est d'environ 40 MJ/kg ^[3]

- **PS standard**

Propriétés thermiques

La tenue thermique est évaluée par le point de ramollissement Vicat, et rend compte des risques de déformation à chaud des pièces finies à l'état solide.

On constate que plus le PS standard est plastifié, plus sa mise en œuvre est facile, mais plus sa tenue thermique est faible.

Pour réaliser des objets finis, exposés à proximité de sources de chaleur, il faudra choisir un PS de Vicat élevé (100° C). Pour réaliser des objets finis ne supportant aucune contraintes thermiques lors de leur usage ultérieur, on pourra choisir un PS de faible Vicat (80° C) présentant l'avantage d'une mise en œuvre très aisée : moindre consommation d'énergie en extrusion, cadences plus élevées en injection.

	PS fluide	PS médium	PS chaleur
Tenue Vicat (° C) Iso 306-49N-50K/h	78	85-90	100-101
T° maxi d'utilisation	70	75-80	90

Tableau représentant les tenues thermiques des classes de PS standard ^{[2] [4]}

Le terme **Iso 306-49N-50K/h** correspond à un essai Vicat normalisé. Une plaque de plusieurs mm d'épaisseur est plongée dans un bain d'huile (qui n'a pas d'effet physique sur le polymère testé). Une aiguille de section circulaire, d'aire 1 mm², appuie verticalement sur la plaque horizontale.

La température de ramollissement Vicat est la température à laquelle une matière présente une déformation pour des conditions de test définies. Dans le cas de la norme Iso 306-49N-50K/h, l'aiguille qui reflète le ramollissement est chargée par une masse voisine de 5kg- 49N et la température du bain d'huile est élevée depuis l'ambiante à 50K/h. On note ensuite la température à laquelle l'enfoncement est de 1mm.

Propriétés mécaniques ^{[2] [4]}

Les PS standard sont rigides et cassants.

- Choc à la rupture <2kJ/m²
- Allongement à la rupture <5%
- Module d'élasticité 3000 à 3300 MPa

Le polystyrène (C₈H₈)

Propriétés mécaniques et thermiques (suite)

- PS choc

Propriétés thermiques [2] [4]

La tenue thermique est inférieure à celle des PS standard.

On peut constater que plus le matériau contient d'élastomère, plus la tenue thermique est faible. D'autre part, plus le matériau est apte à la mise en œuvre, plus la tenue thermique est basse.

Un matériau très choc et très fluide présentera l'inconvénient d'une faible tenue thermique (Vicat 80° C). Par contre, un matériau PS demi choc et très visqueux présentera l'avantage d'une tenue thermique élevée (Vicat 90-95° C)

	PS demi choc	PS choc	PS super choc
Tenue Vicat (° C) Iso 306-49N-50K/h	75-98	75-95	80-92
T° maxi d'utilisation (° C)	88	85	82

Tenues thermiques des classes de PS choc

Propriétés mécaniques [2] [4]

- La tenue aux chocs est conditionnée selon la teneur en polybutadiène. Plus la teneur en polybutadiène est élevée, plus la résistance au choc est élevée ; les teneurs couramment utilisées vont de 2 à 12% couvrant la plage du demi choc à l'hyper choc.
- Les propriétés mécaniques baissent avec la chute de température mais restent acceptable jusqu'à -40°C.

Propriétés électriques [2] [4]

Ces polystyrènes (chocs et standard) sont des matériaux apolaires. Ils conduisent faiblement la chaleur. Les pertes diélectriques sont faibles. On ne pourra donc pas pratiquer le soudage à haute fréquence des pièces.

Polymère	Permittivité relative
PS	2.6-2.7
PS choc	2.4-3.8

Permittivité relative des polymères amorphes de 50Hz à 10⁵ Hz

Le polystyrène (C₈H₈)

Propriétés chimiques ^{[2] [4]}

- Certains produits agressifs peuvent relativement facilement fissurer les PS. Vis-à-vis des produits inorganiques et des produits alimentaires, la résistance des PS est bonne.
- Les PS gonflent et se dissolvent au contact des acides concentrés et des hydrocarbures.

Ils se décomposent vers 300° C et brûlent facilement, entraînant la formation d'oxyde de carbone et de gaz carbonique.

Mise en forme et applications

Techniques de transformation et applications	PS
Injection : jouets, audio-vidéo	57%
Extrusion : films multicouches, profilés, emballages	43%

La principale application est l'emballage (barquette, pot à yaourt, gobeletterie..), la vaisselle jetable, l'électroménager, les réfrigérateurs, les jouets, le domaine de l'audio vidéo (boîtier de cassettes, de compact disques, coffret et face avant de chaîne stéréo, téléviseurs) et les alliages (le PS choc entre dans la composition des mélanges PS-polyphénylène oxyde (PPO)).

Limites d'emploi

Les PS chocs classiques vieillissent vite (oxydation de la phase élastomère).
Les PS sont physiologiquement inertes. Ils peuvent être utilisés au contact des denrées alimentaires.

Type et forme

Les polystyrènes standard et choc existent sous les formes suivantes

- Granulés (cylindriques ou lentilles : longueur 2 mm)
- Perles (sphères d'environ 300-400µm)

Chaque producteur présente une palette de 15 à 30 qualités aux propriétés différentes selon l'application visée.

Le polystyrène (C₈H₈)

Production et consommation du PS en 2002

- En France ^[5]

	production	importation	exportation	consommation
PS (x1000T)	415	129	208	270
PSE (x1000T)	193	65	118	121
Totalité des plastiques (MT)	6.7	4	5	5.7

- En Europe de l'Ouest ^{[1] [6] [8]}

	production	consommation
PS *(x1000T)	3700	2960
Totalité des plastiques (MT)	52.2	39.7

*PS + PSE (polystyrène expansé)

Proportion de PS consommé par filière

La consommation de plastiques en Europe de l'Ouest représente 39.7 MT dont 9% provenant de l'automobile, 7.5% de l'électrique/électronique et 38% de l'emballage ^[7]

- Pour le **domaine automobile** la proportion de PS est de l'ordre de **5%** des polymères plastiques utilisés. Pour une automobile récente la proportion de plastiques en poids est voisine de 12% mais dépend de la stratégie des constructeurs ^[5]
- Pour le **domaine de l'électrique/électronique** la proportion de PS est voisine de **14%** ^{[5] [14]}
- Pour le **domaine de l'emballage**, la proportion de PS est de l'ordre de **15%** ^[5]

Proportion de PS dans les déchets plastiques par filière

Le gisement de déchets plastiques collectés est de 21 MT en Europe de l'Ouest dont 66% provenant de l'emballage, 4% des VHU et 4% des DEEE ^[7]

- Pour le domaine de l'automobile (VHU)** : après le démantèlement du véhicule en vue du recyclage matière de certains composants (pare chocs, tableau de bord...) largement composé de PP et après son broyage, on retrouve les Résidus de Broyage Automobiles (RBA) qui représentent 25% en poids du VHU. Ils sont constitués à 31% de plastiques et de polymères dont **un très faible pourcentage de PS** ^[9]
- Pour le **domaine des DEEE**, ces déchets sont composés à hauteur de 33 % de plastiques dont environ **15% de PS** ^{[9] [10] [15]}
- Pour le **domaine de l'emballage**, le **PS** est représenté à hauteur de **5%** environ ^{[3] [11]}

Le polystyrène (C₈H₈)

Coût de la matière plastique et des déchets plastiques PS

NOTA : L'ensemble des données concernant les coûts d'achat, d'enlèvement, de traitement, de transport ou encore de location de matériel est notifié à titre indicatif. Ces valeurs correspondent à des moyennes nationales et des cas généraux définis qui ne prennent pas en considération les disparités pouvant se manifester dans un contexte local ou particulier.

Coût de la matière plastique PS

Les chiffres suivants sont les prix moyens mensuels HT sur le marché français (en €/kilos) ^[12]

Type de PS	Janvier 2004	Février 2004	Mars 2004	Avril 2004	Mai 2004	Juin 2004	Juillet 2004	Août 2004
PS cristal	0.886	0.910	0.923	0.950	0.980	1.020	1.096	1.265

Type de PS	Septembre 2004	Octobre 2004	Novembre 2004	Décembre 2004	Janvier 2005
PS cristal	1.397	1.505	1.476	1.345	1.204

Coût des déchets plastiques

Les prix suivants sont des prix indicatifs HT en €/T ^[13] à l'enlèvement par négociant spécialisé pour des quantités de 1 à 5 tonnes maximum, quantités moyennes et marchandises propres. Ces prix s'étendent pour des quantités bien séparées, propres sans matières étrangères.

Lorsque le signe – apparaît devant un prix cela signifie que le déchet est enlevé pour ce tarif, et non qu'il est acheté ; lorsque aucun signe n'apparaît cela signifie que le déchet est acheté pour le prix indiqué.

Les prix d'autres qualités recyclables sont très variables et nécessitent toujours la présentation d'échantillons. De plus les prestations d'enlèvement feront l'objet d'une facturation séparée (cf. sous le tableau).

Polystyrène	Janvier 2004	Février 2004	Mars 2004	Avril 2004	Mai 2004	Juin 2004	Juillet 2004	Août 2004
Déchets à broyer	50	50	50	50	50	50	60	60

Polypropylène	Septembre 2004	Octobre 2004	Novembre 2004	Décembre 2004	Janvier 2005	Février 2005
Déchets à broyer	75	90	105	85	65	65

Le polystyrène (C₈H₈)

Coûts de traitement et d'enlèvement

Pour information :

Ces montants sont des prix indicatifs HT selon une référence et une moyenne nationale (hors fluctuations du marché) [12]

Montant moyen des prestations

Transport ramassage :

- Camion seul : 70 €/h
- Camion + remorque : 80 €/h

Location de matériel :

- Benne 25/30 m³ : environ 92 €/mois
- Benne de compacteurs : 115 €/mois
- Compacteur + benne : 880 €/mois

Coût de traitement moyen des produits à la tonne

- Tri contrôle mise en balle : 76 €/T
- Broyage : 150 €/T
- Lavage séchage : 152 €/T
- Micronisation : 150 €/T
- Granulation : 230 €/T

Chapitre 3 : LES FILIERES DE VALORISATION

Ce chapitre est divisé en 3 parties :

- la valorisation matière ;
- la valorisation énergétique ;
- la valorisation « mixte » matière/énergie.

Pour chacune de ces parties, les procédés de valorisation s'y référant seront développés. Une fiche de synthèse détaillant le procédé technique, ses avantages et inconvénients et son potentiel a été élaborée pour chaque procédé recensé.

La réalisation de ces fiches a fait l'objet de recherches bibliographique et d'échanges avec les professionnels et experts du domaine.

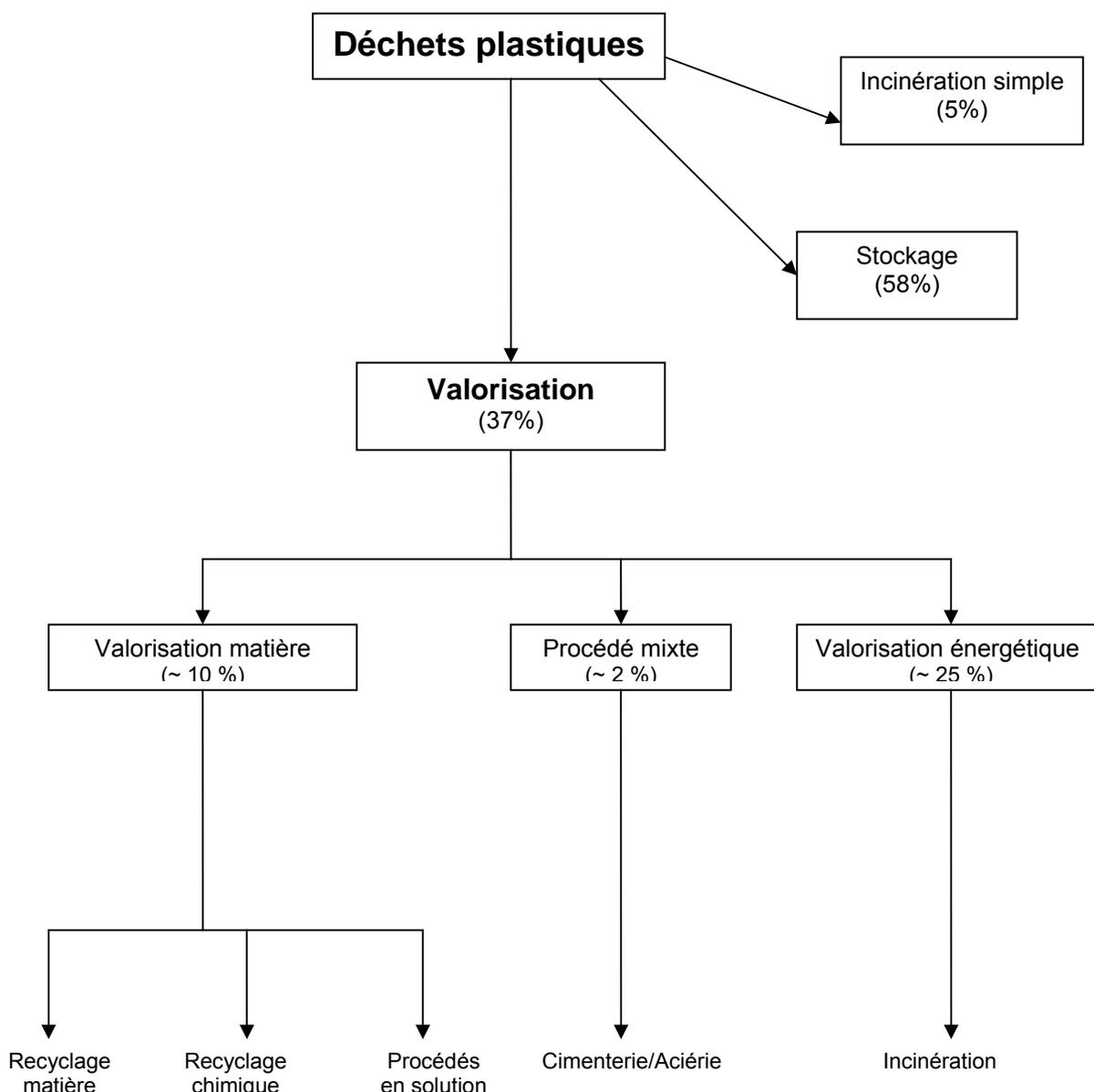
NOTA : *Ces fiches références viennent renseigner l'utilisateur quant aux divers procédés de valorisation dénombrés à l'heure actuelle et permettent ainsi d'appréhender au mieux les informations recensées au sein de la méthodologie multicritères développée au chapitre relatif à la méthodologie multicritères.*

Avant de développer les divers procédés de valorisation, il est essentiel de rappeler succinctement les modes de traitement des déchets plastiques et d'introduire la notion d'entropie.

1- Préambule

Les divers modes de traitement des déchets plastiques

Le synoptique qui suit indique les divers modes de traitement actuel des déchets plastiques ainsi que leur répartition.



Les modes de traitement et d'élimination des déchets plastiques et leur répartition en 2002 ^[1]

NOTA : Une étape de tri est fondamentale et nécessaire pour l'orientation des déchets plastiques vers les filières de la valorisation matière mais n'est pas indispensable pour les filières de la valorisation énergétique.

Le stockage est la voie la plus employée mais tend à décroître à la vue d'une réglementation portée vers la valorisation et la forte diminution du stockage des déchets.

L'incinération simple, quant à elle, est une pratique marginale vouée à disparaître. Ce procédé est utilisé principalement dans les unités d'incinération en fin de vie ou de petite capacité. Aucune valorisation n'est alors réalisée.

Les déchets plastiques ne sont pas fermentescibles ; ainsi les procédés comme la méthanisation et le compostage ne sont pas adaptés en vue d'une valorisation énergétique.

Les cas de la cimenterie et de l'aciérie sont des procédés spécifiques puisque combinant à la fois une valorisation matière (incorporation des cendres de combustion dans le ciment) et une valorisation énergétique permettant la production d'électricité et/ou de vapeur d'eau et représente un pourcentage peu élevé comparé aux deux autres voies de valorisation.

Ainsi, la voie de la valorisation matière est actuellement une voie moins représentée que celle de la valorisation énergétique. Néanmoins, ces proportions sont en constante mutation du fait de l'influence de la réglementation dans ce domaine. En effet, la réglementation joue un rôle très prépondérant dans l'évolution et le développement d'une voie de valorisation. Actuellement, elle tend à favoriser, au regard des taux et objectifs de valorisation fixés, la valorisation matière. La distribution et la proportion des filières de traitement des déchets plastiques n'est donc pas figé et se dirige vers une voie où la valorisation est de plus en plus omniprésente, au détriment du stockage et de l'incinération simple.

L'entropie thermodynamique

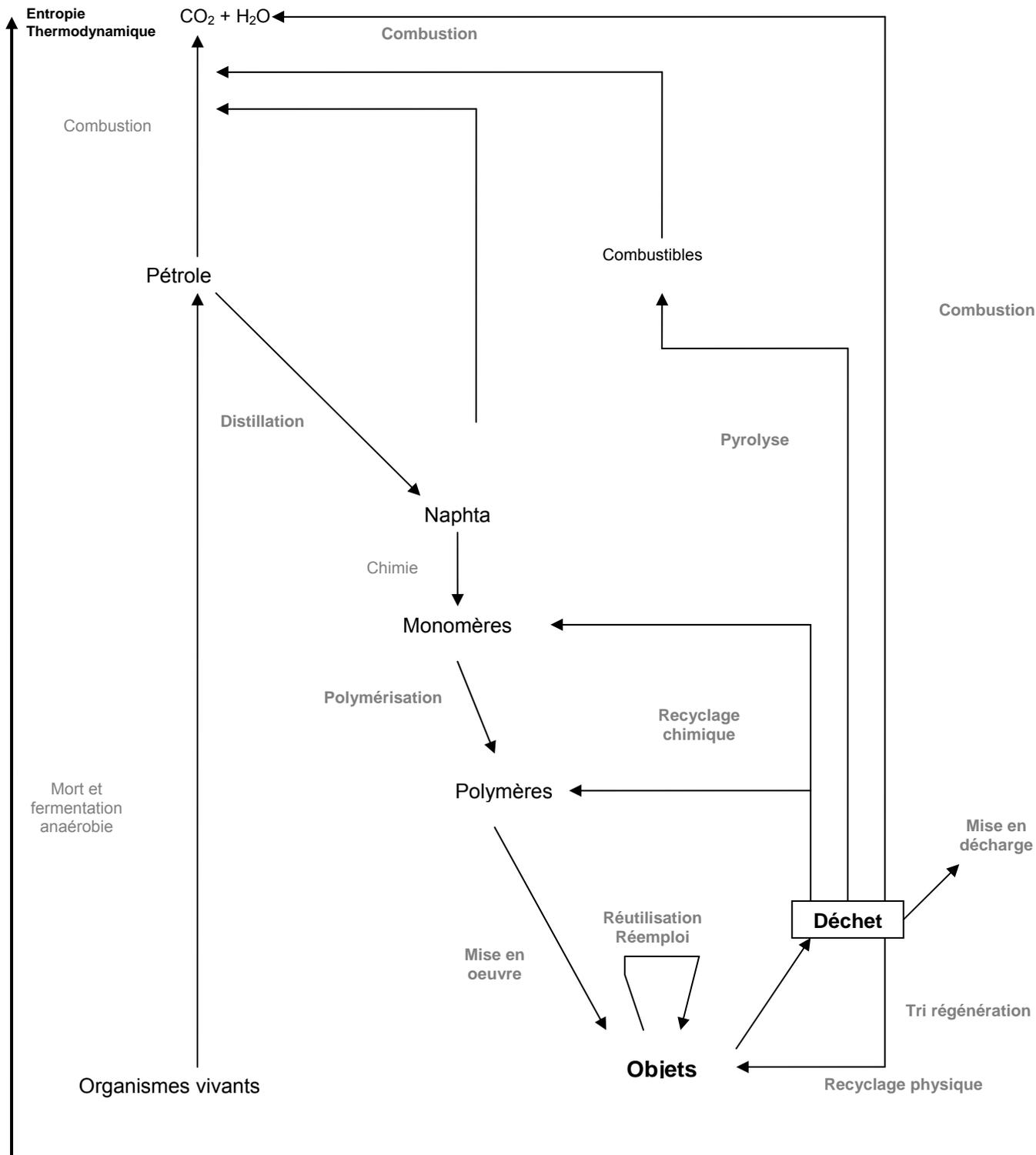
Outre les aspects économique, réglementaire ou encore technique ; la notion d'entropie est un point important en terme de valorisation.

Simplement, l'entropie est liée à la notion de désordre. On considère l'entropie minimum comme un état de la matière pure où toutes les particules sont complètement au repos, donc au zéro absolu, et parfaitement bien rangées.

Toute modification de la matière modifie cet état de repos et fait varier positivement ou négativement l'entropie.

Si l'on admet que l'augmentation de l'entropie est inévitable, un des objectifs peut être de la retarder. Par exemple, recycler un emballage banal, à durée de vie courte, en un tissu ou en tuyau à durée de vie incomparablement plus longue peut être intéressant. Pour nous renseigner sur la meilleure solution à adopter, une analyse complète, type écobilan ou ACV, devra être effectuée.

Le synoptique qui suit est seulement qualitatif et donne un aspect général de la variation de l'entropie selon le mode de valorisation ou d'élimination.



Variation de l'entropie selon le mode de traitement des déchets plastiques^[1]

L'entropie statistique

L'étape de tri, et donc la détermination et la connaissance de la granulométrie d'un élément, joue un rôle fondamental dans la notion de l'entropie. En effet, la granulométrie permet de convertir la masse d'un gisement en nombre d'éléments. A partir du nombre d'éléments de chaque catégorie, on peut alors définir l'entropie du « tas » : l'entropie statistique.

Le tri permet donc une répartition de la nature et de la taille des éléments et engendre ainsi une augmentation de l'entropie statistique.

2- PARTIE 1 : LA VALORISATION MATIERE

Cette partie est composée des 2 « fiches procédés » suivantes :

- Fiche 1 : Le recyclage physique regroupant le recyclage matière et les procédés en solution ;
- Fiche 2 : Le recyclage chimique

Fiche 1 : Le recyclage physique

RECYCLAGE PHYSIQUE - Recyclage matière

Définition et procédé

La chaîne du recyclage matière : la première partie de la chaîne de tri

Elle est liée aux notions de tri et de collecte sélective. Ce tri commence à la source ; il est le fait des utilisateurs. L'apport se fait suivant divers modes : dans les poubelles ou bacs pour le ramassage en porte à porte, dans des points de tri ou dans des déchetteries. Suite à la collecte et au transport de ces déchets en centre de tri, les déchets sont re-triés de façon manuelle et automatique.

En centre de tri, les différentes technologies de tri reposent sur différents principes : le tri aérouique, le tri électrostatique, le tri hydraulique, le tri magnétique, le tri optique et le tri thermique. Ces procédés sont généralement précédés par une opération de séparation pouvant se faire à l'aide d'un trommel, d'un crible, d'un séparateur ou encore d'une table inclinée. Dans certains cas et selon les types de déchets, le tri peut également être manuel ; cas des DEEE. Les opérations de séparation et les systèmes d'identification des déchets sont adaptés à la composition du flux entrant.

Les déchets sont ensuite mis en balles pour diminuer leur volume puis sont transportés vers les usines de régénération ou de recyclage.

La qualité du tri doit permettre de respecter les Prescriptions Techniques Minimales (PTM) fixées par Valorplast et les recycleurs.

Lors du tri, une certaine quantité de déchets est considérée comme non conforme et ne peut participer au flux du recyclage matière. Suivant les possibilités, ils sont alors incinérés, de préférence dans des usines permettant la récupération d'énergie ou bien, considérés comme des déchets ultimes et mis en décharge.

La seconde partie de la chaîne du recyclage matière

La filière du recyclage matière regroupe 4 grands métiers ^[2] :

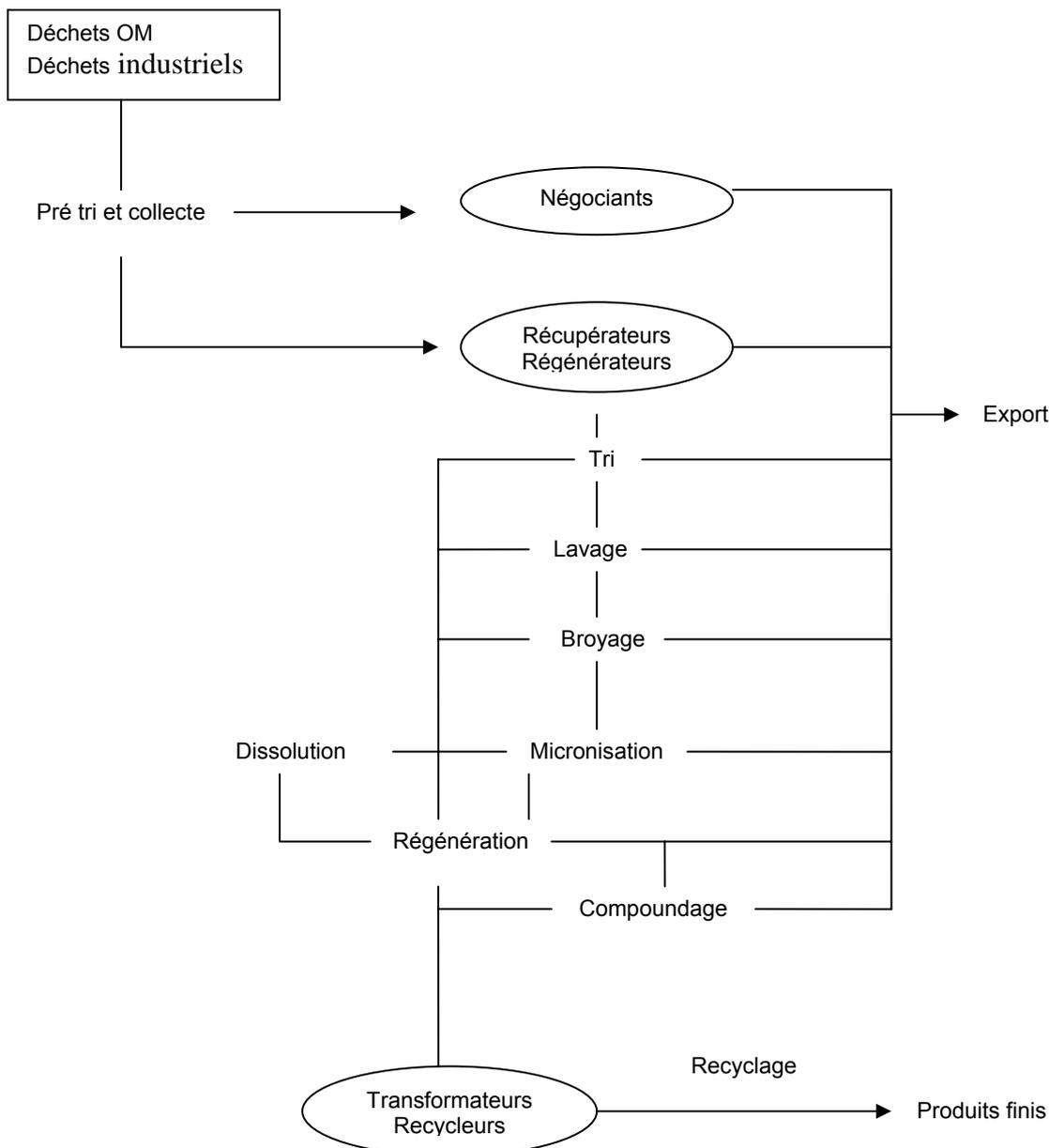
- Les récupérateurs : ils vendent des matières récupérées et triées. Leurs activités incluent la collecte, la négoce, le tri et le conditionnement (54%).
- Les broyeurs : ils vendent de la matière broyée et éventuellement lavée (17%).
- Les recycleurs : ils vendent des produits finis ou semi finis ; des granulés ou des poudres régénérées (23%).
- Les rénovateurs : ils vendent des produits usagés rénovés pour réutilisation (6%).

RECYCLAGE PHYSIQUE - Recyclage matière

Définition et procédé (suite)

Le synoptique qui suit est un schéma simplifié de la chaîne du recyclage matière après tri à la source :

NOTA : le modèle présenté ci après n'intègre pas les rénovateurs qui interviennent sur des gisements différents.



Synoptique de la seconde partie de la chaîne de recyclage matière [1]

Une fois regroupés, avec respect des PTM, les lots de matières, sont en général, lavés, triés à nouveau, puis selon les cas, réduits en paillettes ou micronisés, et si nécessaire, régénérés ou mélangés. On obtient alors des matières premières « secondaires » susceptibles d'être utilisées seules ou en mélanges par des transformateurs qui assure ainsi leur recyclage proprement dit.

Les matières pré triées, triées, broyées ou régénérées sont ensuite mise en œuvre dans les usines françaises ou

exportées.

RECYCLAGE PHYSIQUE - Recyclage matière

Analyse et potentiel du procédé

Analyse du procédé

Le recyclage matière est une pratique très utilisée pour les domaines de l'emballage ménager et industriel. Les déchets industriels et les chutes de fabrications sont aussi très présents au sein de cette filière qui est déjà fort bien organisée. Pour les secteurs automobile et électrique/électronique, la filière est en pleine expansion du fait des récentes obligations réglementaires en terme de valorisation et notamment la valorisation matière. La récupération des plastiques issus des DEEE, des VHU et des emballages industriels va fortement s'accroître à moyen terme.

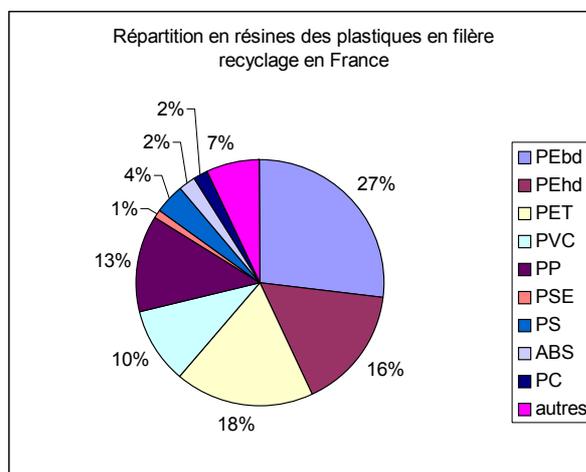
Le tableau suivant reprend les résultats en terme de recyclage matière pour l'année 2002 en Europe :

	Agriculture	Automobile	BTP	Industrie & distribution	DEEE	Déchets ménagers	Total
Déchets plastiques collectés (en kT)	311	959	628	4190	848	13671	20 607
Recyclage physique (en kT)	164	58	54	1601	32	897	2 466

Tableau récapitulatif sur les résultats du recyclage en 2002 en Europe ^[3]

Plus précisément et en ce qui concerne le type de résines de déchets plastiques recyclées, on retrouve essentiellement le PEbd qui constitue la résine la plus représentée. Cela met en évidence l'importance des déchets de films dans la filière (déchets de fabrication, housses usagées).

La répartition des différentes résines recyclées en France en 2002 est indiquée dans la figure ci-dessous :



Répartition en résines des déchets plastiques en filière recyclage en 2002 en France ^[2]

La filière du recyclage matière des déchets plastiques poursuit son développement, à un rythme constant. Les principaux débouchés de la filière restent l'export et la plasturgie. La croissance de la filière, depuis quelques années, est due au développement des déchets post-consommation et à la montée en puissance et la mise en place de certaines filières spécifiques (DEEE).

RECYCLAGE PHYSIQUE - Recyclage matière

Analyse et potentiel du procédé (suite)

Potentiel du procédé

Plusieurs phénomènes propres aux plastiques limitent leur recyclage ou du moins posent problèmes. D'un côté la collecte, le tri, le nettoyage d'emballage de trop petite taille posent des problèmes logistiques et financiers quasi insurmontables. D'un autre côté, les propriétés des plastiques peuvent évoluer lors de leur mise en œuvre et de leur usage. Il existe sur le marché une multiplicité de plastiques ; ce qui est une qualité pour la conception, avec l'utilisation d'une matière adaptée aux besoins spécifiques d'une fonction, devient une difficulté au moment du recyclage d'autant plus que les divers plastiques sont le plus souvent incompatibles entre eux.

Les matériaux recyclés ne possèdent pas les mêmes propriétés que la résine vierge, cette dégradation peut se produire lors de la mise en œuvre et en cours d'usage.

Lors de la mise en œuvre, la matière est à la fois soumise à des contraintes mécaniques et à l'action de la chaleur en présence d'oxygène, cela peut conduire à une attaque des chaînes polymères. Lors de l'usage, les polymères ont également subi des contraintes qui peuvent endommager les chaînes. Ils ont pu être soumis à des augmentations de température ou encore subir l'action du rayonnement ultraviolet dont les photons ont une énergie suffisante pour casser les chaînes. Par contre si les chaînes polymères ont été coupées, les extrémités des chaînes peuvent réagir facilement avec l'oxygène qui provoque alors divers désordres tels que rupture en chaîne, réticulation, formation de produits volatils.

Afin de palier à ces problèmes des additifs sont ajoutés lors de la transformation des matières plastiques.

Certains matériaux à base de polymères comportent des matières thermodures qui posent des problèmes lors du recyclage. En effet, les thermodurcissables sont des matières ne pouvant être ramollies ni réchauffées une nouvelle fois ; une fois la configuration structurelle définie, ces plastiques ne peuvent être re-façonnés. A l'inverse, les thermoplastiques peuvent subir un ramollissement sous l'effet de la chaleur à plusieurs reprises.

Les produits recyclés ont des taux de recyclés (proportion de résines recyclées incorporée à la résine vierge) très variables qui dépendent de l'application souhaitée ^[1]

- Les faibles taux de recyclés (5 à 15%) : ils sont souvent d'origine interne à l'entreprise pour des applications multicouches (une couche de matière à recycler entre deux couches de matière vierge). Cela peut se faire pour les films ou les tubes.
- Les taux élevés de recyclés sont utilisés pour des applications dont les exigences de propriétés mécaniques sont moindre ou pouvant être compensées sans dommages par une augmentation des épaisseurs. On retrouve cette application pour la fabrication de sacs poubelles ou de caisses plastiques par exemple.

Perspectives

Depuis peu, les grands producteurs de matières plastiques rationalisent leur gamme de production. La tendance est de diminuer le nombre de grades par familles de polymère ainsi que le nombre d'application par grade. Cette diversité permettait de nombreuses applications en offrant des propriétés spécifiques à un produit. Aujourd'hui les producteurs se tournent vers l'élaboration de grades plus polyvalents avec seulement quelques applications ^[4]. Ceci pourrait permettre, à moyen terme, de faciliter le recyclage matière des déchets plastiques.

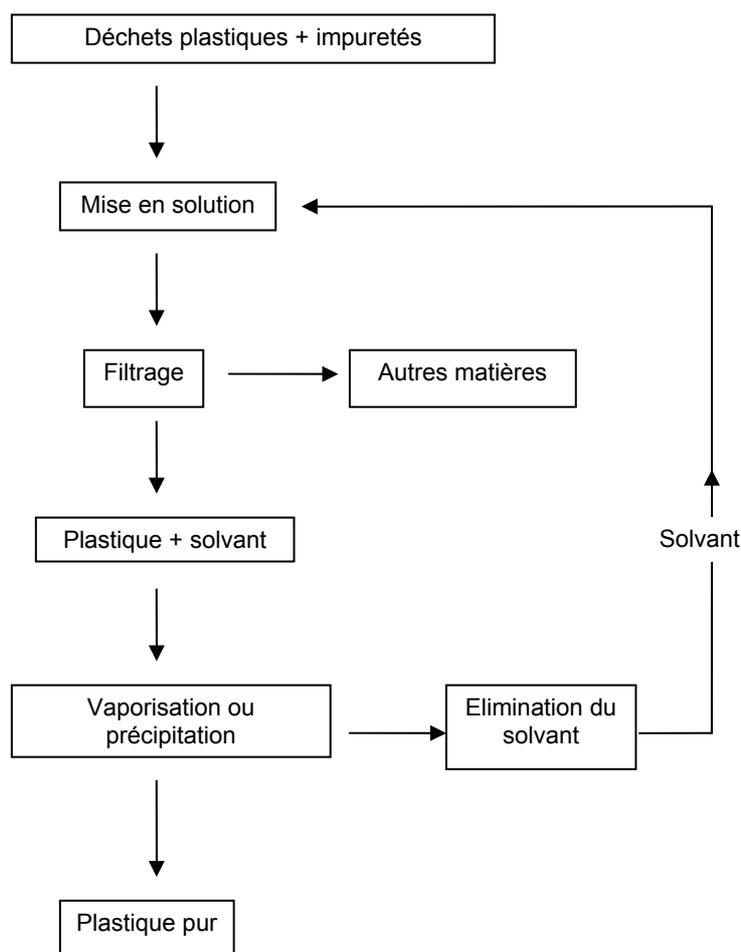
RECYCLAGE PHYSIQUE – Les procédés en solution

Définition et procédé

Dans certaines applications, les plastiques sont intimement mélangés avec d'autres matières. C'est le cas des isolations de câbles électriques, des moquettes, des bâches, des résidus de broyage automobiles par exemple. L'emploi des méthodes de recyclage mécanique ne semble pas possible et l'on a pensé depuis longtemps à utiliser un moyen classique de l'industrie chimique ; la séparation par dissolution sélective.

Le principe est simple ; il consiste à utiliser un solvant ou un mélange de solvants susceptibles de dissoudre uniquement la fraction que l'on désire récupérer. Par filtration, on élimine les fractions insolubles et on obtient une solution ne contenant que le produit à récupérer. En rajoutant un solvant tiers, on peut retrouver à l'état solide la matière précédemment solubilisée. On peut également vaporiser le solvant et récupérer le soluté solide.

Du point de vue du bilan entropique, le fait de dissoudre volontairement un solide n'est pas très favorable, mais l'augmentation d'entropie est plus faible que si l'on faisait une décomposition chimique ou une combustion. En effet, dans les procédés en solution, on ne modifie pas la molécule et les transformations sont purement physiques. Le procédé est présenté schématiquement ci-dessous :



Représentation schématique de la valorisation par procédé en solution ^[1]

RECYCLAGE PHYSIQUE – Les procédés en solution

Analyse et potentiel du procédé

Technique encore peu développée mais qui présente l'avantage de pouvoir s'appliquer à tous les types de plastiques, mais également aux mélanges de déchets plastiques. Le procédé en solution pourrait alors intervenir en étape de prétraitement au recyclage physique.

Au début des années 1990, cette technique était décriée, notamment parce qu'elle nécessite l'utilisation de quantités élevée de solvants.

Les procédés en solution présentent des caractéristiques techniques et économiques intermédiaires par rapport aux procédés physiques proprement dit (le recyclage matière) et à la solvolysse. Les polymères recueillis sont probablement de meilleure qualité et plus purs que les produits du recyclage mécanique mais ne peuvent pourtant pas prétendre aujourd'hui à des utilisations tels que le contact alimentaire.

L'avenir de ce procédé passe par une définition précise du rapport qualité/prix des polymères recyclés par rapport aux polymères neufs. Son développement passe d'autre part par la construction d'installations lourdes, capables de gérer des quantités importantes de solvants et équipées de systèmes de purification et de re-circulation des solvants.

Il est donc difficile de prévoir quel développement auront les procédés en solution. En effet les exigences de recyclage peuvent conduire à leur développement bien que la manipulation de solvants et les coûts prévisibles de fonctionnement soient des handicaps certains.

Fiche 2 : Le recyclage chimique

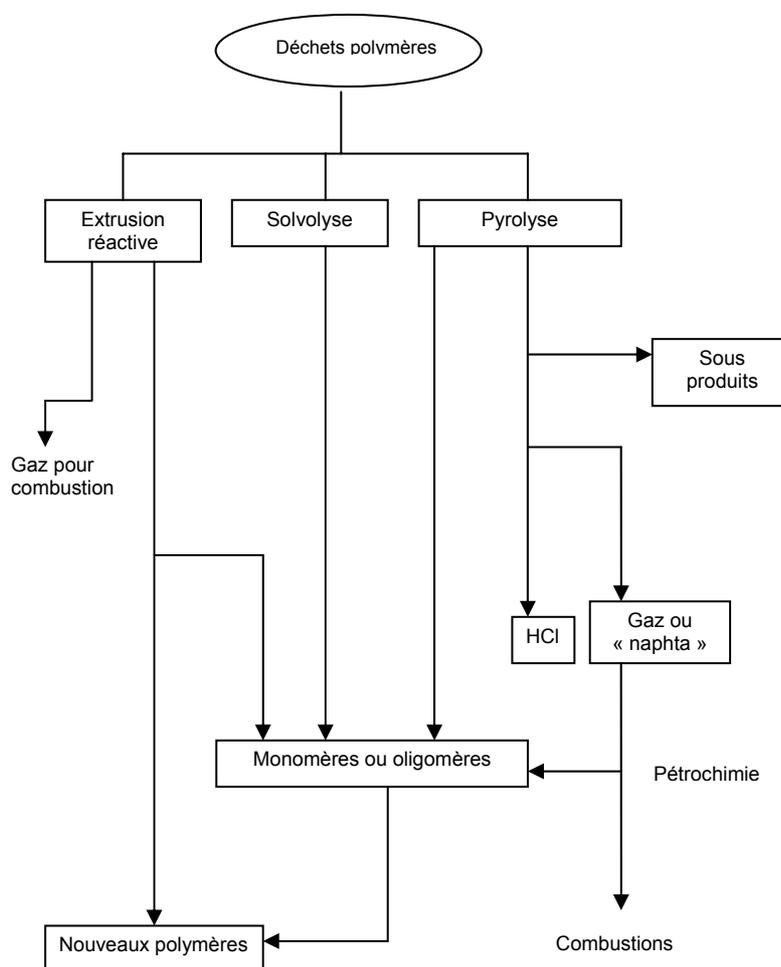
RECYCLAGE CHIMIQUE

Définition et procédé

On parle de recyclage chimique (ou de valorisation chimique) lorsqu'on cherche, en cassant le polymère, à récupérer de petites molécules, si possible des monomères ou des oligomères, réutilisables pour effectuer de nouvelles synthèses. Lorsque les procédés employés ne permettent pas de retrouver des monomères mais un mélange complexe d'hydrocarbures, cette « matière première » doit être traitée suivant les techniques de la pétrochimie pour fabriquer dans un premier temps des monomères qui donneront ensuite naissance aux polymères.

Il existe différents procédés de recyclage chimique : la pyrolyse, la solvolyse, l'extrusion réactive.

Les principales voies du recyclage chimique



Les principales voies du recyclage chimique^[1]

RECYCLAGE CHIMIQUE

Définition et procédé (suite)

La pyrolyse (dépolymérisation thermique)

Cette technologie permet de transformer des polymères en monomères ou oligomères par apport de chaleur, sans qu'un réactif chimique intervienne dans les réactions de coupure des chaînes. Ainsi, tous les polymères suffisamment chauffés en l'absence d'oxygène se décomposent en donnant diverses espèces, dont un pourcentage variable de monomères suivant le polymère et la température de traitement. Cependant, bien souvent, les sous produits obtenus sont plus complexes et peuvent être assimilés au naphta en vue d'une exploitation de type pétrochimique.

La solvolyse

Le terme solvolyse définit un procédé pour lequel le solvant joue également le rôle de réactif. Ainsi dans le cas des polycondensats (produits provenant de la polycondensation comme le PET par exemple), nombre de procédés sont a priori efficaces pour obtenir les monomères et d'autres molécules pour la synthèse. L'objectif peut être d'obtenir, pour des plastiques très utilisés dans l'emballage alimentaire, des matières premières suffisamment pures pour permettre le recyclage en boucle, mais on peut aussi fabriquer des réactifs pour d'autres synthèses de polymères pour lesquels la demande est importante.

En fonction de la nature du solvant, différentes classes de solvolyse peuvent être distinguées : aminolyse (amine), ammonolyse (ammoniaque), glycolyse (glycol), hydrolyse (eau), ou méthanolyse (méthanol).

L'extrusion réactive

L'extrusion classique de matières thermoplastiques se veut un procédé purement physique. On cherche à plastifier la matière pour l'amener à l'état liquide visqueux avant de la forcer dans une filière pour obtenir un profilé qui est ensuite éventuellement déformé ou scindé. En réalité on ne peut échapper lors de ce traitement, qui suppose chaleur et cisaillement, à un certain nombre de réactions de coupures de chaînes suivies de réactions secondaires.

L'extrusion réactive cherche, non pas à éviter ces réactions, mais au contraire à les favoriser pour modifier les polymères extrudés afin de leur apporter de nouvelles propriétés.

Une des applications concerne le mélange de polymères. Les polymères sont rarement compatibles et, si l'on veut obtenir des mélanges spécifiques (alliages) avec des propriétés particulières, il faut modifier leurs interfaces pour améliorer leur assemblage. Cette application de l'extrusion réactive permet de résoudre de façon élégante des problèmes de compoundage et n'a pas été développée au départ pour traiter les déchets de polymères. Mais on voit bien qu'il y a là une piste pour fabriquer des matériaux de qualité à partir des déchets en mélange.

L'autre possibilité de l'extrusion réactive est la dépolymérisation contrôlée. Bayer et General Motors ont développé un procédé d'hydrolyse de mousses polyuréthanes. En sortie on obtient les produits habituels d'une telle hydrolyse, c'est-à-dire un mélange d'amines, d'eau et de polyols qu'il faut séparer.

RECYCLAGE CHIMIQUE

Analyse du procédé : la situation par type de résines

- Les polyoléfines

Les polyoléfines comprennent le polypropylène (PP) et le polyéthylène (PE) sous ses différentes formes : PEbd et PEhd. Elles représentent ainsi, en volume, la principale source de déchets plastiques.

Leur nature rend leur recyclage chimique difficile : peu de procédés ont été mis au point à ce jour, et ils concernent des travaux réalisés en phase de recherche amont. Parmi les procédés identifiés on retrouve principalement la dépolymérisation thermique.

La dépolymérisation ne se fait que par voie thermique, et impose des conditions drastiques : des températures sévères mais surtout des vitesses de chauffe très élevées et des temps de séjours dans les réacteurs courts. Elle permet de recueillir des monomères (éthylène ou propylène) mais en présence de nombreux sous produits et avec des rendements faibles.

Si ces conditions ne sont pas appliquées, les polymères sont transformés en matières premières de type pétrochimique : composés légers tels que le gaz de synthèse, composés lourds tels que les paraffines. Un certain nombre d'équipes de recherche s'intéresse à ce recyclage des polyoléfines en matières premières, et souligne que les coupes obtenues peuvent être utilisées dans les dispositifs de craquage pour donner des monomères : l'éthylène ou le propylène. Dans la pratique, ces coupes sont en fait utilisées comme combustibles.

Les procédés techniques retenus utilisent généralement des systèmes coûteux : c'est le cas par exemple du procédé par torche à plasma de l'université Drexel (Etats Unis) ^[5].

- Le polystyrène

Le procédé le plus rencontré est une nouvelle fois la dépolymérisation thermique. D'un point de vue technique, la dépolymérisation thermique du PS est beaucoup plus facile que celle des polyoléfines ou du PVC. Le principal produit de réaction, dans ces conditions de pyrolyse classique est le styrène ; le rendement de cette dépolymérisation peut atteindre 85%.

RECYCLAGE CHIMIQUE

Analyse du potentiel du recyclage chimique

- La technique de dépolymérisation thermique

Les procédés thermiques sont les seuls envisageables pour le recyclage des polymères d'addition en leurs monomères. Ils constituent notamment la seule voie de dépolymérisation des polyoléfines, du PVC, du polystyrène et du PMMA.

Dans l'état actuel des techniques, seuls le polyméthacrylate de méthyle (PMMA), et à un degré moindre les polystyrènes sont effectivement dépolymérisés dans des conditions « convenables ».

Les procédés de dépolymérisation thermique représentent, indépendamment des résines traitées, les principaux inconvénients suivants :

- Ils sont peu adaptés au traitement des déchets mélangés, à moins d'utiliser des séquences de montée en température et des systèmes de séparation complexes.
- Ils consomment des quantités importantes d'énergie.
- Ils imposent, quand les rendements sont limités, l'utilisation de systèmes de purification et la gestion de sous produits et de déchets.
- Les monomères recyclés entrent en compétition avec des produits directement issus de la pétrochimie ; la rentabilité économique des projets est difficile à atteindre et nécessite l'installation d'unité de grande capacité.

Les procédés de dépolymérisation thermique présentent cependant l'avantage, par rapport aux autres techniques de recyclage chimique de ne pas utiliser de solvants.

Dans le cas des polyoléfines, des travaux de recherche plus amont doivent être menés. La dépolymérisation ne semble pas être aujourd'hui une voie privilégiée de traitement de ce type de plastiques ; mais les gisements concernés justifient probablement des efforts de recherche plus poussés.

- La technique de solvololyse

La solvololyse permet de traiter uniquement les polymères de condensation tels que les polyuréthanes, le PET, les polyamides et le polycarbonate. Un grand nombre de travaux a été consacré à ces résines, plus particulièrement au PET et aux polyamides. Les réactions de dépolymérisation sont bien connues et contrôlées ; pourtant aucun projet n'a encore fait preuve de rentabilité sur le long terme.

La solvololyse est envisagée pour recycler les plastiques en leurs monomères d'origine, ou en précurseurs de composés à plus forte valeur ajoutée.

Ce procédé est capable de traiter des quantités importantes de déchets, mais les monomères formés sont concurrents de produits de la pétrochimie et de leurs variations de prix. La valeur ajoutée de tels produits est faible. Leur viabilité économique exige de très grandes capacités et donc des investissements importants.

RECYCLAGE CHIMIQUE

Perspectives

Les deux principaux problèmes rencontrés sont ceux de la rentabilité des procédés et de l'approvisionnement en déchets recyclables. De plus la rentabilité de ces procédés dépend fortement du prix du pétrole. Seuls des procédés très peu coûteux ou permettant d'obtenir des molécules complexes et bien définies pour de nouvelles synthèses ont des chances d'être retenus.

Les usines de valorisation chimique doivent, pour pouvoir être économiquement supportables, manipuler de grandes quantités de déchets. Ce qui est faisable pour le PET des bouteilles de boisson est beaucoup plus difficile pour des matières comme le polyuréthane ou le nylon qui ont des applications très dispersées.

Les grandes entreprises de la chimie des polymères ont acquis l'expérience et ont ensuite abandonné l'idée d'une industrialisation à la vue de la situation économique du moment. Par ailleurs on assiste très récemment à un développement de procédés en solutions qui pourraient concurrencés sérieusement les procédés chimiques.

3- PARTIE 2 : LA VALORISATION ENERGETIQUE

Les déchets plastiques : un potentiel combustible

La valorisation énergétique repose, entre autre, sur le pouvoir calorifique des déchets.

L'incinération des déchets ménagers permet de produire de l'énergie à partir d'un gisement en remplaçant un combustible noble (fuel, charbon, gaz).

Les plastiques dans les déchets, en tenant compte de leur proportion relative, ont un pouvoir calorifique moyen de 35 MJ/kg. Quand on intègre les autres composantes des déchets ménagers, y compris les combustibles, on arrive à une valeur tournant autour de 9 MJ/kg.

Le pouvoir calorifique des plastiques est élevé et se situe proche de celui du fuel. Le tableau qui suit reprend le pouvoir calorifique de divers matériaux :

Matériaux	Pouvoir calorifique (MJ/kg)
Fuel	44-49
Charbon	26-33
Papier journal	16-18
Bois sec	44
PE	43
PS	40
PP	43
PVC	18
Ordures	8-10

Tableau : Pouvoir calorifique comparé de divers potentiels combustibles ^[1]

D'un côté, l'incinération des autres déchets serait problématique sans l'ajout d'un carburant fossile mais d'un autre côté une concentration mal dominée de plastiques conduit à un pouvoir calorifique fluctuant. On comprend aisément le besoin d'avoir des déchets bien mélangés.

La valorisation énergétique par secteur en Europe de l'Ouest en 2002

	Agriculture	Automobile	BTP	Industrie & distribution	DEEE	Déchets ménagers	Total
Déchets plastiques collectés (en kT)	311	959	628	4190	848	13671	20 607
Valorisation énergétique (en kT)	1	7	0	444	3	4222	4 678

Les « fiches procédés »

Cette partie est composée des 2 « fiches procédés » suivantes :

- Fiche 3 : L'incinération ;
- Fiche 4 : Les filières alternatives à l'incinération regroupant les Combustibles Solides de Récupération et la production de combustibles

Fiche 3 : L'incinération

L'INCINERATION

Définition et procédé

Le procédé

La valorisation énergétique à partir de la récupération de chaleur peut se faire :

- Par utilisation directe de la chaleur
- Par production d'électricité
- Par production mixte de chaleur et d'électricité

Dans une perspective de valorisation énergétique des déchets, la cogénération apparaît comme une solution technique performante.

Un schéma type de la valorisation énergétique en Usine d'Incinération d'Ordures Ménagères (UIOM) est présenté ci-dessous :

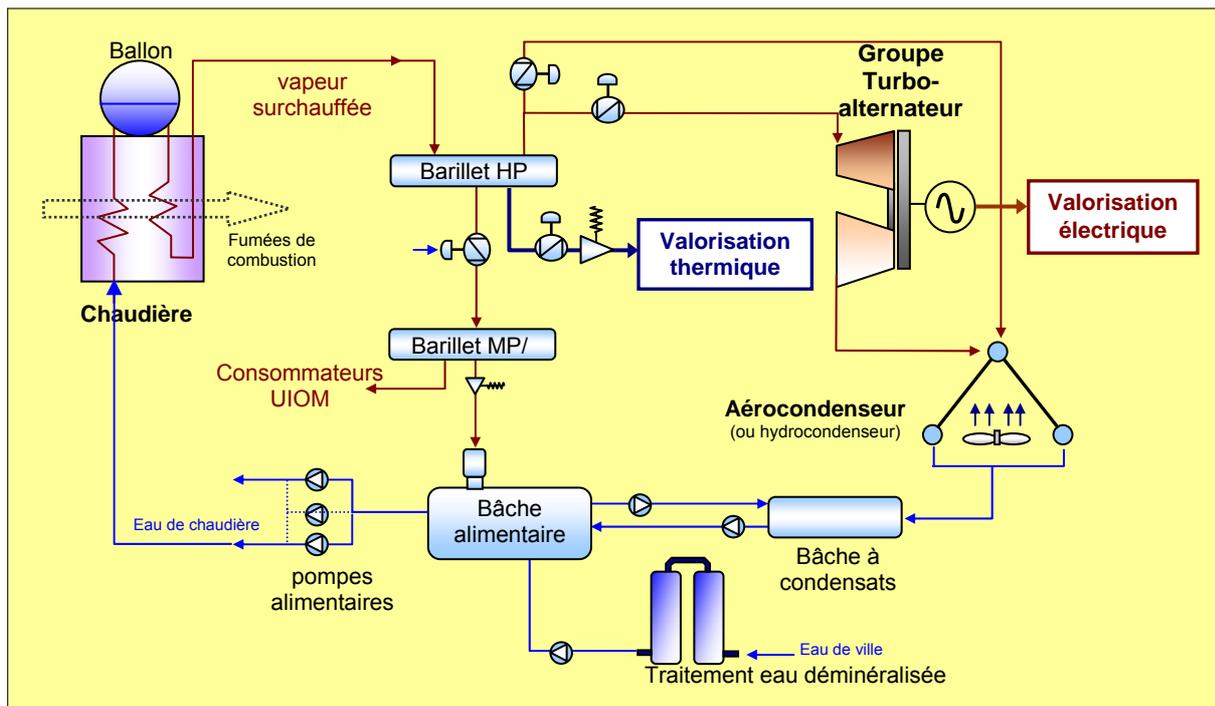


Schéma type de valorisation d'énergie en sortie d'usine d'incinération des ordures ménagères [6]

La récupération d'énergie

Brûler les plastiques, c'est augmenter l'entropie de façon inévitable. Mais l'énergie (enthalpie) peut également être perdue si l'on ne cherche pas à la récupérer. Or une usine d'incinération peut être considérée comme une centrale thermique lorsqu'elle possède une chaudière chauffée par la combustion ; ce qui est vrai à quelques exceptions près.

La chaleur dégagée par la combustion des déchets est récupérée dans une chaudière à tubes d'eau. La circulation est réalisée naturellement et les échanges sont réalisés soit par rayonnement, soit par convection, suivant l'agencement des échangeurs dans la chaudière.

L'INCINERATION

Définition et procédé (suite)

La valorisation de l'énergie

- Le réseau de chaleur

Les réseaux de chaleur alimentent généralement l'habitat collectif, le tertiaire privé ou public (bureaux), des établissements privés ou publics ou des entreprises industrielles privées (industries papetière, agro-alimentaire, ...). La chaleur peut être livrée sous plusieurs formes : vapeur surchauffée ou saturée, eau surchauffée, eau chaude.

- La production d'électricité

La production d'électricité à partir de vapeur issue de l'incinération des déchets ménagers est réalisée généralement au moyen d'un turbo-alternateur de type à condensation, qui transmet l'énergie mécanique issue de la détente de la vapeur à une génératrice de courant électrique. L'alternateur permet de convertir l'énergie mécanique en électricité.

Analyse et potentiel du procédé

Ce procédé permet de traiter tout type de déchets plastiques, souillés et en mélange.

D'ici à 2010, l'Union Européenne s'est fixée comme objectif de produire 21% de la consommation électrique à partir d'énergie renouvelable. En 2003, cela représentait 15% ^[6].

En conséquences ; il faudra faire appel aux ressources inépuisables plutôt qu'aux énergies fossiles ; mettre en place une politique de fourniture d'énergie décentralisée ; adapter les types d'installation de production à la demande et au contexte local et tenir compte de l'augmentation permanente de la consommation d'électricité (en 2003 l'augmentation a atteint 3,9%).

L'incinération avec récupération d'énergie permet d'éliminer les déchets en les valorisant. On évite donc les pollutions engendrées sur l'eau et le sol lors du stockage. Par contre, elle entraîne une pollution par ses rejets gazeux et aqueux. C'est pourquoi la réglementation concernant l'incinération des déchets est particulièrement stricte au niveau des rejets gazeux et aqueux. La mise en place de moyens d'épuration performants (traitement des oxydes d'azote, des dioxines/furanes, élimination des rejets liquides) diminue très fortement les impacts sur l'environnement.

Une usine produisant de la chaleur peut être distribuée par un réseau de chaleur, celle-ci se substitue ainsi à une autre énergie de chauffage qui dégage des pollutions (remplacement du fuel lourd ou du charbon, remplacement des chaufferies d'immeuble). La pollution de l'usine va donc se substituer à la production des centrales au fuel, au charbon ou à une partie des centrales nucléaires.

Fiche 4 : Les filières alternatives à l'incinération

LES FILIERES ALTERNATIVES A L'INCINERATION – La production de combustibles

Définition et procédés

En dehors d'applications utilisant des fours largement dimensionnés, l'utilisation de déchets bruts pour fournir de l'énergie est très peu facile à mettre en œuvre et ne s'est encore développée en France. L'idée est alors de transformer dans un premier temps les déchets pour récupérer un sous produit beaucoup plus pratique à utiliser. Néanmoins, ces procédés sont, à l'heure actuelle peu développés en France.

Pulvérisation

La première idée consiste à pulvériser les déchets de plastiques pour assurer une manipulation aisée et une combustion améliorée. L'objectif est de pouvoir brûler le carburant ainsi fabriqué dans des fours industriels courants.

Le broyage fin conduit à des granulométries de 300 à 500µm. Les essais ont montré qu'une injection multi canaux dans le four conduit à la formation d'une flamme stable. Les rejets dans la cheminée sont du même type que ceux obtenus avec du charbon.

Hydrogénation

L'idée de traiter les déchets plastiques, tout particulièrement lorsqu'ils sont mélangés et contaminés, comme des charbons de mauvaise qualité ou des sous produits pétroliers lourds, conduit à utiliser des procédés comme l'hydrocraquage.

Le traitement à haute température casse les macromolécules pour former des radicaux libres actifs que l'on sature avec de l'hydrogène pour éviter les recombinaisons non voulues. On obtient des hydrocarbures légers saturés ou insaturés. Pour faciliter les conversions, il est possible d'utiliser des catalyseurs.

Si les déchets contiennent du chlore, le gaz chlorhydrique formé est éliminé par un traitement spécifique, en général une distillation suivie ou non d'une neutralisation. Bien que les produits obtenus permettent en principe des synthèses organiques, le plus souvent les effluents servent de carburants.

Gazéification

Entre 1300 et 1600° C, il est possible de transformer les déchets plastiques en un mélange de gaz comportant essentiellement de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène. Des réactions parasites peuvent conduire à la formation d'eau, de méthane, de gaz carbonique et de suies de carbone.

On peut utiliser la chaleur des gaz à leur sortie pour assurer le bon fonctionnement du procédé et éventuellement chauffer les locaux. Le gaz formé est lavé puis peut être utilisé comme gaz de synthèse, mais le plus souvent comme combustible. Les installations sont copiées sur celles qui utilisent le charbon et le pétrole.

Le procédé de gazéification ne s'est pas développé comme on s'y attendait il y a une dizaine d'années. Contrairement à l'incinération qui accepte des déchets plastiques mélangés avec d'autres déchets ménagers, la gazéification suppose des flux de plastiques relativement propres. Elle s'applique donc aux déchets industriels plutôt qu'aux ordures ménagères. Par ailleurs, la revente des gaz formés est peu rentable.

Cependant, on notera qu'au Japon, le Plastic Waste Management Institute a lancé en 2000, en coopération avec la société Ube Industries, une usine pilote de conversion de déchets plastiques en hydrogène et oxyde de carbone.

Extrusion dégradative

On peut utiliser une extrudeuse pour décomposer et modifier chimiquement des polymères ; cette technologie est applicable aux déchets de plastiques ; mais peu développée en France.

En effet, il est possible dans des conditions de chauffage un peu plus sévère, d'oxydation modérée et de traitement mécanique de conduire l'extrusion pour une décomposition presque complète des édifices macromoléculaires. On obtient également un mélange de cires et de gaz. Les produits obtenus peuvent servir de matière de base pour des valorisations chimiques, mais le plus souvent ils serviront de combustibles.

LES FILIERES ALTERNATIVES A L'INCINERATION – Les Combustibles Solides de Récupération

Définition et analyse du procédé

Les Combustibles Solides de Récupération (CSR) sont des combustibles élaborés à partir de déchets non dangereux. La partie des déchets qui est triée puis préparée est celle représentant un fort pouvoir calorifique ; majoritairement un mélange de bois, papier-carton et de plastiques.

La valorisation énergétique de ce combustible peut alors se faire dans des installations fortement consommatrices en énergie tels que l'industrie céramique, les chaufourniers, les aciéries, les cimenteries et pourrait permettre la production d'électricité et de chaleur.

Cette filière de valorisation, déjà bien amorcée dans certains pays européens (Italie, Allemagne, pays scandinaves), est amenée à se développer dans les années à venir sous la double influence de l'augmentation du coût des ressources énergétiques et d'un effort européen de normalisation du secteur (norme CEN/TC343 en cours).

Une norme de qualité, en cours de développement en France, précisera entre autre les teneurs en polluants et la composition des CSR.

La réussite de cette filière dépendra de l'aptitude des producteurs à purifier le flux de CSR et des plastiques qui les compose afin de répondre aux normes d'émission des installations utilisatrices. Néanmoins, le retard pris par la France sur la réglementation liée à ce type de valorisation ne permet pas d'envisager un développement de la filière à court terme.

3- PARTIE 3 : LA VALORISATION MATIERE/ENERGIE

Fiche 5 La co-incinération en cimenterie

LA CO-INCINERATION EN CIMENTERIE

Définition et procédé

La production du clinker nécessite la « cuisson » de matières premières, préalablement broyées en poudre fine, (argiles, calcaires ajoutés de minerais de fer, d'alumine, de fluor...) jusqu'à une température de la matière à 1450°C par une flamme de 2000°C. Le clinker est ensuite broyé avec du gypse et éventuellement d'autres constituants secondaires afin d'obtenir le ciment.

La température de la flamme et le temps de séjour des gaz à des températures supérieures à 1100°C, permettent une destruction complète des molécules organiques. Les liants hydrauliques, produits par le procédé, piègent les cendres dans leur matrice et la chaux utilisée comme matière première, en contact intime avec les gaz, permet le traitement des fumées.

La co-incinération de déchets dangereux ou banals permet de produire de l'énergie, nécessaire à la fabrication du ciment.

Par ailleurs, le procédé cimentier ne génère aucun déchet solide. Les cendres résultant de la combustion des différents déchets et notamment des déchets plastiques sont totalement intégrées dans le clinker, produit intermédiaire à la fabrication du ciment. La fraction minérale des déchets plastiques fait l'objet d'une valorisation matière lors de leur co-incinération en cimenterie. On peut donc parler de valorisation énergie et de valorisation matière pour les déchets traités.

Les déchets utilisés comme combustibles de substitution sont admis en filière cimentière suite à des étapes d'acceptation (dossiers, analyses, essais industriels, audit fournisseur) et d'admission (échantillonnage, déchargements, contrôle administratif, analyses) préalables afin de s'assurer de leur composition et de leur homogénéité et donc de leur compatibilité avec la fabrication du ciment.

Analyse et potentiel du procédé

Avec une trentaine d'années d'activité, la co-incinération en cimenterie montre sa pérennité et réalise des développements toujours croissants pour augmenter le taux de substitution des énergies fossiles en France comme à l'étranger.

Différents textes et réglementations cadrent l'activité : la réglementation des ICPE, les arrêtés ministériels relatifs à l'incinération et la co-incinération des déchets, les arrêtés préfectoraux et procédures internes.

La co-incinération en cimenterie a été reconnue à différentes occasions par exemple dans les domaines de la valorisation des huiles (ADEME) ou de la destruction des farines animales. Les aspects santé des travailleurs de la filière, en France, ont été étudiés: en 2002 par l'APAVE à la demande du Syndicat Français de l'Industrie Cimentière, à travers l'évaluation de l'exposition des travailleurs aux nuisances chimiques et en 2004 par l'INRS à travers l'analyse de l'activité d'élimination des déchets en cimenterie. Ces études ont confirmé les procédures en place.

Cette valorisation, de type énergie/matière, peut nécessiter un prétraitement limité pour une réduction granulométrique. Les différentes résines de plastiques peuvent être mélangées entre elles ou mélangées avec des déchets d'autres natures.

Des investissements importants en cimenteries, pour la mise en place de moyens de traitement des rejets gazeux performants, permettent d'aller au-delà des exigences réglementaires; en particulier pour les objectifs de réduction des taux de CO2 qui sont supérieurs aux exigences de Kyoto.

Chapitre 4 LA METHODOLOGIE MULTICRITERES

1- Le but de la méthodologie multicritères

La méthodologie multicritères élaborée est un outil d'aide à la décision permettant à un utilisateur industriel, producteur ou détenteur de déchets plastiques, de sélectionner de façon motivée et justifiée une filière de valorisation, pour son type de déchet plastique. Cette méthodologie va ainsi permettre à l'utilisateur de se poser les bonnes questions, relatives d'une part à son type de déchet plastique et d'autre part à une filière de valorisation particulière.

Le but premier de la méthodologie n'est pas de contraindre l'utilisateur de la méthode à se diriger vers une filière de valorisation particulière mais plutôt de le guider dans sa réflexion afin qu'il choisisse selon ses caractéristiques, sa politique et ses choix d'entreprise la filière de valorisation qui correspond le mieux à son type de déchet et au contexte dans lequel il évolue.

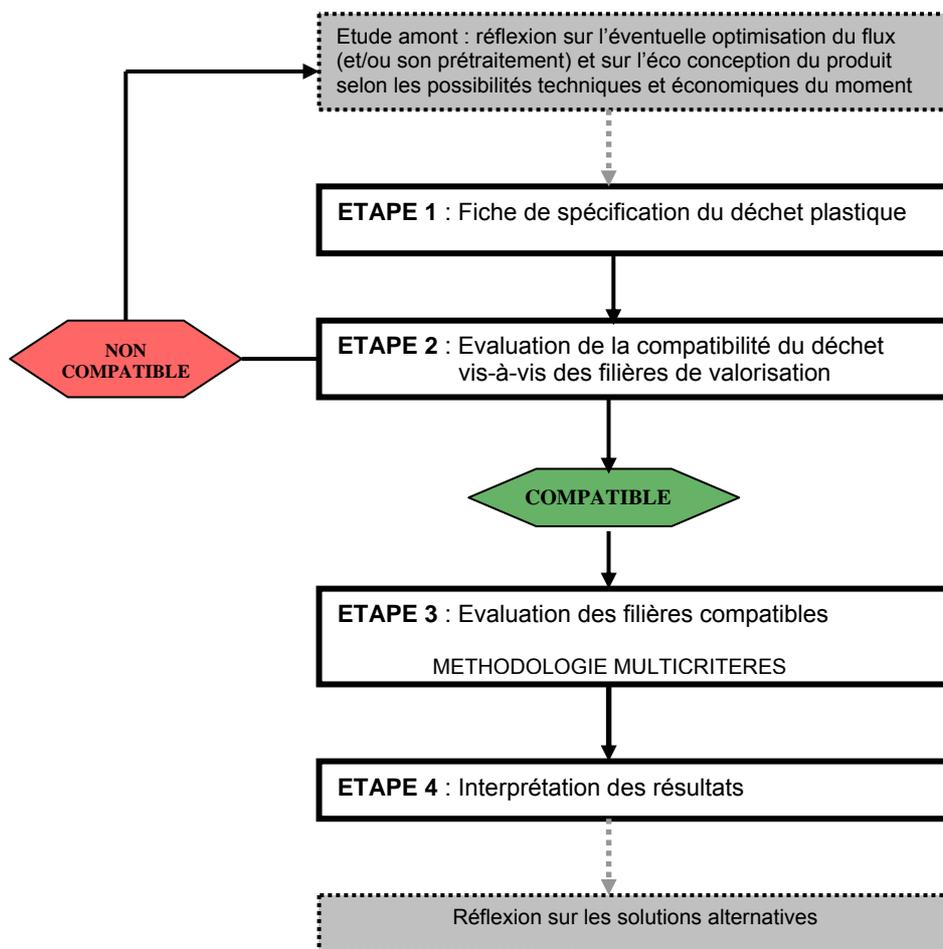
La volonté de l'association RE.CO.R.D ne se résume pas en la mise en place d'une liste exhaustive de critères prédéfinis mais s'attache à réaliser une étude qui, sans être minimaliste, soit tout de même abordable et utilisable à long terme par le plus grand nombre de détenteurs de déchets plastiques. Ces utilisateurs sont néanmoins habitués à utiliser ce type de méthodologie et sont, pour la plupart, très renseignés sur leur type de déchet. C'est pourquoi une analyse et une enquête de terrain, notamment à l'aide des experts et d'exploitants de filières de valorisation, ont été réalisées afin d'être le plus proche de la réalité et conscient des difficultés rencontrées.

Pour rappel :

L'utilisation de cette méthodologie est destinée, en premier lieu, à des producteurs ou à des détenteurs de déchets plastiques.

2- Présentation de la méthodologie multicritères et ses étapes

La méthodologie se décompose en 4 étapes, ces étapes sont indiquées dans le synoptique ci après :



Les étapes grisées n'intègrent pas le champ de l'étude mais ont été indiquées afin d'identifier le raisonnement général d'une telle méthodologie.

Etude amont

Cette partie n'est pas étudiée au sein de la démarche ; elle est néanmoins indiquée car fait partie intégrante de la réflexion que doit mener un détenteur de déchet. En effet, si un déchet ne peut intégrer les filières de valorisation ou qu'il est très peu compatible, il est important de mener un travail de fond consistant à améliorer la qualité du flux de déchets plastiques soit en modifiant les étapes de gestion et de fabrication d'un produit soit en optimisant la conception du produit.

Etape 1 : Fiche de spécification du déchet plastique

La première étape de la méthodologie consiste à définir précisément les caractéristiques du déchet que détient l'utilisateur. Cette fiche de spécification du déchet plastique permet à l'utilisateur de recenser les renseignements utiles aux exploitants des filières de valorisation pour l'acceptation du déchet au sein de leur installation.

Etape 2 : Evaluation du déchet vis-à-vis des filières de valorisation

Le but de la seconde étape est d'évaluer la compatibilité du déchet plastique, que détient l'utilisateur, avec une filière de valorisation donnée. Cette étape permet notamment d'identifier la localisation des centres de valorisation.

Etape 3 : Evaluation des filières de valorisation compatibles

L'étape 3 est l'étape clé de la méthodologie. Elle permet d'évaluer les filières de valorisation, identifiées comme compatibles lors de l'étape précédente, à l'aide des divers critères retenus.

Etape 4 : L'interprétation des résultats

Une fois la méthodologie multicritères renseignée, l'étape ultime est l'interprétation de ces résultats. Un mode de pondération, de hiérarchisation et d'agrégation est proposé à l'utilisateur. Ce mode d'agrégation des résultats n'est pas figé et permet à l'utilisateur d'ajuster l'importance des critères en fonction du contexte dans lequel il évolue et la politique d'entreprise qu'il mène.

Réflexion sur les solutions alternatives

Cette partie n'est pas étudiée au sein de la démarche ; elle est néanmoins indiquée car fait partie intégrante de la réflexion que doit mener un détenteur de déchet.

Dans le cas d'un gisement spécifique ou minime et néanmoins compatible avec certaines filières de valorisation, cette phase pourra étudier les moyens permettant d'intégrer ces filières (partenariat avec d'autres entreprises, mise en place de l'organisation de la filière...). Une autre hypothèse serait d'étudier les solutions de gestion et de valorisation émergentes compatibles pour recevoir de tels déchets afin d'identifier le rôle que pourrait jouer le détenteur dans le développement de cette filière à l'échelle industrielle.

3- Définition des étapes de la méthodologie

ETAPE 1 LA FICHE DE SPECIFICATION DU DECHET PLASTIQUES

La 1^e étape repose sur une détermination et une définition poussée et précise du déchet plastique que détient l'utilisateur. Afin d'appréhender au mieux les étapes suivantes de la méthodologie, il est important que l'utilisateur puisse renseigner le maximum d'informations recensées dans les tableaux présentés ci après.

NOTA 1 : Il est évident que tous les centres de valorisation ne demande pas le même niveau de définition du déchet. La fiche de spécification reprend la majorité des informations pouvant être utiles et demandées par une installation de valorisation pour l'acceptation d'un déchet.

NOTA 2 : L'identification du déchet pourra être effectuée de 2 manières (selon les informations que possède l'utilisateur sur son déchet) : selon une notion d'estimation ou selon une notion d'échantillonnage et d'analyse.

NOTA 3 : L'ensemble de ces données est recensé dans la 1^e partie de l'étude relative aux caractéristiques et aux propriétés des polymères plastiques (fiches PE, PP, PS). Ces fiches sont des outils et des supports servant de base de référence à l'utilisateur afin qu'il caractérise et appréhende au mieux son type de déchet plastique.

Identification du déchet
Nom usuel :
Provenance (activité produisant le déchet) :
Modes d'utilisation (contraintes subies par le produit avant de devenir un déchet) :
Code du déchet : (Nomenclature Européenne/Convention de Bâle : Réglementation transport international des déchets)
Prétraitement éventuel subi (type de tri par exemple) :
Dangerosité du déchet : (classification dangereuse/non dangereuse selon la classification EU)
Type de déchet (pré/post consommation ; durable/non durable) :

Caractéristiques du déchet

Données physiques :

- Homogène/Hétérogène
- Composition précise du gisement : déchets plastiques en mélange (types de plastiques), flux divers en mélange (types de déchets)...
- Particularités physiques : solide, pâteux, pulvérulent, malodorant
- Aspect et couleur du gisement de déchets plastiques
- Densité du lot ; vrac (kg/m^3) :
- Teneur en eau (%) :
- Teneur en matière grasse (%) :
- Pouvoir Calorifique Inférieur (kJ/kg) :
- Granulométrie (maximum) :
- Répartition de la taille et du flux :
- Taux d'impureté :
- Taille et masse du flux :
- Répartition de la taille :

Liste des principaux constituants du déchet (proportion et concentration à définir si possible) :

Données d'analyse disponibles (nécessaires selon la filière étudiées) : concentrations moyennes en

Chlore :	Arsenic :	Silice :
Plomb :	Cobalt :	Chrome :
Antimoine :	autres métaux :	Thallium :
Cuivre :	Calcium :	Vanadium :
Zinc :	Potassium :	Azote :
Phosphore :	Mercure :	Aluminium :
Sodium :	Cadmium :	Magnésium :
Fluor :	Nickel :	Fer :
Brome :	Soufre :	Iode :

Ou à défaut : Charge polluante du gisement :

Présence éventuelle de composés spécifiques : produits radioactifs, déchets biologiques, réactifs (peroxydes, anhydrides d'acide), pesticides/herbicides, explosifs, phénols, PCB-PCT, hydrocarbures totaux, COT ...

Niveau de variabilité de certaines caractéristiques (variance, +/-, x%...)

Sécurité relative au déchet

Identification des risques/informations sur la toxicité du déchet (risque pour la manipulation) :

Informations concernant la stabilité et la réactivité du déchet :

Recommandations concernant la manipulation et le stockage :

Recommandations sur les équipements de protection individuelle :

Flux et mode de conditionnement (du générateur de déchet vers le valorisateur final)

Quantité :

Régularité des apports (continu, ponctuel, intermittent, saisonnier) :

Mode d'approvisionnement (camion, benne, semi, citerne, big bag, container, autre) :

ETAPE 2 : EVALUATION DE LA COMPATIBILITE DU DECHET PAR FILIERE DE VALORISATION

Cette étape est basée sur des échanges entre le détenteur de déchets plastiques et l'exploitant de la filière de valorisation. Son but est d'évaluer la compatibilité du déchet plastique avec une filière de valorisation.

NOTA 1 : Les étapes concernant la localisation géographique et l'évaluation de la compatibilité sont à effectuer pour chaque destination de valorisation recensée. Chacune de ces destinations sera ensuite évaluée en étape 3.

NOTA 2 : En préambule à cette étape, l'utilisateur doit effectuer le recensement des installations de valorisation (échelles départementales, régionale, nationale, internationale).

NOTA 3 : Afin de pouvoir réaliser un bilan matière, énergie ou encore économique sur le flux de déchets initial, il est important d'identifier les destinations et de quantifier la répartition des flux vers lesquelles le gisement de déchet se dirige : les filières de valorisation, l'incinération simple ou l'enfouissement.

NOTA 4 : Selon la fréquence des apports de déchets et le tonnage concerné, il peut s'avérer nécessaire qu'un contrat « d'apport de déchets tiers » soit établi entre le détenteur et l'exploitant de la filière.

NOTA 5 : Les fiches caractéristiques relatives aux filières de valorisation compatibles pourront être consultées afin d'identifier précisément leurs particularités techniques et leur potentiel.

NOTA 6 : Concernant la filière de valorisation matière, les contraintes imposées par l'exploitant peuvent également provenir du cahier des charges et des besoins de leurs clients.

Localisation géographique du centre de valorisation

Recensement de leurs coordonnées (horaires d'ouverture, adresse, téléphone, fax, nom de l'exploitant...) :

Prise de contact avec l'exploitant (date d'entretien ou de rencontre) :

Evaluation de la compatibilité

Nature de la réglementation applicable et conformité du centre de valorisation selon :

- Directives,
- ICPE,
- Arrêté Préfectoral,

Liste des déchets admissibles :

Liste des déchets interdits :

Liste des Prescriptions Techniques Minimales (PTM) :

Liste des critères d'acceptation :

Liste des critères de refus :

Quantité minimale/maximale acceptée par l'installation et les possibilités de regroupement avec d'autres flux afin d'atteindre le volume minimum accepté

Type de conditionnement acceptable sur l'installation :

ETAPE 3 : EVALUATION DES FILIERES DE VALORISATION COMPATIBLES

Cette étape est l'étape clé de la méthodologie. Elle permet d'évaluer les filières de valorisation compatibles avec le déchet plastique à l'aide des divers critères retenus. La pertinence de ces derniers fut discutée et établie à l'aide d'avis d'experts. Les critères ont pour objectif de recenser l'ensemble des questions que doit se poser l'utilisateur quant à l'évaluation d'une filière de valorisation.

Avant de présenter le cœur de la méthodologie, les divers critères retenus sont détaillés ci après.

Présentation des critères retenus

La méthodologie repose sur l'évaluation de filières de valorisation à l'aide des critères prédéfinis. Ces critères tant quantitatifs que qualitatifs vont permettre d'évaluer les performances d'une filière de valorisation selon divers domaines tels : la réglementation, l'environnement, la technologie, le sociétal et sanitaire, les débouchés ou encore l'économie.

Ces critères sont décomposés en sous critères, eux même décomposés en thèmes. Le tableau qui suit synthétise l'ensemble de ces données :

CRITERE	SOUS CRITERE	THEMES
REGLEMENTATION	Rôle de la réglementation	Rôle et influence dans le développement de filières
		Rôle et influence vis-à-vis des produits valorisés et des déchets secondaires
		Rôle et influence vis-à-vis du devenir de l'énergie valorisée
		Objectifs fixés par la réglementation et capacité de la filière de valorisation

CRITERE	SOUS CRITERES	THEMES	
ENVIRONNEMENT	Ressources naturelles	Consommation de ressources naturelles	
		Consommation d'électricité	
		Energie valorisée	
		Quantité de résines vierges économisées	
		Consommation d'eau	
		Devenir de l'eau de process	
		Economie de ressources naturelles	
	Rejets atmosphériques	Effet de serre : émissions de gaz à effet de serre	
		Emissions de rejets gazeux autres	
	Transport des déchets	Mode de transport	
		Distance parcourue	
	Rejets aqueux	Rejet d'effluents dans le milieu naturel	
		Mode de traitement des rejets aqueux	
	Déchets secondaires	Quantité de déchets secondaires formés	
		Toxicité des déchets formés	
Certification des installations	ISO 14 000 ; 9 000		

CRITERES	SOUS CRITERES	THEMES
TECHNOLOGIE	Performance du procédé	Adaptabilité du procédé
		Niveau de préparation du déchet
		Quantité de déchets pouvant être intégrée
		Niveau de technicité du procédé
		Fiabilité et robustesse du procédé
		Formation de déchets secondaires
		Formation de produits recyclés
		Taux de pureté souhaité
		Poids de la concurrence étrangère
	Développement et maturité	Stade de développement technologique
	Etat de la filière ; degré de diffusion	
SOCIETAL & SANITAIRE	Analyse sociétale	Impact de l'activité sur l'emploi
		Consultation de la population sur l'emploi (CLIS)
		Acceptation de l'installation par la population
	Conditions de travail	Politique HSE ; évaluation des risques et dangers
		Moyens de protection individuel et collectif
		Communication, information : formation
		Respect de la qualification requise par poste
		Quantité d'équipements selon la charge de travail
		Taux de fréquence des accidents de travail
		Taux de gravité des accidents de travail
		Recensement des accidents mineurs
	Evaluation des impacts	Emission d'odeur, de poussières, de bruit
		Impact visuel
		Impact du trafic
		Toxicité humaine

CRITERES	SOUS CRITERES	THEMES	
DEBOUCHE	Débouché des plastiques recyclés	Recensement des plastiques recyclés formés	
		Evaluation des filières de reprise	
		Facteur risque de la filière de débouchés	
		Pérennité des débouchés	
		Concurrence vis-à-vis d'autres produits	
		Fiabilité du débouché	
	Devenir des déchets secondaires	Prise en charge du déchet secondaire formé	
		Concurrence vis-à-vis d'autres produits	
		Fiabilité du débouché	
ECONOMIE	Coûts induits	Coûts de la prestation de valorisation	
		Fluctuation du cours des matières premières	
		Coûts de transport	
	Recettes	Recettes provenant de la valorisation	

L'évaluation des filières de valorisation

Chaque filière définie comme compatible au cours de l'étape 2 est évaluée selon les critères déterminés précédemment.

La méthodologie multicritères présentée ci après ne peut être utilisée et abordée comme une étude du type « Analyse du Cycle de Vie ». Elle aborde et évalue des filières de valorisation dans leur globalité à l'aide de divers critères.

NOTA :

- Les fourchettes de résultats et les grandeurs utilisées sont présentées à titre indicatif.
- L'obtention des informations à renseigner dans cette partie est basée sur des échanges entre le détenteur de déchets et l'exploitant de l'installation de valorisation.

Critère réglementaire

NOTA 1 : En préambule à l'évaluation du critère réglementaire, il pourra être rappelé les textes réglementaires en vigueur (Emballages, DEEE, VHU) ainsi que les objectifs et taux de valorisation s'y référant.

Réglementation

- Rôle et influence de la réglementation dans le développement de filières nouvelles ou des filières en place
 - Prend en considération la filière dans les objectifs de valorisation
 - Ne prend pas en considération la filière pour le moment
- Rôle de la réglementation vis-à-vis du devenir des produits valorisés (recyclés) et des déchets secondaires
 - Encourage la valorisation des produits valorisés et des déchets secondaires avec des taux de plus en plus élevés et une utilisation plus complexe
 - Faible évolution ces 5 dernières années quant à leur utilisation
 - Aucune évolution n'a été entreprise ces 5 dernières années
- Rôle de la réglementation vis-à-vis du devenir de l'énergie valorisée
 - Encourage la valorisation de l'énergie avec des taux de plus en plus élevés et une utilisation plus complexe
 - Faible évolution ces 5 dernières années
 - Aucune évolution n'a été entreprise ces 5 dernières années
- La filière permet t elle d'atteindre les objectifs de valorisation matière/énergie du producteur de déchets

Si OUI, dans quelle mesure ?

Critère environnemental

NOTA 1 : En préambule à l'évaluation du critère environnemental, il est important de préciser si l'activité prenant en charge le déchet plastique a pour but premier sa valorisation et son traitement. Par exemple, l'activité cimentière a pour but premier la fabrication de ciment, et non la valorisation et le traitement des déchets plastiques. Or les résultats exposés pour l'évaluation du critère environnemental, comme les valeurs obtenues pour les rejets aqueux et atmosphériques, prennent en considération l'activité dans son ensemble.

Ainsi dans le cas d'une installation dont l'activité première n'est pas le traitement et la valorisation des déchets ; les résultats et performances obtenus proviennent à la fois de l'activité première et de l'activité de valorisation. Il est donc important d'identifier les impacts en termes de rejets, de consommation ou encore de valorisation que l'activité première peut générer.

Par ailleurs, certains résultats sont fonction de la taille et de la capacité de l'installation qui est également un point important à notifier.

Préambule

L'activité première de la l'installation/filière est elle le traitement et la valorisation des déchets plastiques ?

- OUI
- NON

SI OUI, alors les renseignements donnés dans la suite de la méthodologie (concernant le critère environnemental en particulier) correspondront à l'unique activité exercée, c'est-à-dire celle de valorisation des déchets plastiques.

Si NON, alors les réponses fournies pour renseigner la méthodologie, et en particulier le critère environnemental, reflèteront d'une part l'activité première de l'installation et d'autre part l'activité de valorisation des déchets. Dans ce cas, il est intéressant d'évaluer l'impact que l'activité première génère afin de pondérer et d'appréhender clairement les résultats obtenus (données constructeurs, données générales d'une installation du même type).

Environnement 1/6

Ressources naturelles

Questions préliminaires

- L'activité première induit elle une consommation de ressources naturelles ?

- OUI
- NON

Si OUI, quelles sont les valeurs générales de consommation ? (*quantité par tonne de déchets plastiques ou le cas échéant en Nm³*)

- L'activité première induit elle une valorisation d'énergie ?

- OUI
- NON

Si OUI, en quelles proportions ? (*quantité par tonne de déchets plastiques ou le cas échéant en Tep*)

- L'activité première induit elle une consommation d'électricité ?

- OUI
- NON

Si OUI, quelles sont les valeurs générales de consommation ? (*quantité par tonne de déchets plastiques ou le cas échéant en Tep*)

- L'activité première induit elle une production de produits recyclés ?

- OUI
- NON

Si OUI, en quelle proportion ? (*quantité par tonne de déchets plastiques ou le cas échéant en Nm³*)

Environnement 1/6 (suite)

Ressources naturelles (suite)

Impact global

- Quantité de ressources naturelles consommée pour traiter 1 tonne de déchets plastiques (charbon, gaz naturel, pétrole, fioul en Tep)
 - Charbon : X Tep
 - Pétrole : X Tep
 - Gaz naturel : X Tep
 - Fioul : X Tep

- Quantité d'électricité consommée pour traiter 1 tonne de déchets plastiques (en kWh et Tep)

- Quantité d'énergie valorisée par le procédé
 - Quantité d'électricité produite par l'installation par tonne de déchets traités (en kWh et Tep)
 - 0 kWh
 - 0 à 300 kWh
 - 300 à 600 kWh
 - 600 à 900 kWh
 - > 900 kWh
 - Quantité d'énergie thermique produite par l'installation par tonne de déchets traités (en kWh et Tep)
 - 0 kWh
 - 0 à 400 kWh
 - 400 à 800 kWh
 - 800 à 1200 kWh
 - > 1200 kWh

- Quantité de résines vierges économisée par tonne de déchets plastiques traitée

- Quantité de ressources naturelles économisée par tonnes de déchets plastiques utilisée comme combustible

Impact local

Eau

- Mode de prélèvement (cours d'eau, nappe phréatique, réseau)
- Quel est le rapport entre le débit net prélevé dans la nappe et le débit de la nappe
- Quel est le rapport entre le débit net prélevé dans le cours d'eau et le débit d'étiage de ce dernier
- Consommation d'eau
 - Quantité d'eau consommée par l'installation par tonne de déchets traités
 - < 1 m³
 - 1 à 3 m³
 - 3 à 5 m³
 - 5 à 10 m³
 - > 10 m³
- Devenir de l'eau de process
 - en circuit fermée
 - rejetée (circuit ouvert)

Environnement 2/6

Rejets atmosphériques

Question préliminaire

- L'activité première est elle source de rejets atmosphériques ?
 - OUI
 - NON

Si OUI, quelles sont les valeurs générales de rejet (valeur d'émission courante à la tonne de déchets plastiques ou le cas échéant par tonne de déchets attribués à l'activité en Nm³) ?

Impact global

- Effet de serre et couche d'ozone : Le procédé est il susceptible d'émettre des gaz à effet de serre ?
 - OUI
 - NON

Si OUI, quelles sont les valeurs d'émission pour les composés suivants : CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC (valeur d'émission courante à la tonne de déchets plastiques ou le cas échéant par tonne de déchets attribués à l'activité en Nm³)

Impact local

- Le procédé est il susceptible d'émettre des rejets atmosphériques ?
 - OUI
 - NON

Si OUI, quelles sont les valeurs d'émission (par tonne de déchets plastiques ou le cas échéant en Nm³) pour les composés suivants : poussières, COV, NO_x, HCl, HF, SO₂, NO, NO₂, métaux (Ca, Hg, Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V), dioxines, furanes, autres.

Environnement 3/6

Le transport des déchets

- Mode de transport des déchets plastiques
 - rail (%) ○ route (%) ○ fret fluvial (%) ○ fret maritime (%)
- Modes de transport routier (type de camions)
- Distance parcourue jusqu'au centre de valorisation
 - < à 50 km ○ de 50 à 100 km ○ de 100 à 200 km ○ > à 200 km

Environnement 4/6

Les rejets aqueux

Renseignements préliminaires

- L'activité première est elle source de rejets aqueux ?
 - OUI
 - NON

Si OUI, quelles sont les valeurs générales de rejet (valeur de rejet courante à la tonne de déchets plastiques ou le cas échéant par tonne de déchets attribués à l'activité en m³) ?

Impact local

- Le procédé est il susceptible de rejeter des effluents dans le milieu naturel ?
 - OUI
 - NON

Si OUI, quelles sont les valeurs de rejets (par tonne de déchets plastiques ou le cas échéant en m³) des composés suivants : MES, COT, DCO, DBO5, dioxines/furanes, hydrocarbures totaux, NO₃, NH₄, nitrites, phosphore total, métaux lourds (Ag, Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Se, Sn, Zn), autres.

- L'installation est elle équipé d'une station de traitement interne des eaux ?
 - OUI
 - NON

Où sont elles envoyées vers une STEP (impact délocalisé)

- OUI
- NON

Environnement 5/6

Déchets secondaires

Renseignements préliminaires

L'activité première est elle source de production de déchets secondaires

- OUI
- NON

- Proportion de déchets secondaires formés par tonne de déchets plastiques traités :

- 0%
- de 0 à 5%
- de 5 à 15%
- de 15 à 30%
- de 30 à 45%
- > à 45%

- Toxicité des déchets secondaires formés : déchets de type

- Déchet dangereux
- Déchet non dangereux

Environnement 6/6

Certification

- L'entreprise est elle certifiée ISO 14000

- OUI
- NON
- En cours de réalisation

- L'entreprise est elle certifiée ISO 9000

- OUI
- NON
- En cours de réalisation

Critère technique

Technique 1/2
<p>Performance du procédé</p> <ul style="list-style-type: none"> • Adaptabilité : <ul style="list-style-type: none"> - Le procédé a-t-il la capacité à absorber des fluctuations quantitatives <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> OUI <input type="radio"/> NON - Le procédé a-t-il la capacité à absorber des fluctuations qualitatives (modification de la composition des déchets livrés) <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> OUI <input type="radio"/> NON - Le procédé peut-il s'adapter au cahier des charges des utilisateurs finaux <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> OUI <input type="radio"/> NON
<ul style="list-style-type: none"> • Niveau de préparation : le déchet a-t-il besoin d'une préparation particulière pour intégrer la filière tels que broyage, lavage, tri... (recours à une entreprise tierce) <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> OUI <input type="radio"/> NON <p><i>Si OUI, la méthodologie doit être utilisée pour évaluer les impacts de cette étape de préparation ou de prétraitement.</i></p>
<ul style="list-style-type: none"> • Quantité de déchets pouvant être intégrée dans le procédé (X % de déchet plastique pour une tonne de déchets traités) <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> 10% <input type="radio"/> 20% <input type="radio"/> 40% <input type="radio"/> 60% <input type="radio"/> 80% <input type="radio"/> 100%
<ul style="list-style-type: none"> • Niveau de technicité du process <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Élevé (équipements complexes) <input type="radio"/> Faible (équipements peu complexes)
<ul style="list-style-type: none"> • Fiabilité et robustesse (maîtrise du risque technique) : évaluation de la non disponibilité de l'installation en cas de dysfonctionnement (hors période d'arrêt technique annuelle) <ul style="list-style-type: none"> ○ Nombre de jours d'arrêt de l'installation suite à une défaillance technique (arrêt non programmé) (lors de l'année précédente) <ul style="list-style-type: none"> ▫ de 1 à 3 jours ▫ de 4 à 10 jours ▫ de 10 à 20 jours ▫ > à 20 jours ○ Nombre de jours d'arrêt de l'installation imposés par la DRIRE du fait de non-conformité réglementaire (lors de l'année précédente) (à placer éventuellement dans une autre rubrique ou à supprimer) <ul style="list-style-type: none"> ▫ de 1 à 3 jours ▫ de 4 à 10 jours ▫ de 10 à 20 jours ▫ > à 20 jours
<ul style="list-style-type: none"> • Capacité de stockage de l'installation (en tonne, ou en m³)

Technique 1/2 (suite)

Performance du procédé (suite)

- Le procédé induit-il la formation de déchets secondaires (type mâchefers, cendres...)
 - OUI
 - NON

Si OUI quelle est la proportion par tonne de déchets traités :

- 10%
- 20%
- 30%
- > 30%

- Le procédé induit-il la formation de produits recyclés (granulé, paillettes recyclés)
 - OUI
 - NON

Si OUI quelle est la proportion par tonne de déchets traités :

- 10%
- 20%
- 40%
- 60%
- 80%
- 100%

- Taux de pureté souhaité pour le produit sortant (cas du recyclage matière et des produits recyclés)
 - de 80 à 90%
 - 95%
 - de 95 à 99%
 - > à 99%

Technique 2/2

Développement et maturité

- Stade de développement technologique (filières maîtrisées, en développement et prospectives)
 - Procédés maîtrisés (stade industriel) : les circuits de valorisation et les procédés de traitement sont anciens et utilisés industriellement sur le marché
 - Procédés en développement (stade pilote) : des circuits en terme de traitement et de débouchés sont identifiés ; des traitements sur des quantités « pilote » ou industrielles sont en cours et les équilibres économiques de la filière sont appréhendables.
 - Procédés prospectifs (stade laboratoire) : les circuits de valorisation en terme de traitement et de débouchés sont inconnus mais des essais de faisabilité, des simulations sont en cours sur certains traitements et certaines applications au moins au niveau laboratoire.
- Etat de la filière – degré de diffusion (filière active, finalisée en attente, non finalisée en attente)
 - Filière active : la filière est déjà réalisée et les circuits de valorisation de la filière sont utilisés de façon industrielle sur le marché.
 - Filière finalisée en attente : l'ensemble de l'étude technico économique relative à la filière a été menée à terme mais des conditions particulières ont empêché son déploiement
 - Filière non finalisée en attente : le développement a été interrompu ou suspendu avant que l'étude technico économique soit menée à son terme.

Critère sociétal et sanitaire

Sociétal et sanitaire 1/3

Analyse sociétale

- Impact de l'activité sur l'emploi : indicateur du contenu emploi exprimé en nombre de poste à plein temps par tranche de capacité de 1 000 tonnes/an de déchets entrants
- La population est elle consultée via l'existence d'une CLIS (Commission Locale d'Information et de Surveillance) ?
 - OUI
 - NON
- Acceptation de l'installation de l'activité de valorisation par la population, perception de la filière : commentaire subjectif par rapport à 3 types d'acteurs : les riverains, les élus locaux et les associations écologistes. (une réponse est à donner pour chaque type d'acteurs)
 - Forte opposition
 - Très forte opposition
 - Soutenue
 - Très soutenue

Sociétal et sanitaire 2/3

Conditions de travail

Analyse des conditions de travail (sécurité et condition de travail du personnel)

- Existe-t-il une politique HSE (Hygiène, Sécurité, Environnement) (type OHSAS 18001) et un engagement de la part de la direction de l'installation ?

- OUI
- NON

Si OUI, cette politique est elle connue de tous (indicateur et diffusion des résultats)

- OUI
- NON

- L'entreprise a-t-elle évalué les risques et dangers HSE auxquels peut être exposé le personnel ?

- OUI
- NON

- Les moyens en matériel de protection individuelle et collective sont ils définis et bien adaptés à l'usage afin de travailler en sécurité et de préserver la santé du personnel ? et sont ils disponibles ?

- OUI
- NON

- Existe-t-il un système d'information et de communication en terme HSE touchant tout le personnel (affiches, panneaux, journal d'entreprise, programme vidéo, conférences...)?

- OUI
- NON

- Existe-t-il un processus de formation HSE formalisé et en place ?

- OUI
- NON

- Le personnel est il sensibilisé et informé sur la conduite à tenir en cas de dangers ou d'incidents (accidents, incendies) (existence d'un plan d'organisation des secours) ?

- OUI
- NON

Sociétal et sanitaire 2/3 (suite)

Conditions de travail (suite)

- Pour chaque poste de travail, existe-t-il une description de fonction précisant les dangers et les risques ainsi que la compétence, l'aptitude, la formation et l'expérience requise ?
 - OUI
 - NON
- Le personnel a-t-il connaissance de ces éléments ?
 - OUI
 - NON
- Les installations utilisées sur le centre de valorisation sont elles en quantité suffisante par rapport au tonnage traité et couvre l'ensemble des besoins de l'activité ?
 - OUI
 - NON
- L'entreprise a-t-elle établi une liste des postes dits dangereux.
 - OUI
 - NON
- Taux de fréquence des accidents du travail (TF1) pour le personnel du site : nombre d'accidents avec arrêt par millions d'heures travaillées.
- Taux de gravité (TG) pour le personnel du site : nombre de jour d'arrêt par milliers d'heures travaillées.
- Taux de fréquence global (TF2) : nombre d'accidents déclarés avec et sans arrêt, multiplié par 106 et divisé par le nombre d'heures de travail effectuées sur la période considérée.
- Les soins infirmiers (accidents mineurs) sont ils recensés dans un registre
 - OUI
 - NON

Sociétal et sanitaire 3/3

Evaluation des impacts (envers les riverains)

- Odeurs : l'activité est elle source d'émission d'odeurs

- OUI
- NON

L'activité est elle soumise à des plaintes relatives à des odeurs connues comme gênantes

- OUI
- NON

- Poussières : l'activité est elle source d'émission de poussières

- OUI
- NON

L'installation est elle soumise à des plaintes relatives à la forte émission de poussières

- OUI
- NON

- Visuel : l'installation se distingue t-elle en rompant l'harmonie du paysage

- OUI
- NON

- Bruit : l'installation est elle source d'émission de bruit

- OUI
- NON

L'installation est elle soumise à des plaintes relatives à la forte émission de bruit (réglementation)

- OUI
- NON

- Trafic : quel est le trafic moyen de camion à proximité du site (8h-20h/20h-8h) ;

- | | |
|--|---|
| <input type="radio"/> < à 10 camions par jour | <input type="radio"/> de 10 à 30 camions par jour |
| <input type="radio"/> de 30 à 50 camions par jour | <input type="radio"/> de 50 à 80 camions par jour |
| <input type="radio"/> de 80 à 100 camions par jour | <input type="radio"/> > à 100 camions par jour |

Ce trafic est il source de congestion du réseau routier :

- OUI
- NON

Toxicité humaine (riverains)

- Une Evaluation des Risques Sanitaires (ERS) a-t-elle été réalisée ?

- OUI
- NON

Les résultats sont ils concluants ?

- OUI
- NON

Critère débouché

Débouché des plastiques recyclés
<ul style="list-style-type: none">• Recensement des plastiques recyclés formés
<p>Analyse des filières</p> <ul style="list-style-type: none">• Evaluation des filières de reprise : types d'applications ou d'utilisations<ul style="list-style-type: none">○ Existantes○ Multiples○ Faibles
<p>Analyse des débouchés</p> <ul style="list-style-type: none">• Pérennité du débouché du plastique recyclé formé<ul style="list-style-type: none">○ Forte/faible fluctuation de la demande/marché○ Ne subi aucune fluctuation○ Variabilité temporelle de la quantité de produits/sous produit formés○ Indépendante/dépendante de la réglementation
<ul style="list-style-type: none">• Concurrence vis-à-vis d'autres produits : existe t il une concurrence vis-à-vis de la matière vierge ou d'autres produits de remplacement ?<ul style="list-style-type: none">○ OUI○ NON
<ul style="list-style-type: none">• Fiabilité du débouché de plastique recyclé<ul style="list-style-type: none">○ Débouchés à 5 ans (pour les filières en amorce et en développement, la taille de ce débouché doit être suffisante dans les 5 ans à venir afin d'assurer le procédé industriel)○ Débouchés potentiels (pour les filières de débouchés peu ou pas développées et dont la précision des informations pouvant être limitée, ce sous critère pourra être évalué en terme de potentialité)

Devenir des déchets secondaires

- Recensement des déchets secondaires formés (évolution de la quantité ; exutoires actuels)

Analyse des filières

- Recensement des filières de prise en charge
 - Existantes
 - Multiples
 - Faibles

- Evolution des filières de prise en charge

- Eventualité d'une valorisation extérieure
 - Existantes
 - Faibles
 - Inexistantes

Analyse du gisement de déchets secondaires formés

- Pérennité du de la filière (exutoire)
 - Variabilité temporelle de la quantité produite
 - Indépendant/dépendant de la réglementation

NOTA : Si la quantité de déchets secondaires formée est supérieure à 20% en poids du gisement de départ alors la filière de prise en charge (exutoire) doit également être évaluée.

Critère économique

Economie
<ul style="list-style-type: none"> • Coût de la prestation de valorisation (X €/tonne de déchets plastiques) (HT) (achat ou vente du gisement de déchets plastiques) <ul style="list-style-type: none"> ○ < 50€ ○ 50 à 100€ ○ 100 à 150€ ○ 150 à 200€ ○ > 200€
<ul style="list-style-type: none"> • Recettes provenant de la valorisation (vente d'électricité ou de chaleur X€ HT) • Recettes provenant du recyclage (X €/tonne de déchets plastiques) (HT)
<ul style="list-style-type: none"> • Fluctuation du cours des matières premières (coût matière vierge par rapport matière première secondaire (HT)) <ul style="list-style-type: none"> ○ Coût Matière vierge > Coût matière première secondaire ○ Coût Matière vierge < Coût matière première secondaire
<ul style="list-style-type: none"> • Coût de transport jusqu'à l'installation de valorisation (influencé par la distance parcourue et le mode de transport utilisé) (HT) <ul style="list-style-type: none"> ○ X€/km ○ X€/km ○ X€/km

NOTA : Les coûts relatifs aux éventuelles filières de prétraitement et de prise en charge des déchets secondaires devront être intégrés à l'analyse économique globale.

ETAPE 4 L'INTERPRETATION DES RESULTATS

Une fois les critères renseignés, l'interprétation des résultats est possible. Au sein de cette partie, un mode d'interprétation des résultats est proposé, ce mode n'est pas fixe et indique seulement à l'utilisateur une façon de procéder parmi d'autres.

NOTA 1 : *Aucun exemple n'a été identifié afin de ne pas influencer l'utilisateur dans son raisonnement et ses choix.*

NOTA 2 : *Cette étape pourra être réalisée en parallèle à l'étape 3*

Afin d'illustrer cette étape, deux exemples d'interprétation et d'agrégations des résultats sont proposés ci-après.

1^e Modèle d'interprétation des résultats

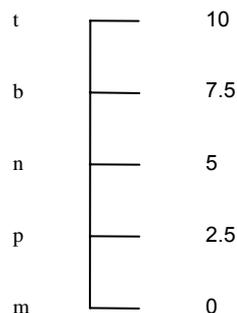
Le mode d'interprétation proposé s'effectue selon les phases suivantes :

- Phase 1 : La hiérarchisation/cotation des thèmes et des sous critères ;
- Phase 2 : La cotation des sous critères ;
- Phase 3 : la cotation et la pondération des critères ;
- Phase 4 : La présentation des résultats.

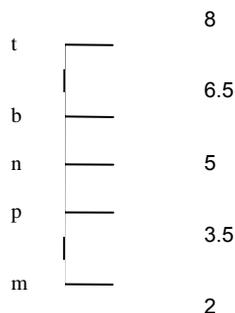
Phase 1 : La hiérarchisation et la cotation des thèmes et conditions d'évaluation

La hiérarchisation et la cotation des thèmes

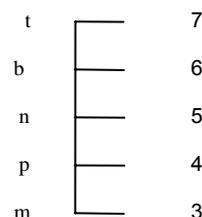
3 niveaux de hiérarchisation des thèmes ont été déterminés : les thèmes à poids fort (A), les thèmes à poids moyen (B) et les thèmes à poids faible (C). A chacun de ces niveaux correspond une échelle de cotation particulière :



Thème à poids fort (A)



Thème à poids moyen (B)



Thème à poids faible (C)

Légende des items: t : très bon
b : bon
n : neutre
p : passable
m : mauvais

Tout d'abord, l'utilisateur doit accorder à chaque thème un poids spécifique.

La réponse obtenue pour chaque thème, lors de l'étape 3 (données chiffrée, fourchette de valeur, réponse binaire...) sera identifiée de « mauvais à très bon ». L'identification sera fonction de l'échelle de cotation de référence préétablie par l'utilisateur ; et ce pour chaque thème.

Cette échelle indique les valeurs, fourchettes de valeurs ou réponse de référence correspondant à chaque item (très bon, bon, neutre, passable, mauvais).

NOTA 1 : La pondération des thèmes ainsi que l'élaboration de l'échelle de référence pour l'évaluation des résultats pourra être l'œuvre du responsable environnement de l'entreprise qui détient du déchet ou pourra être élaborée au cours d'une étude complémentaire.

NOTA 2 : Les sous critères ne font pas l'œuvre d'une pondération. En effet, il apparaît difficile et non pertinent d'identifier une hiérarchisation de ces derniers.

NOTA 3 : Si l'activité première de l'installation qui est évaluée n'est pas la valorisation et le traitement des déchets (activité cimentière par exemple), une pondération particulière est à appliquer du fait que les résultats obtenus correspondent à la fois à l'activité première de l'installation et à l'activité de valorisation des déchets.

Les conditions d'évaluation

Chaque thème pourra être évalué selon les conditions qui sont résumées dans le tableau suivant :

ENVIRONNEMENT			
Sous critère	Thème	Pondération	Condition d'évaluation
Ressources naturelles	Consommation de ressources	B	Plus les valeurs sont faibles plus l'évaluation tend vers très bon
	Consommation d'électricité	A	Plus les valeurs sont faibles plus l'évaluation tend vers très bon
	Energie valorisée	C	Plus les valeurs sont élevées plus l'évaluation tend vers très bon
	Ressources naturelles économisées	B	Plus les valeurs sont élevées plus l'évaluation tend vers très bon
	Consommation d'eau	A	Plus les valeurs sont faibles plus l'évaluation tend vers très bon
	Utilisation eau de process	B	Si l'eau de process est en circuit fermée l'évaluation tend vers très bon
Rejets atmosphériques	...		
...			

Chaque thème pourra être ensuite évalué et l'ensemble des résultats sera présenté sous la forme qui suit :

ENVIRONNEMENT					
Sous critère de caractérisation :	Ressources naturelles				
Thèmes	Consommation de ressources	Consommation d'électricité	Energie valorisée	Ressources économisées	Consommation d'eau
Pondération des thèmes	B	A	C	B	A
Type d'échelle employée	2 à 8	0 à 10	3 à 7	2 à 8	0 à 10
Evaluation de la filière					

Suite à ces résultats, une note moyenne de chaque thème pourra être calculée.

Phase 2 : La cotation des sous critères

Ensuite, la moyenne des notes de chaque thème appartenant à un même sous critère permet d'obtenir une note générale pour chaque sous critère.

Phase 3 : La cotation et la pondération des critères

Les notes obtenues pour les sous critères permettent de calculer une note moyenne générale pour chaque critère. Selon la pondération accordée à chaque critère, on peut ensuite établir une note moyenne pondérée pour chaque critère.

La hiérarchisation des critères est l'œuvre de l'utilisateur et reflète ses choix et sa politique d'entreprise. Cette pondération indique l'importance accordée par l'utilisateur à chacun des critères.

L'échelle des pondérations des critères s'étend de 0 à 5 ; 5 étant la meilleure note.

Phase 4 : la présentation des résultats

L'étape finale de la méthodologie est la présentation des résultats obtenus pour l'ensemble des filières de valorisation étudiée.

Le résultat final pour chaque filière pourra être matérialisé par une note globale (moyenne pondérée des critères) ou par une note spécifique à chaque critère (moyenne des sous critères d'un critère). Ces notes reflètent les résultats obtenus pour les filières de valorisation en tenant compte des pondérations à la fois des critères et des thèmes.

Enfin, des tableaux ou graphiques comparant les résultats obtenus pour les diverses filières pourront être établis.

2^e Modèle d'interprétation des résultats

Ce modèle d'interprétation des résultats repose sur les mêmes bases que celle utilisées dans le 1^e modèle (thèmes, sous critères et critères) et se décompose en 4 étapes :

1^e étape : Cotation des thèmes

Pour chaque thème, les réponses aux questions sont notées de 0 à 10 par l'utilisateur ; 10 étant la meilleure note. La moyenne de ces notes aboutit à une note générale pour chaque thème.

2^e étape : Cotation des sous critères

De la même manière, la moyenne des notes pour chaque thème appartenant à un même sous critère permet d'obtenir une note générale sur 10 au sous critère.

3^e étape : Pondération des sous critères

Dans ce modèle d'agrégation, une pondération des sous critères est réalisée. L'échelle de pondération unique s'étend de 0 à 5 ; 5 étant la meilleure note.

Cette pondération indique l'importance accordée par l'utilisateur à chacun des sous critères.

Ensuite une moyenne pondérée des notes des sous critères permet de donner une note sur 10 au critère.

4^e étape : Pondération des critères et présentation des résultats

Enfin, l'utilisateur réalise une pondération des critères selon ses choix, sa politique d'entreprise et l'importance qu'il accorde à ces derniers. Une échelle de pondération de 0 à 5 pourra être utilisée ; 5 étant la meilleure note.

Les notes obtenues sur les critères (selon la moyenne des notes des sous critères appartenant à chaque critère) sont ensuite pondérées pour donner une note globale à la filière.

CONCLUSION

La filière de la valorisation et ses perspectives

L'élaboration de cette méthodologie a mis en avant l'influence de la réglementation dans le développement de la filière « valorisation » ; et plus particulièrement la filière valorisation matière ; les disparités existantes d'un pays à l'autre mais également les incohérences et les fragilités qu'elle reflète. En effet, un certain nombre de menaces pèsent sur l'industrie du recyclage en France ^[1].

Sur le plan des exportations, des distorsions de concurrence existent et appellent à un meilleur respect des règles au niveau du commerce mondial. Toutefois, l'une des principales inquiétudes concerne le projet de réglementation sur l'enregistrement, l'évaluation des risques et l'autorisation des substances chimiques (Reach) dont la mise en œuvre doit débuter en 2006. Le système Reach concerne à la fois les substances produites et importées par les industriels européens, qu'elles soient nouvelles ou existantes. Le but de Reach est de rendre l'industrie responsable de la bonne utilisation des produits chimiques, en prolongeant cette responsabilité tout au long de la chaîne de fabrication.

Ce règlement menace donc directement la filière du recyclage du fait de l'impossibilité d'établir une traçabilité des plastiques récupérés une fois qu'ils sont introduits dans de nouveaux produits. Autrement dit, l'application de Reach dans sa version actuelle conduit inexorablement à l'interdiction du recyclage des plastiques, ce qui va évidemment à l'encontre de la politique européenne d'encouragement au recyclage. Les professionnels européens de la filière plastique réclament donc l'exemption de cette réglementation pour les préparations à partir de produits recyclés.

Par ailleurs, l'industrie du recyclage des plastiques est également menacée du fait du projet de taxe sur le carbone initié par l'Union Européenne. En réponse à ce projet, une étude du cabinet Gua a conclu que gêner la croissance de l'industrie du plastique pourrait provoquer une augmentation de la consommation énergétique ^[2]. Elle stipule que remplacer les plastiques par des matériaux « traditionnels » (métaux, verre, carton...) compromettrait l'atteinte des objectifs de Kyoto en matière de gaz à effet de serre...

Ces quelques exemples illustrent bien que la valorisation est au cœur des débats et que la réglementation exerce un poids et un rôle considérable sur l'avenir de cette filière.

La poursuite de l'étude

L'étude menée a permis d'appréhender la complexité et la diversité du domaine de la valorisation des déchets plastiques.

Par le biais d'avis d'experts et d'une recherche bibliographique concernant les polymères plastiques, les déchets plastiques et les filières de valorisation matière/énergie ; une méthodologie multicritères a été élaborée. L'étude s'est avant tout attachée à recenser des données permettant d'évaluer une filière de valorisation en fonction du déchet plastique que l'utilisateur détient d'une part, et du contexte dans lequel il évolue d'autre part. Le but ultime est de permettre à un utilisateur industriel de se poser les bonnes questions afin qu'il choisisse de façon motivée, une filière de valorisation pour son type de déchet plastique.

En fin d'étude, une réunion de travail, rassemblant les tuteurs et les experts, a permis un « pré-test » de la méthodologie. Ce test, réalisé à l'aide d'un cas concret, fut l'occasion de faire évoluer la méthode vers un outil complet, accessible et pratique à utiliser.

Néanmoins, afin de continuer ce travail et valider la pertinence opérationnelle de la méthodologie, il serait judicieux qu'un industriel utilise et s'approprie l'outil pour le tester à l'aide d'un cas concret et réel. La mise en pratique de l'outil permettrait de disposer ainsi d'un retour d'expérience sur la fonctionnalité et la pertinence de la méthodologie : ses avantages, ses limites ou encore ses défaillances afin de l'optimiser et la rendre aussi complète et pratique qu'il soit.

Remerciements

CADET International souhaite remercier l'ensemble des tuteurs industriels, l'association RECORD ainsi que les experts pour leur participation et leur intervention.

BIBLIOGRAPHIE

Chapitre 1

- [1] : Rapport 2002/2003 d'analyse de la consommation et de la collecte des plastiques en Europe ; Plastics Europe ; (Publication Eté 2004).
- [2] : Matières plastiques et environnement ; Claude Duval. L'Usine Nouvelle. DUNOD (2004).
- [3] : Matières plastiques ; Chiffres 2003. Syndicat des Producteurs de Matières Plastiques (SPMP).

Chapitre 2

- [1] : Information system on plastic waste management; European overview ; Association of plastics Manufacturers in Europe (APME) ; (2004)
- [2] : Matériaux industriels ; matériaux polymères ; Marc Carrega et coll ; Industrie et technologie -DUNOD (2000)
- [3] : Matières plastiques et environnement, Claude Duval ; L'Usine Nouvelle – DUNOD (2004)
- [4] : Matières plastiques ; Aide mémoire ; Marc Carrega ; L'Usine Nouvelle – DUNOD (2005)
- [5] : Matières plastiques ; Chiffres 2003 ; Syndicat des producteurs de Matières Plastiques (SPMP)
- [6] : Plastics Business Data and Charts ; Plastics Europe; (2004)
- [7] : Rapport 2002/2003 d'analyse de la consommation et de la collecte des plastiques en Europe ; Plastics Europe (2004)
- [8] : European statistics ; Plastics Europe (2003)
- [9] : Enquête sur l'état de l'art et les perspectives techniques de tri automatiques des déchets ; ADEME (2003)
- [10] : Electrique et Electronique Initiative Recyclage: Etude pour une filière de recyclage des déchets d'équipements électriques et électroniques sur le territoire national ; SCRELEC (2004)
- [11] : Les données de l'enquête sur la filière du recyclage des plastiques en France ; ADEME (2004)
- [12] : Le cours des plastiques (indices et cotations) ; hebdomadaire L'Usine Nouvelle (janvier 2004 à janvier 2005)
- [13] : Le cours des déchets plastiques ; données de la Plasturgie Française
- [14] : Plastics in Electrical and Electronic Equipment ; APME (2004)
- [15] : Feedstock recycling of electrical and electronic plastics waste, APME (1997)

[16] : The QWERTY/EE Concept ; Quantifying Recyclability and Eco Efficiency for End of Life Treatment of Consumer Electronic Products ; Jacob Huisman (2003)

[17] : Méthodes Multicritères ELECTRE, L. Yves Maystre, J.Pictet, J. Simos ; Presses Polytechniques et Universitaires Romandes (1994)

Chapitre 3

[1] : Matières plastiques et environnement, Claude Duval ; L'Usine Nouvelle – DUNOD (2004)

[2] : Les données de l'enquête sur la filière du recyclage des plastiques en France ; ADEME (2004)

[3] : Rapport 2002/2003 d'analyse de la consommation et de la collecte des plastiques en Europe ; Plastics Europe (2004)

[4] : Les producteurs rationalisent leur gamme ; hebdomadaire L'Usine Nouvelle n°2952, 24 février 2005

[5] : Recyclage chimique des matières plastiques ; ADEME (2002)

[6] : Les procédés de Traitement Thermique des Ordures Ménagères ; Cadet International (2004)

Conclusion

[1] : Le recyclage des plastiques à la croisée des chemins, mensuel Environnement et techniques (juin 2005)

[2] : The contribution of Plastics Products to Resource Efficiency (GUA, janvier 2005)

GLOSSAIRE

ACV (Analyse du Cycle de Vie)

Compilation et évaluation des entrants* et des sortants*, ainsi que des impacts potentiels environnementaux d'un système de produits* au cours de son cycle de vie.

(*) Le terme « entrant » signifie matière ou énergie entrant dans un processus élémentaire*.

Le terme « sortant » signifie matière ou énergie sortant d'un processus élémentaire*.

Le terme « produit » est à entendre au sens large : il désigne un bien ou un service.

(*) Les termes « processus élémentaire » signifient plus petite partie d'un système de produit pour lequel les données sont recueillies lors de l'analyse de cycle de vie.

(Source: Norme ISO 14040)

Alliages/Mélanges

Ces termes sont utilisés dans la plasturgie pour désigner les mélanges de polymères ou de copolymères avec d'autres polymères ou élastomères. Exemple : ABS/Polycarbonate. Les mélanges de polymères sont des combinaisons de deux (ou plus) polymères miscibles différents : ils sont accrochés mécaniquement plutôt que liés chimiquement. Le mélange consiste à mélanger ou à faire réagir deux (ou plus) résines de polymère dans le but d'améliorer les propriétés de la matière. Le mélange permet d'adapter les propriétés des matières en fonction des besoins. Chaque polymère possède certaines caractéristiques utiles mais il lui manque certaines propriétés. Le mélange ou alliage résultant de la combinaison de ces propriétés présentera les caractéristiques de chacun de ses polymères parents. En général, il n'existe aucune différence significative entre les termes « alliage » et « mélange ».

Amorphes/Semi cristallins

Lors de la solidification d'un polymère thermoplastique fondu, les chaînes de molécules peuvent se combiner pour former des structures moléculaires ordonnées ou cristallites. Les polymères amorphes sont des polymères incapables de cristalliser. Ils sont orientés de manière aléatoire et ne présentent aucune structure moléculaire logique. L'intégrité structurelle des résines amorphes repose sur des longueurs de chaînes accrues (poids moléculaire plus élevé) et leur enchevêtrement physique. Leur structure ressemble à un « spaghetti ». Un polymère cristallin possède une chaîne polymère dotée d'une structure moléculaire logique : des zones cristallines entourées par des zones amorphes. Le terme « cristallin » est en fait inapproprié, car les matières polymères cristallines sont seulement « semi cristallines » par nature. La structure cristalline n'existe pas dans tout le polymère : certaines zones possèdent une structure moléculaire ordonnée et d'autres non.

Catalyseur

Au sens chimique, un catalyseur est une matière permettant d'accélérer une réaction, sans vraiment faire partie de cette réaction et sans être consommée.

Centres de stockage de déchets ultimes

Installation d'élimination de déchets par dépôt ou enfouissement. Il existe trois types de centres de stockage (CSDU) selon les classes de déchets à traiter.

- **Centre de stockage de classe 1**

Installation classée soumise à autorisation, qui admet des déchets dangereux ultimes. Ces résidus sont confinés et stabilisés. Ce type de centre ne peut être installé que sur des terrains imperméables

- **Centre de stockage de classe 2**

Installation classée soumise à autorisation qui admet les déchets ménagers, les déchets industriels et commerciaux banals. Elle est aménagée sur des terrains semi imperméables. L'exploitation est réalisée dans des casiers étanches équipés d'un système de drainage et de récupération des eaux de percolations (lixiviats).

- **Centre de stockage de classe 3**

Installation relevant du code de l'urbanisme (autorisation du maire). Elle admet les déchets inertes non dangereux.

Centre de tri

Installation permettant d'effectuer un tri industriel et un conditionnement des déchets. Les matériaux sont séparés les uns des autres, selon leur catégorie (bois, papier, cartons, plastiques métaux...), voire selon des sous-catégories (qualités de papiers et des cartons, familles de plastiques...).

Les déchets réceptionnés sont envoyés vers une zone de pré tri puis vers des postes de tri manuels ou automatiques. Ils font ensuite l'objet d'un conditionnement avant leur transport vers les filières de valorisation pour les déchets valorisables et les centres de stockage pour les refus de tri.

Collecte

Ensemble des opérations consistant à enlever les déchets et à les acheminer vers un lieu de transfert, de tri, de traitement, de valorisation ou vers une décharge.

(Source ADEME)

Collecte sélective

Ensemble des opérations consistant à enlever sélectivement les déchets préalablement triés pour les acheminer ensuite vers un lieu de tri, de traitement ou de valorisation.

Combustion

Réaction exothermique d'une substance au contact d'un oxydant, généralement accompagné de flammes et/ou d'incandescence et/ou d'émission de fumée.

Compound

Mélange de résine et de divers ingrédients, destiné à modifier la résine et à lui donner des propriétés adaptées aux besoins de la pièce finale.

Compoundage

Processus de sélection et d'incorporation des additifs dans un polymère. Ce mélangeage a pour but d'obtenir certaines propriétés propres à des utilisations spécifiques. La modification des propriétés d'un polymère est obtenue par l'ajout d'ingrédients tels que les résines polymériques, les plastifiants, les charges, les agents de renforcement, divers stabilisants, les lubrifiants, les colorants, les agents ignifuges, etc.

Constante diélectrique

Mesure de la quantité d'énergie électrique stockée dans une matière.

Copolymère

Terme désignant généralement un polymère constitué de deux monomères chimiquement distincts.

Crible

Procédé de tri mécanique ayant pour objectif une séparation granulométrique et morphologique des objets, selon leur aptitude à passer à travers les mailles d'un crible

CSTB

Normes françaises du bâtiment destinées à mesurer les performances au feu des matériaux de construction. Le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) est l'institut chargé de conduire les tests destinés à obtenir les classifications M0 à M4. Le test principal est la norme NF P92-501, test épiradiateur. Les échantillons de test sont rigides et d'épaisseurs variables, ou flexibles avec une épaisseur > 5 mm. Un échantillon de test de 300 x 400 mm (avec une inclinaison à 45°) est exposé à un radiateur électrique de 500 W. Des veilleuses sont installées au-dessus et en dessous de l'échantillon afin d'allumer les gaz combustibles de décomposition. La durée du test est de 20 minutes. Selon le moment correspondant à la première inflammation, et suivant la hauteur des flammes et la température des gaz et les fumées, une classification allant de M1 à M4 est donnée.

M0 – non combustible (principalement des matières non organiques)

M1 – non inflammable

M2 – faible inflammabilité

M3 – inflammabilité modérée

M4 – forte inflammabilité

Cycle de vie

Phases consécutives et liées d'un système de produits, de l'acquisition des matières premières ou de la génération des ressources naturelles à son élimination finale.

(Source: Norme ISO 14040)

Déchet

Tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon.

(Source : Loi du 15 juillet 1975 modifiée par la Loi du 13 juillet 1992 – Article 1^{er})

Déchets d'emballage

Emballages, matériaux d'emballages, dont le détenteur final, qui sépare l'emballage du produit qu'il contenait, se défait (Définition conforme à la Directive Emballages 94/62/CE et à la Directive Déchets 75/442/CCE). Ceci n'inclut pas les déchets de fabrication d'emballages. Par emballage, on désigne toute forme de contenant ou de support destiné à contenir un produit, pour en faciliter le transport ou la présentation à la vente. (Décret n° 92-377 du 01/04/92)

(Source ADEME)

Déchets fermentescibles

Composés de matières organiques biodégradables, ils regroupent essentiellement les déchets putrescibles, les papiers et cartons, des textiles sanitaires non synthétiques, les bois. Les matières plastiques en sont exclues.

Déchets ménagers et assimilés

Déchets incluant les ordures ménagères et produits issus de la collecte sélective, les déchets encombrants des ménages, les déchets industriels banals et commerciaux ou artisanaux non nécessairement concernés par les seuls circuits de la collecte des ordures ménagères

(Source Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable)

DEEE

Déchets des Equipements Electriques et Electroniques.

Distillation

La distillation est un procédé de raffinage qui consiste à traiter le pétrole brut préalablement chauffé à 360 degrés afin d'en séparer les différentes fractions. Après vaporisation, il est envoyé dans une tour de distillation atmosphérique. Chaque niveau de température correspond à une étape du fractionnement et donne un produit spécifique : les produits légers sont recueillis dans la partie supérieure de la tour (butane et propane, essence légère ou naphtha), les produits moyens (essence lourde, kérosène et gazole) sont récupérés en soutirage latéral, et le résidu atmosphérique est recueilli au fond de la tour. Cette séparation n'est pas suffisante pour donner toutes les qualités requises à chacun des produits obtenus. Interviennent alors le craquage et le reformage pour les carburants.

Dureté

La dureté d'une matière peut être mesurée par sa résistance aux rayures ou à l'enfoncement. Les tests de dureté les plus utilisés mettent en jeu la résistance de la matière à l'enfoncement dans des conditions standardisées. Un pénétrateur dur d'une forme standardisée est appuyé contre la surface de la pièce avec une charge définie. La zone d'enfoncement résultante ou la profondeur de la pénétration est alors mesurée et une valeur numérique lui est affectée. Différentes méthodes peuvent être utilisées. Pour les plastiques, les méthodes les plus répandues sont les tests de dureté à la bille, de Rockwell et de Shore.

Eco conception

Démarche consistant à prendre en compte la protection de l'environnement dans la conception des produits (biens et services). C'est une approche multicritère (eau, air, sols, bruit, déchets, matières premières, énergie, etc.) et multi étape (elle prend en compte toutes les étapes du cycle de vie des produits : depuis l'extraction des matières premières jusqu'au traitement des produits en fin de vie). A service rendu égal, elle débouche sur la mise sur le marché de produits plus respectueux de l'environnement.

(Source Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable)

Elastomère

Matière qui, à température ambiante, peut s'étirer de façon répétée et atteindre au moins deux fois sa longueur d'origine puis peut revenir à sa longueur d'origine approximative immédiatement après suppression de la contrainte.

Elimination

Interventions sur les déchets comportant les opérations de collecte, de transport, stockage, tri et traitement nécessaires à la récupération des éléments et matériaux réutilisables ou de l'énergie, ainsi qu'au dépôt ou au rejet dans le milieu naturel de tous autres produits dans des conditions propres à éviter les nuisances mentionnées à l'alinéa précédent. (Article L. 541-2 du Code de l'environnement)

(Source ADEME)

Emballage

Tout objet, quelle que soit la nature des matériaux dont il est constitué, destiné à contenir et à protéger des marchandises, à permettre leur manutention et leur acheminement du producteur au consommateur ou à l'utilisateur, et à assurer leur présentation.

(Source : Décret n° 98-638 du 20 juillet 1998)

Emballages ménagers

Ensemble des emballages qui permettent d'assurer le conditionnement, la protection, le transport et la promotion d'un produit destiné aux ménages.

Endothermique

Terme décrivant une réaction caractérisée par une absorption thermique.

Exothermique

Terme décrivant une réaction caractérisée par une production de chaleur.

Gisement

Quantité de déchets de même nature produits (ou regroupés) en un même lieu en vue de leur valorisation ultérieure.

Homopolymère

Les homopolymères sont des polymères composés d'une seule unité de base ou (mono)mère répétée.

Matière première secondaire

Matériaux issus du recyclage de déchets et pouvant être utilisés en substitution totale ou partielle de matière première vierge.

(Source ADEME)

Matière vierge

Tout composant plastique ou toute résine n'ayant pas encore été utilisé(e) ni transformé(e) autrement que lors de sa fabrication.

Micronisation

Procédé de broyage de matières solides conduisant à l'obtention d'une poudre de très fine granulométrie.

Moulage par injection

Méthode de façonnage des objets à partir de granulés ou de poudre plastiques, le plus souvent de type thermoplastique. Les matières sont amenées par l'intermédiaire d'une trémie jusqu'à une chambre chauffée dans laquelle elles sont ramollies, puis poussées dans un moule par l'intermédiaire d'un plateau ou d'une vis. Une pression est maintenue jusqu'à ce que la masse ait suffisamment durci pour permettre le démoulage.

Monomère

Un monomère est l'unité moléculaire à partir de laquelle sont fabriqués les polymères. Un polymère est une chaîne moléculaire formée en combinant plusieurs molécules de taille inférieure. Les polymères sont le produit d'une réaction appelée « polymérisation », processus de connexion de plusieurs (poly) unités simples (mères ou mono-mères) pour former des molécules à longue chaîne possédant un poids moléculaire plus élevé. Les réactions de polymérisation peuvent être contrôlées pour produire des molécules d'une taille moléculaire ou d'une longueur spécifique. Toutes les résines ou les matières plastiques sont de nature polymériques.

Naphta

Fraction légère située entre l'essence et le kérosène, distillant entre 30° et une température allant de 100° à 175°C. Séparé de l'isopentane, le naphta est dirigé vers la pétrochimie où il constitue la principale charge des vapocraqueurs

Plastique

Matière contenant comme ingrédient principal une ou plusieurs substances polymériques organiques ayant un poids moléculaire élevé, étant solide à l'état fini et qui, à une certaine étape de sa fabrication ou de sa transformation, peut être façonné au moyen d'un écoulement.

P.C.I.

Pouvoir Calorifique Inférieur. Quantité de chaleur dégagée par la combustion totale d'une unité de combustible n'incluant pas la récupération de la chaleur latente de vaporisation de la vapeur d'eau. Cette situation étant la plus fréquente, le pouvoir calorifique d'un combustible est généralement exprimé en P.C.I..

Perméabilité

La perméabilité fait intervenir le produit de deux facteurs, la solubilité du perméant dans le polymère et la vitesse de diffusion.

Permittivité relative

La permittivité relative dépend de la structure chimique ; les groupements polaires, ou polarisables augmentent la permittivité. Les variations du champ électrique alternatif provoquent des mouvements moléculaires et une consommation d'énergie transformée en chaleur et qui se traduit par une perte diélectrique. Les meilleurs produits pour les applications de support de circuits ont les permittivités relatives les plus faibles de l'ordre de 2.5 et des pertes diélectriques de l'ordre de quelques 10^{-4} .

Poids moléculaire

Somme des poids atomiques de tous les atomes d'une molécule.

Polymère (Synthétique)

Produit d'une réaction de polymérisation. Le produit de la polymérisation d'un monomère est appelé un homopolymère, un monopolymère ou simplement un polymère. Lorsque deux monomères différents sont polymérisés simultanément, le produit est appelé un copolymère. Le terme terpolymère est parfois utilisé pour les produits résultant de la polymérisation de trois monomères.

Polymérisation

Réaction chimique qui permet d'associer plusieurs molécules élémentaires, identiques ou différentes, pour former une macromolécule (ou polymère). Union de plusieurs molécules de faibles masses moléculaire pour former une macromolécule.

Polystyrène cristal

Polystyrène du type standard d'aspect transparent se présentant avant transformation sous forme de perles solides. Sa rigidité, sa sécabilité, sa transparence tout autant que sa large tenue en température (-30° à + 80° C) en font un matériau de prédilection notamment pour l'emballage alimentaire. Issu de la pétrochimie, ce polymère recyclable peut être également obtenu par extrusion d'emballages PSE à recycler. On le retrouve alors teinté en noir sous forme de boîtiers divers (CD, DVD, appareils photos jetables, cassettes vidéo/audio,...)

Polystyrène expansé (PSE)

Polymère à structure rigide à cellules fermées, facilement identifiable par sa blancheur et sa légèreté. Il est obtenu à partir de perles de polystyrène expansible selon un procédé d'expansion et de moulage par action de la chaleur inventé par BASF en 1952. Ses excellentes propriétés de protection mécanique tout autant que son pouvoir isolant thermique ou son aptitude au contact alimentaire en font un matériau de choix pour tous les emballages de protection (secteur blanc, brun, électronique grand public, automobile,... mais aussi applications agro-alimentaires - dont secteur de la marée - et industrie pharmaceutique). Sur certains emballages, on trouve un marquage – le chiffre 6 et l'abréviation PSE – qui permet de l'identifier.

Prétraitement

Opération qui conduit à la modification de la composition chimique ou des caractéristiques physiques du déchet et qui nécessite un traitement complémentaire ou une mise en décharge contrôlée. Le but principal est de diriger, par le jeu de mélanges et de séparations de phases, chaque fraction du déchet vers sa destination économique optimale. (Circulaire du 30 août 1985)
(Source ADEME)

Procédé en solution :

Principe consistant à utiliser un solvant ou un mélange de solvants susceptibles de dissoudre uniquement la fraction que l'on souhaite récupérer.

Producteurs (de matières plastiques)

Intervenants de la chaîne de fabrication qui produisent la matière première plastique (dans le cas du PSE, le polystyrène expansible). Ces intervenants sont généralement des groupes chimiques et/ou pétroliers. Les matières plastiques ne sont pas directement utilisables sur le marché final. Produites sous forme de granulés, poudres, liquides..., elles doivent subir une ou plusieurs transformations pour atteindre le consommateur final.

Propriétés diélectriques

Les polymères organiques sont en général des isolants que des charges conductrices percolantes peuvent rendre conducteurs : graphite en poudre, fibres de nickel.

Propriété mécanique

Les propriétés des plastiques classées comme propriétés mécaniques incluent : la résistance à l'abrasion, le fluage, la ductilité, la résistance à la friction, la dureté, l'élasticité, la résistance aux chocs, la consistance et la puissance.

RBA

Résidus de Broyage Automobile ; fractions sortantes des broyeurs de VHU et autres ferrailles après extraction des métaux. Les RBA sont principalement composés de : plastiques et élastomères, particules fines non magnétiques, particules fines magnétiques, fibres diverses, bois, terre, pierres, mousses de polyuréthane.

Recyclage en boucle

Appellation d'un procédé qui permet de réutiliser les matériaux régénérés dans la même application. La masse de déchets recyclés est en phase avec la consommation du produit. Procédé aussi appelé recyclage en boucle fermée ou « closed loop ».

Recyclage chimique :

Le retraitement, autre qu'un recyclage organique, aux fins originelles ou à d'autres fins, à l'exclusion de la valorisation énergétique et de l'élimination, par modification de la structure chimique des déchets et recyclage des constituants contenus dans la matière originelle des déchets (d'après la proposition de modification de la directive 94/62/CE § 9ter de décembre 2001).

Recyclage matière

Le retraitement, dans un processus de production, des déchets, soit en vue de la même utilisation que celle d'origine, soit à d'autres fins mais à l'exclusion de la valorisation énergétique (d'après la directive 2000/53/CE du 18 septembre 2000).

Refus de tri

Déchets non récupérés à l'issue du tri industriel parce que non valorisables dans les conditions techniques et économiques du moment. Il seront soit incinérés, soit stockés.

Régénération

Cela consiste en un procédé physique ou chimique qui redonne à un déchet son état et ses qualités initiales, permettant de l'utiliser en remplacement d'une matière première vierge.

Résine

Terme utilisé pour désigner tout polymère servant de matière de base aux plastiques.

Résistance

Capacité d'une matière à résister aux forces appliquées sans s'étirer ni se fracturer. La résistance des matières peut varier de façon significative en fonction de la façon dont elles sont déformées. Une matière résistante et ductile sous une charge statique peut s'avérer peu résistante et fragile lorsqu'elle est soumise à des contraintes cycliques ou à des impacts.

Résistivité

La résistivité va déterminer le caractère isolant ou conducteur d'un matériau.

Solvants

Substances ayant la capacité de dissoudre d'autres substances.

Soufflage

Procédé de formation d'articles creux par gonflement d'un élément de plastique chaud appelé paraison contre les surfaces internes d'un moule.

Température de cristallisation

Pour les polymères cristallins, correspond à la température à laquelle se forment les cristaux, ou T_c .

Température de fusion

La température de fusion (ou T_f) est la température, mesurée dans des conditions définies, à laquelle la cristallinité d'un polymère semi cristallin disparaît. Les matières semi cristallines possèdent une température de fusion clairement définie. Les matières amorphes se ramollissent sur un large intervalle de température supérieur à leur température de transition vitreuse. Elles ne possèdent pas de T_f spécifique, mais un intervalle de fusion. La température de fusion doit être mesurée à partir d'un volume d'injection de purge possédant la même durée de résidence que lors du process de production.

Température de ramollissement Vicat

Température, mesurée dans des conditions de test définies, à laquelle une matière présente une déformation donnée.

Température de transition vitreuse

La transition vitreuse est la modification réversible de la structure d'un polymère amorphe, ou des zones amorphes d'un polymère partiellement cristallin, passant d'un état visqueux ou caoutchouteux à un état dur et relativement fragile. La température de transition vitreuse ou T_g est la température (ou la plage de températures) à laquelle se produit la transition vitreuse.

Tenue à la lumière

La tenue à la lumière est la résistance aux modifications de couleurs suite à l'exposition à une lumière sans effets atmosphériques directs (c'est pourquoi la « tenue à la lumière » est différente de la « résistance à l'altération atmosphérique »). La tenue à la couleur est testée par des tests de décoloration artificiels.

Thermodurcissable :

La forme que l'on donne à ces plastiques en les chauffant est irréversible. Ils représentent 20% du marché mondial des plastiques. Capables de supporter des températures supérieures à celles des thermoplastiques, leur transformation est néanmoins plus longue.

Thermoplastiques

Lorsque l'on chauffe des thermoplastiques, ils deviennent malléables et pâteux. En se refroidissant, ils se solidifient et peuvent à nouveau être fondus. Ces polymères représentent 80% du marché mondial des plastiques. La rapidité de leur mise en oeuvre et la possibilité de réutiliser les déchets de production ont favorisé leur emploi. Dans la famille des thermoplastiques, on distingue généralement trois branches: les grands thermoplastiques, les thermoplastiques techniques et les autres thermoplastiques, entre lesquelles les frontières sont parfois floues.

Tri aéraulique

Séparation des objets par courant d'air en fonction des différences de densité, de taille, de forme, de portance à l'air et de structure des objets.

Tri électrostatique

Séparation des objets suivant leur comportement différencié dans un champ de potentiel électrique.

Tri hydraulique

Séparation des objets en fonction de leur aptitude à flotter ou à couler dans un liquide sous l'effet de la force de gravité normale et de la poussée d'Archimède.

Tri magnétique

Séparation des objets par attraction ou répulsion magnétique.

Tri optique

Identification des matériaux selon leur spectre de réflexion dans le domaine du visible ou de l'infrarouge.

Tri thermique

Séparation des objets suivant leur comportement à la chaleur (absorption et ramollissement).

Valorisation énergétique

Utilisation de déchets combustibles en tant que moyen de production d'énergie, par incinération directe avec ou sans autres déchets ; mais avec récupération de chaleur (d'après la directive 94/62/CE du 20 décembre 1994).

Valorisation matière

Ce terme reprend le recyclage physique (recyclage matière et procédés en solution) et recyclage chimique.

Valorisation chimique

On parle de ce type de valorisation quand on cherche, en cassant le polymère à récupérer de petites molécules, si possible des monomères ou des oligomères, réutilisables pour effectuer de nouvelles synthèses. On parle aussi de recyclage matière première.

Vapocraquage

Procédé de craquage par vapeur à haute température d'une charge de naphta, gasoil, gaz liquéfié ou éthane, en vue d'obtenir principalement des oléfines, grands intermédiaires destinés à la pétrochimie.

VHU

Véhicules Hors d'Usage ; véhicules accidentés ou en fin de vie.

Viellissement climatique

Le vieillissement climatique est le processus d'exposition d'une matière aux conditions climatiques extérieures et à l'influence des températures, de l'oxygène, de l'humidité relative et des radiations UV. Combinés, ces facteurs peuvent conduire à une dégradation complète du polymère accompagnée d'une perte totale des propriétés de base et/ou de la couleur. La capacité à supporter une utilisation extérieure est la résistance d'une matière au vieillissement climatique.

Viellissement/Dégradation/Détérioration

Le vieillissement correspond à une modification de la structure chimique et/ou physique d'une matière, provoquée par la chaleur ou la lumière. Les propriétés peuvent en être considérablement affectées. Ce phénomène est également connu sous le nom de dégradation ou détérioration.

Annexe 1 : La méthodologie QWERTY

I. La méthodologie QWERTY et son intérêt

La méthodologie QWERTY (Quotes for environmentally WEighted RecyclabiliTY) permet d'évaluer les filières actuelles de traitement des Déchets d'Equipements Electriques et Electronique en fin de vie. Ce concept repose sur la quantification et l'évaluation du critère environnemental au regard d'autres critères : technique, économique, conception, législation.

Une particularité de ce concept est qu'il étudie d'une part le déchet dans son intégralité et d'autre part la contribution de chaque élément composant le déchet.

Cette méthodologie n'est pas réellement un outil d'aide à la décision ; en effet, elle établit un état des lieux et une comparaison des filières de traitement et de valorisation des DEEE selon différents critères. Elle présente et met en avant ainsi les points pouvant être améliorés et apporte une vision générale de l'ensemble des filières de traitement et de valorisation des déchets.

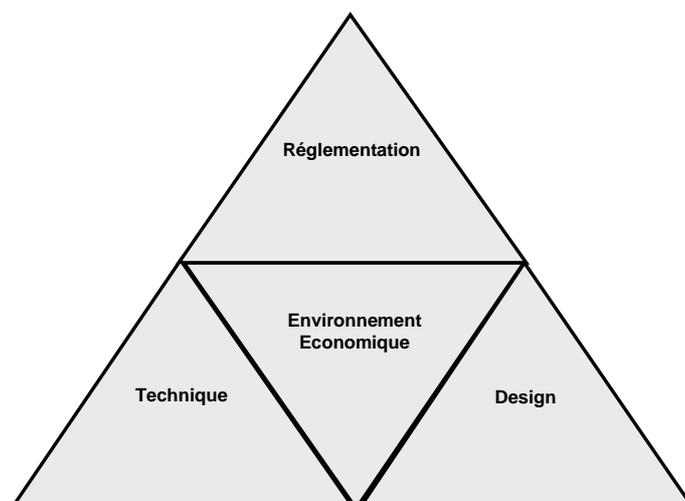
Ainsi, les résultats et les exemples qui seront tirés de cette analyse seront présentés à titre indicatif. En effet la méthodologie présente les formules de calculs mais les données utilisées ne sont pas indiquées. Par ailleurs ces données, très précises, nécessitent une connaissance détaillée et poussée des filières de traitement et du déchet que l'on détient.

Néanmoins le concept de cette évaluation et les mises en forme des résultats pourront être attentivement étudiés pour l'élaboration et la présentation de l'approche multicritères.

II. La présentation de la méthodologie

La présentation de la méthodologie se fera suivant le même cheminement que le document de référence intitulé : The QWERTY Concept. L'accent sera porté sur la définition des critères utilisés et sur la mise en forme des résultats.

L'approche élaborée peut se représenter sous la forme d'une pyramide :



Cette méthodologie sera illustrée à l'aide d'un cas concret : l'évaluation de l'impact du traitement et de la valorisation de fin de vie d'un chaîne hi fi.

II.1 Le concept QWERTY : L'évaluation du critère environnemental

Methodologie

Ce concept compare les différentes filières de fin de vie pour un DEEE donné.

Pour l'évaluation de l'impact environnemental par filière, les étapes du raisonnement sont les suivantes :

- Détermination de la composition du DEEE
- Utilisation des ACV, des inventaires et des bases de données
- Description et évaluation des scénarii de fin de vie comprenant :
 - La collecte et le transport
 - Le broyage et la séparation
 - L'incinération
 - La mise en décharge
 - Les procédés secondaires (formation de matière première secondaire)
 - Les distances de transport des produits et sous produits

L'évaluation de l'impact environnemental d'un scénarii de fin de vie commence par la définition des limites ; c'est-à-dire la définition de l'impact minimum (100% de valorisation) et de l'impact maximum (0% de valorisation). Ensuite l'impact « actuel » ou « réel » est évalué.

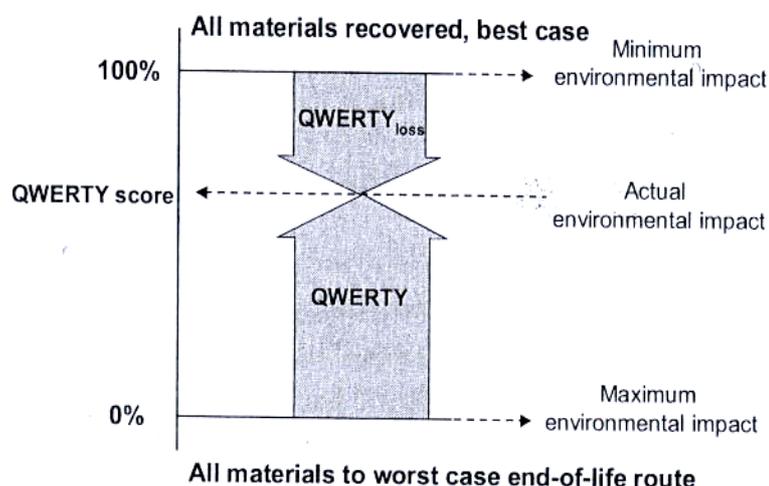


Figure 1 Calculating Qwerty scores

Cette évaluation est réalisée à l'aide de formules arithmétiques utilisant d'une part les données des ACV des produits ; et d'autre part les données concernant les techniques et procédés des filières de fin de vie (consommations de ressources des différents procédés techniques, les taux de substitution, le temps de démantèlement, les rejets aqueux et gazeux, distance des centres de traitement...). Cette opération donne lieu à un « score » (en mPts) venant déterminer et évaluer l'impact environnemental de la filière en question.

Illustration

Les éléments constitutifs de la chaîne hi fi sont indiqués ci après :

Material	Weight (g)	Weight%
Aluminium	47,74	1,2%
Copper	414,34	10,6%
Ferro	1009,28	25,8%
Glass	3,60	0,1%
Plastics	2215,51	56,5%
Other	228,96	5,8%
Total	3919,44	100%

Figure 2 Product composition Soundmachine

Les résultats de l'évaluation de l'impact environnemental se présentent sous la forme d'un histogramme. Cet impact est décomposé selon l'impact de chaque élément constituant le déchet en question.

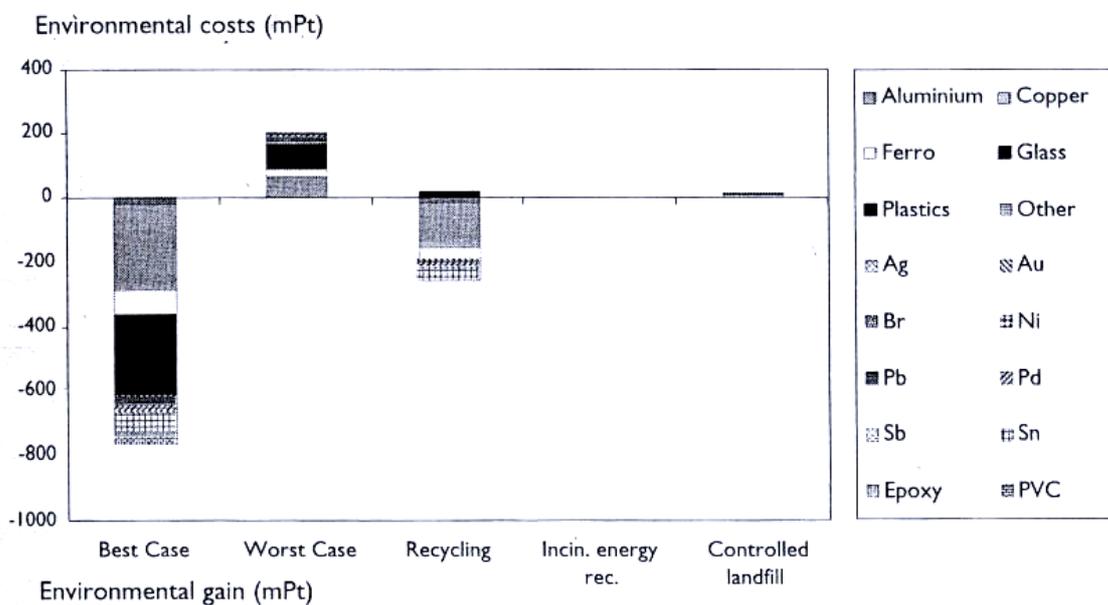


Figure 3 Environmental scores per scenario

II.2 L'évaluation de l'éco efficacité

Methodologie

L'éco efficacité est une notion qui allie les performances environnementales et économiques.

La démarche présentée ci après reprend les données économiques prises en considération pour l'évaluation économique de la filière :

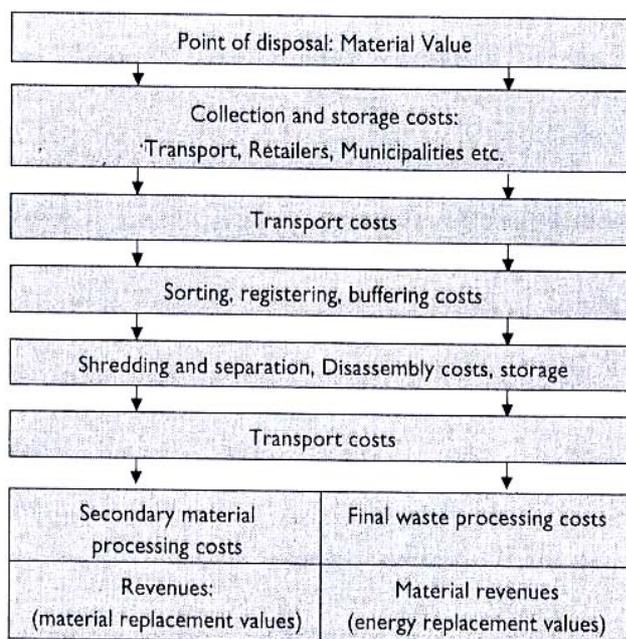


Figure 4 The economic bandwidth

Suite à l'évaluation des impacts économiques, effectuée selon la même logique que l'évaluation des impacts environnementaux ; la notion d'éco efficacité sera présentée à l'aide d'un graphique à 2 dimensions.

Illustration

Pour reprendre l'exemple de la chaîne hi fi, les coûts retenus sont les suivants :

End-of-life stage	Integral costs	Costs	Revenues
Transport and collection	€ 0,48	€ 0,48	€ 0,00
Shredding and separation	€ 0,55	€ 0,55	€ 0,00
Sorting and handling	€ 0,27	€ 0,27	€ 0,00
Incineration, energy rec.	€ 0,07	€ 0,07	€ 0,00
Copper smelter	-€ 0,08	€ 0,38	-€ 0,46
Aluminium smelter	€ 0,00	€ 0,05	-€ 0,05
Ferro smelter	-€ 0,05	€ 0,04	-€ 0,09
Total	€ 1,24	€ 1,84	-€ 0,60

Figure 5 Integral costs per stakeholder/end of life stage

Des expressions mathématiques, calquées sur celles de l'évaluation des impacts environnementaux, permettent l'évaluation économique des filières de fin de vie.

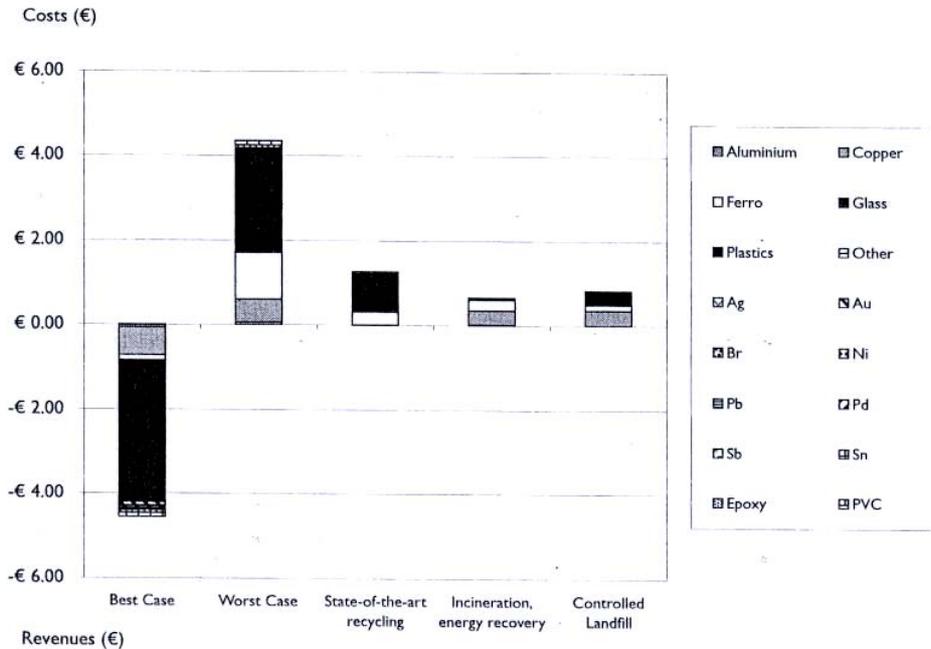


Figure 6 Cost per scenarios

Suite à l'étude séparée des impacts environnementaux et économiques ; l'évaluation de l'éco efficacité peut être réalisée. Les résultats sont identifiés à l'aide d'un graphique en 2 dimensions.

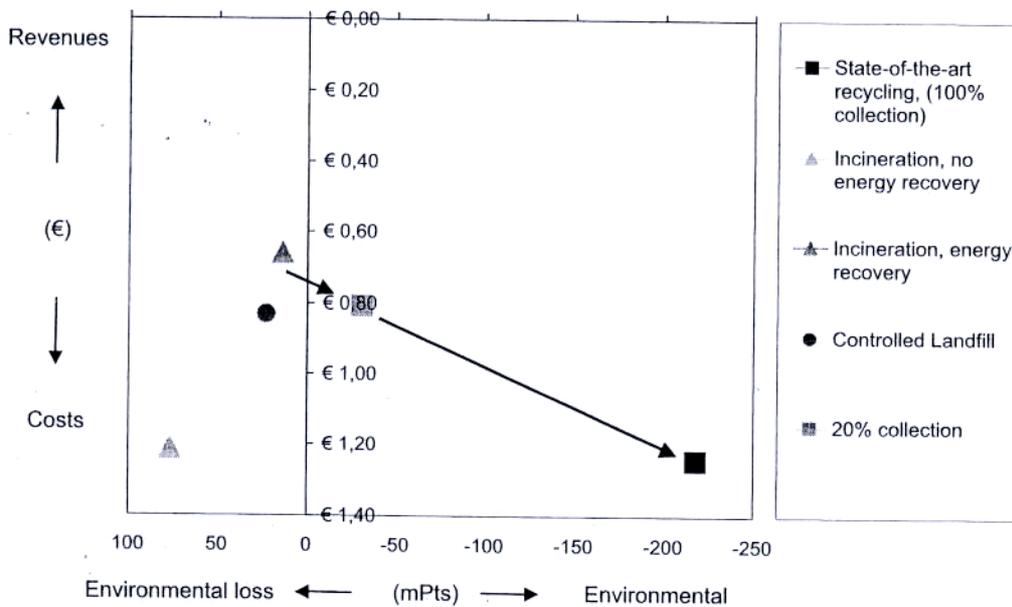


Figure 7 Eco efficiency of all relevant end of life options

II.3 Les améliorations de conception des produits électriques et électroniques

Methodologie

L'évaluation du critère environnemental permet d'identifier quelle est la marge possible d'amélioration en comparant l'impact environnemental actuel à l'impact minimum.

Afin de faciliter la valorisation des produits en fin de vie et déterminer les points d'amélioration pouvant être apportés ; les conseils suivants sont explicités :

Nr.	Design Rule
1	Decrease disassembly times
2	If use of compatible materials is impossible, make easy to disassemble modules which each consist of compatible materials (disassembly steps quickly uneconomical in case of consumer electronics, but sometimes possible)
3	Place modules that need to be disassembled in the outer areas of the product and make them easy to disassemble
4	Replace components by alternatives with higher recycling value or a low amount of penalty elements
5	Select a switching power supply, use power supplies and motors with improved unlocking performance of the copper winding and iron core
6	Do not use metal inserts in large plastic parts
7	Do not attach buttons, windows, doors etc. to the housing or front if they are not made of the same material
8	Concentrate material groups in easily separable or separate assemblies of the product
9	Use the same plastic for housing, front and brackets
10	Do not attach components made of a material mix (e.g. PWB's) to parts made of mono material larger than 50 g.
11	Heavy metal coatings should not be used
12	Improve separation characteristics like magnetism, electric conductivity
13	If you use different plastics for large plastic parts, the difference in specific density should be larger than 0.1 kg/dm ³ , e.g. PP with ABS
14	Use magnetic metal fixtures when parts of different plastics (e.g. housing) are connected
15	If screws are necessary, use bridge screws made out of the same plastic
16	Use form enclosures rather than screws
17	Avoid connections between heavy metals and steel or plastic

Figure 8 Most relevant design rules and guidelines

Illustration

L'évaluation du critère environnemental permet d'identifier la marge de progrès qu'il est possible à réaliser.

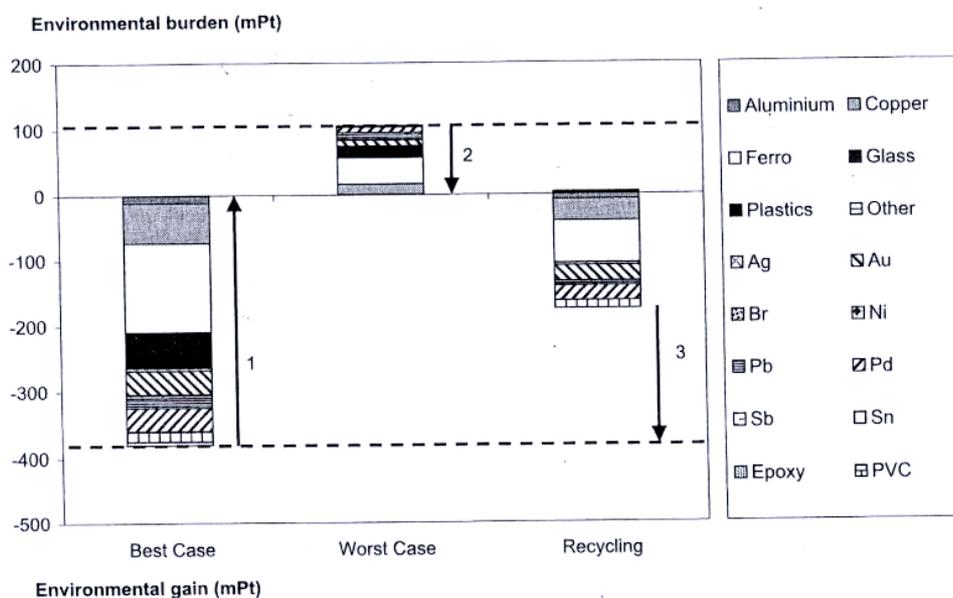


Figure 9 Desired redesign directions

Ensuite l'évaluation des impacts environnementaux de chaque composant est effectuée :

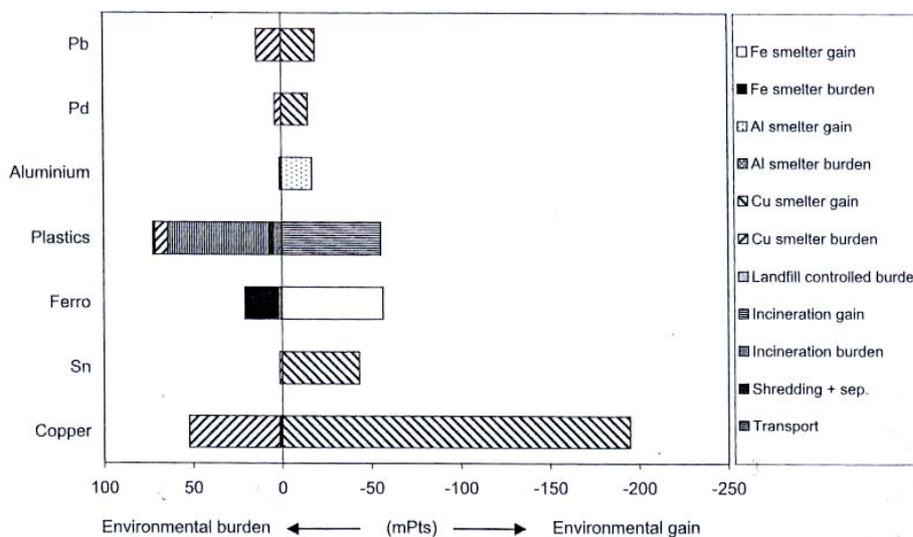


Figure 10 Role of end of life processes for the Soundmachine

Cette évaluation va permettre de définir les options et les priorités à mettre en place dans la conception future des produits électriques et électroniques.

Pour reprendre l'exemple de la chaîne hi fi ; le taux de recyclage des déchets plastiques n'est pas élevé du fait de la grande présence d'impuretés (métal, mélange de polymères, enduit, colle...)

Cette analyse permet de tirer des conclusions et des propositions, relatives à la conception du produit, suivantes :

- Utilisation de plastiques appartenant aux mêmes familles de polymères
- Utilisation de vis en plastiques à la place de vis en métal
- Remplacer les hauts parleurs métalliques par d'autres en plastique
- ...

II.4 La prise en compte de la législation

La législation et la réglementation ont été utilisées afin de poser les bases de l'étude, c'est-à-dire :

- La définition des termes utilisés (valorisation, recyclage)
- Les taux et les objectifs de valorisation fixés
- Les taux de substances dangereuses et toxiques
- ...

Ces informations réglementaires couplées aux données environnementales et économiques vont pouvoir orienter les efforts à fournir dans la conception des produits en vue du traitement et de la valorisation du DEEE en fin de vie.

II.5 Les avantages de la méthode

La méthode n'est pas soumise aux préférences personnelles pour l'évaluation et la pondération des critères ; ce qui en fait une méthode générale et identique pour tous.

L'autre particularité de la méthode est la prise en compte de l'Eco Efficacité. L'Eco Efficacité intègre à la fois les performances environnementales et économiques, le but est d'améliorer au plus juste ces performances pour atteindre l'Eco Efficacité optimale.

II.6 La méthode Qwerty et l'étude RE.CO.R.D

La méthode Qwerty est un bon outil d'évaluation, très complet et très précis mais devenant fort compliqué à utiliser lorsque les données concernant le produit étudié ne sont que partiellement connues.

Elle constitue donc un bon outil de réflexion, un point de départ pour l'élaboration de la méthodologie sur les déchets plastiques qui devra être **abordable** et **évolutive** au fil du temps selon les changements de réglementation et l'apparition de nouveaux procédés de valorisation.

Annexe 2 : Les comptes rendus des rencontres avec les experts

COMPTE RENDU DE RENCONTRE du 9 juin 2005

Objet : Rencontre avec les experts

Suite à l'envoi préalable d'une note de présentation de l'étude, il a été présenté dans un premier temps, l'association RE.CO.R.D et l'avancement de l'étude ; en particulier le choix de 3 familles de polymères plastiques et le recensement des différentes filières de valorisation matière/énergie.

La note de présentation contient aussi une liste de critères et de sous critères retenus pour l'étude ainsi qu'une approche de l'outil méthodologique déclinée en plusieurs étapes. Cette partie est l'objet principal de la rencontre.

Le rôle de l'expert est abordé dans un deuxième temps ; ainsi leurs connaissances, compétences et retours d'expérience visent à définir et mettre en place l'outil d'aide à la décision.

1. Présentation de l'expert contacté

Nom : Madame GOBBEY

Entreprise : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME)

Adresse : 2, square La Fayette BP 90 406 49004 ANGERS cedex 01

Fonction : Direction Déchets et Sols
Département Gestion Optimisée des Déchets

Domaine de compétences : Méthodologie multicritères

E-mail : anne.gobbey@ademe.fr

Téléphone : 02 41 20 41 20 / 02 41 20 41 76

Fax : 02 41 20 42 00

Origine du contact : RE.CO.R.D

2. La vision du sujet par l'expert et ses propositions

2.1 Introduction

L'approche méthodologique pourrait se présenter sous la forme d'un guide méthodologique.

En introduction, l'étude pourrait reprendre la réglementation en vigueur relative aux installations de valorisation (autorisation d'exploiter notamment). Lors de l'évaluation des différentes filières, la conformité des installations serait prépondérante. Un autre point important à souligner est la pérennité de l'installation, il faut s'assurer que l'installation sera toujours présente à moyen et long terme.

2.2 La démarche et les critères

- L'approche méthodologique pourrait débuter par l'élaboration de la fiche d'identité du déchet qui reprendrait ses caractéristiques (quantité, qualité). Cette fiche, type cahier des charges, pourrait être transmise aux exploitants des différentes filières de valorisation afin d'évaluer la compatibilité de leur filière avec le déchet proposé. Il faudrait donc déterminer les attentes des exploitants en terme de renseignements pour orienter au mieux les détenteurs de déchets dans l'élaboration du cahier des charges.
- Dans un second temps, le détenteur de déchets pourrait effectuer une analyse de ses coûts actuels. Ce bilan pourrait reprendre les coûts de stockage, de manutention, de transport, de traitements.... Cette analyse pourrait se faire à l'aide d'une grille d'évaluation.
- En ce qui concerne le critère économique, les coûts de traitement (et de prétraitement) pourraient être décomposés : lavage, tri, broyage, logistique...
- Pour le critère environnemental, une décomposition des impacts locaux et globaux pourrait être effectuée.
- Pour les critères technique et environnemental, il serait judicieux de contacter d'une part les exploitants pour déterminer quelles sont les données relatives à leurs installations de traitement qui sont consultables et renseignables par des tierces personnes. D'autre part, il faudrait contacter les détenteurs afin déterminer quelles sont les données qu'ils peuvent détenir sur leur flux de déchets.

Remarque : ceci ne veut pas dire qu'il faut se contenter de ce qui est déjà disponible et diffusable, car en adoptant un tel principe on risque peut-être de restreindre la méthode à un questionnaire trop partiel. Cela permettrait en revanche d'avoir une indication quant aux éventuelles difficultés à récupérer telle ou telle donnée.

- Au sein de ce guide, il serait intéressant d'indiquer quelles sont les valeurs qui seront soumises à des variations dans le temps.

COMPTE RENDU DE RENCONTRE du 9 juin 2005

- Mme Gobbey a indiqué qu'il serait judicieux de discuter du mode de pondération et de hiérarchisation des sous critères avec les différents experts et tuteurs ; à savoir si l'on pondère les familles de critères, les sous critères ou bien les deux et indiquer le rôle que pourraient jouer les utilisateurs au sein de cette hiérarchisation.

Le renseignement des différents critères devrait se faire le plus possible par le biais de valeurs quantitatives, afin d'en faciliter l'exploitation ultérieure

- Pour définir ensuite la filière de valorisation la plus adéquate au déchet que détient l'utilisateur, une comparaison des résultats de chaque filière pourrait être entreprise afin de déterminer la filière la « meilleure » aux yeux de l'utilisateur. On compare les filières entre elles afin de déterminer « la meilleure ».
- L'évaluation du critère économique sera très importante pour l'utilisateur mais la méthodologie devrait faire le lien entre les coûts de la valorisation et les performances techniques, environnementales et sociétales de l'installation.
- Un glossaire pourrait reprendre et expliquer les terminologies employées pour définir les sous critères afin que l'utilisateur puisse considérer et pondérer de manière raisonnée les sous critères identifiés.
- L'étude 03-1011/2A de RE.CO.R.D sur la typologie des enjeux environnementaux est conseillée pour définir ces terminologies.

3. Déroulement de l'étude suite à la rencontre

Il a été convenu avec l'expert une validation préalable de ce compte rendu avant la diffusion à l'association RE.CO.R.D. Cette validation permettra d'obtenir l'accord de diffuser les informations recensées.

Lors de l'avancement de l'étude, les experts seront tenu au courant des autres avis d'experts et seront sollicités, selon leurs disponibilités, à chaque étape par le biais de documents transmis par courriel, d'entretiens téléphoniques ou encore de nouvelles rencontres si cela s'avérait nécessaire.

4. Points clés abordés lors de la rencontre

- Elaboration d'un cahier des charges du déchet
- Mise en place d'échanges entre le détenteur de déchets et l'exploitant de la filière de valorisation (approche « terrain »).
- Détermination d'un diagnostic économique de la filière actuelle de gestion des déchets par le détenteur.
- Hiérarchisation et pondération des sous critères à l'initiative de l'utilisateur.

COMPTE RENDU DE RENCONTRE du 9 juin 2005

5. Coordonnées

Alexandre MALTOT
amaltot@cadet.setec.fr
06 70 12 58 85

CADET International
Agence de Vitrolles
7, chemin des Gorges de Cabriès
13 127 VITROLLES

Tel : 04 42 79 44 95
Fax : 04 42 79 46 10

Stéphane BICOCCHI
cadet.sb@nordnet.fr
06 85 56 27 32

CADET International
Agence de Lille
88, rue Nationale
59 000 LILLE

Tel : 03 28 38 17 87
Fax : 03 20 54 55 72

<i>Avis d'experts sur la mise en place d'une approche multicritère pour le choix d'une filière de valorisation matière/énergie des déchets plastiques</i>	PAGE 1 / 4
COMPTE RENDU DE RENCONTRE du 10 juin 2005	

Objet : Rencontre avec les experts

Suite à l'envoi préalable d'une note de présentation de l'étude, il a été présenté dans un premier temps, l'association RE.CO.R.D et l'avancement de l'étude ; en particulier le choix de 3 familles de polymères plastiques et le recensement des différentes filières de valorisation matière/énergie.

La note de présentation contient aussi une liste de critères et de sous critères retenus pour l'étude ainsi qu'une approche de l'outil méthodologique déclinée en plusieurs étapes. Cette partie est l'objet principal de la rencontre.

Le rôle de l'expert est abordé dans un deuxième temps ; ainsi leurs connaissances, compétences et retours d'expérience visent à définir et mettre en place l'outil d'aide à la décision.

1. Présentation de l'expert contacté

Nom : Madame MARIOGE

Entreprise : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME)

Adresse : 2, square La Fayette 49004 ANGERS

Fonction : Ingénieur procédés de recyclage
Département Prévention, Recyclage & Organisation des Filières

Domaine de compétences : Valorisation matière

E-mail : catherine.marioge@ademe.fr

Téléphone : 02 41 20 41 20 / 02 41 91 40 45

Fax : 02 41 91 40 03

Origine du contact : RE.CO.R.D

<i>Avis d'experts sur la mise en place d'une approche multicritère pour le choix d'une filière de valorisation matière/énergie des déchets plastiques</i>	PAGE 2 / 4
COMPTE RENDU DE RENCONTRE du 10 juin 2005	

2. La vision du sujet par l'expert et ses propositions

2.1 Introduction

L'approche méthodologique pourrait se constituer comme un support permettant à l'utilisateur de se poser les bonnes questions quant à la valorisation de son déchet plastique. Le détenteur du déchet devrait s'assurer des garanties du prestataire qui prendra en charge son déchet, et ce, en terme de conformité réglementaire et en termes de viabilité et de pérennité de l'installation. Il pourra ensuite analyser plus précisément si des efforts, environnementaux par exemple, sont réalisés.

2.2 La démarche et les critères

- En terme de valorisation matière, le seul domaine opérationnel à l'heure actuel est le recyclage physique.
- La première étape pourrait être la constitution d'un cahier des charges du déchet plastique en collaboration avec des recycleurs. Ce dernier serait ensuite confronté aux exigences des recycleurs afin d'identifier la compatibilité du déchet plastique avec la filière en question. Ce cahier des charges pourrait reprendre les notions suivantes : quantité, composition (additifs, charges), conditions d'usage, vieillissement...
- Dans une seconde étape, le détenteur devrait réaliser un bilan de la gestion actuelle de sa filière déchet. Il faudrait ainsi questionner le détenteur de déchets pour déterminer ce qu'il met en œuvre afin d'assurer au mieux la valorisation de ses déchets plastiques ; y a-t-il un effort spécifique réalisé afin d'obtenir un déchet de meilleure qualité ? et dans le cas contraire quelles sont les actions à réaliser afin d'optimiser cette qualité ?

Ainsi la mise en œuvre d'un document type sur le diagnostic de la gestion des déchets plastiques de l'entreprise pourrait être réalisée dans le cadre de l'étude. Mr Darlot de l'ADEME mène actuellement une étude sur la gestion des déchets des entreprises, il serait donc intéressant de le contacter.

- Une rencontre avec des recycleurs pourrait être intéressante ; une liste reprenant les différents acteurs de la filière (récupérateurs, recycleurs, rénovateurs) sur le territoire français selon le type de plastique qu'ils valorisent sera transmise par l'expert. Malgré tout, l'expert émet l'hypothèse que peu d'exploitants seront prêt à donner les valeurs caractérisant leur installation. Une rencontre est tout de même envisagée avec les organismes tels : la Fédération de la Plasturgie, l'APME, FEDEREC ou VALORPLAST.
- Les critères prépondérants seraient les critères économique et technique. Ces deux critères devront prendre en compte les étapes de collecte et de préparation du déchet.

<p><i>Avis d'experts sur la mise en place d'une approche multicritère pour le choix d'une filière de valorisation matière/énergie des déchets plastiques</i></p>	<p>PAGE 3 / 4</p>
<p>COMPTE RENDU DE RENCONTRE du 10 juin 2005</p>	

- L'évaluation des critères environnementaux et techniques pourrait s'inspirer de l'outil SINOE du service des observatoires de l'ADEME, des informations sur les unités de recyclage sont recensés et mises à jour. Une rencontre avec les « créateurs » de la méthode (Mme Spiesser et Mr Charré) pourrait se révéler intéressante.

Cette évaluation pourrait aussi s'inspirer des écobilans et des analyses de cycle de vie réalisés; le document « Bilan environnemental sur les filières de recyclage : l'état des connaissances ACV » pourrait être consulté.

- Pour le critère sociétal, il serait important d'évaluer les conditions de travail du personnel lors des étapes de tri, de broyage ou encore de transformation pouvant engendrer des nuisances sonores ou olfactives.
- Un critère supplémentaire pourrait être intégré à l'étude : le critère concernant l'analyse des débouchés. En effet les caractéristiques des matières premières secondaires élaborées devront être différentes selon l'application souhaitée.
- La méthode devrait prendre en considération les filières de valorisation se situant à l'étranger et particulièrement en Asie. Il faudrait donc notifier au sein de la méthodologie cette possibilité, qui peut apparaître comme une solution économique avantageuse mais il ne faudra négliger les autres critères (environnemental, sociétal et réglementaire) qui peuvent se révéler, dans ce cas, moins performants.

3. Déroulement de l'étude suite à la rencontre

Il a été convenu avec l'expert une validation préalable de ce compte rendu avant la diffusion à l'association RE.CO.R.D. Cette validation permettant d'obtenir l'accord de diffuser les informations recensées.

Lors de l'avancement de l'étude, les experts seront tenu au courant des autres avis d'experts et seront sollicités, selon leurs disponibilités, à chaque étape par le biais de documents transmis par courriel, d'entretiens téléphoniques ou encore de nouvelles rencontres si cela s'avérait nécessaire.

4. Points clés abordés lors de la rencontre

- Elaboration d'un cahier des charges du déchet
- Mise en place d'échanges avec les recycleurs
- Analyse complète (économique, technique, environnementale, logistique) de la filière de gestion actuelle des déchets par le détenteur.
- Prise en compte des filières de valorisation à l'échelle européenne et mondiale.

COMPTE RENDU DE RENCONTRE du 10 juin 2005

5. Coordonnées

Alexandre MALTOT
amaltot@cadet.setec.fr
06 70 12 58 85

CADET International
Agence de Vitrolles
7, chemin des Gorges de Cabriès
13 127 VITROLLES

Tel : 04 42 79 44 95
Fax : 04 42 79 46 10

Stéphane BIOCCHI
cadet.sb@nordnet.fr
06 85 56 27 32

CADET International
Agence de Lille
88, rue Nationale
59 000 LILLE

Tel : 03 28 38 17 87
Fax : 03 20 54 55 72

COMPTE RENDU DE RENCONTRE du 9 juin 2005

Objet : Rencontre avec les experts

Suite à l'envoi préalable d'une note de présentation de l'étude, il a été présenté dans un premier temps, l'association RE.CO.R.D et l'avancement de l'étude ; en particulier le choix de 3 familles de polymères plastiques et le recensement des différentes filières de valorisation matière/énergie.

La note de présentation contient aussi une liste de critères et de sous critères retenus pour l'étude ainsi qu'une approche de l'outil méthodologique déclinée en plusieurs étapes. Cette partie est l'objet principal de la rencontre.

Le rôle de l'expert est abordé dans un deuxième temps ; ainsi leurs connaissances, compétences et retours d'expérience visent à définir et mettre en place l'outil d'aide à la décision.

1. Présentation de l'expert contacté

Nom : Madame PONCELET

Entreprise : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME)

Adresse : 2, square La Fayette 49004 ANGERS

Fonction : Chargée de mission international
Direction Déchets et Sols

Domaine de compétences : Valorisation énergétique

E-mail : elisabeth.poncelet@ademe.fr

Téléphone : 02 41 20 41 20 / 02 41 20 42 57

Fax : 02 41 20 42 92

Origine du contact : RE.CO.R.D

<i>Avis d'experts sur la mise en place d'une approche multicritère pour le choix d'une filière de valorisation matière/énergie des déchets plastiques</i>	PAGE 2 / 4
COMPTE RENDU DE RENCONTRE du 9 juin 2005	

2. La vision du sujet par l'expert et ses propositions

2.1 Introduction

L'approche méthodologique pourrait se constituer comme un support permettant à l'utilisateur de se poser les bonnes questions quant à la valorisation de son déchet. Cette étape débiterait tout d'abord, à poser les bonnes questions à l'exploitant qui sera en mesure de valoriser le déchet. Le but premier de l'utilisateur est de valoriser ou d'éliminer son déchet au moindre coût mais d'autres critères pourraient intervenir et devraient l'aider à faire son choix.

Par ailleurs, le détenteur devrait s'assurer que l'installation qui gèrera son déchet est bien aux normes (autorisation d'exploiter).

2.2 La démarche et les critères

- L'approche méthodologique pourrait débiter par l'élaboration d'un cahier des charges du déchet qui reprendrait ses caractéristiques (quantité, qualité, composition, granulométrie, conditionnement,...). Le guide méthodologique pourrait aider le détenteur de déchets plastiques à aborder les points clés qui conditionneraient la compatibilité de son déchet avec une filière de valorisation donnée. Ces points (critères limitants ou éliminatoires) seraient à identifier préalablement avec les exploitants des filières de valorisation.

Il faudrait par exemple, identifier précisément les types d'additifs ou d'adjuvants (colorants et durcisseurs) que l'on peut retrouver dans les grandes familles de plastiques

- Dans un second temps, le détenteur de déchets pourrait effectuer une analyse et un diagnostic technique, logistique et économique de sa filière actuelle de traitement des déchets plastiques. Ce diagnostic pourrait l'aider à optimiser la qualité de son flux de déchets (éviter les mélanges par exemple) afin que le détenteur ait un choix de filières de valorisation le plus diversifié possible.
- En ce qui concerne le critère technique, il faudra prendre en compte les étapes de préparation du déchet avant de l'envoyer dans une filière de valorisation donnée. De manière plus précise, il faudra analyser les procédés de transfert de masse afin de s'assurer que l'introduction d'un type de déchet dans une filière de valorisation n'est pas problématique.
- Pour les critères technique et environnemental, il serait judicieux de contacter d'une part les exploitants et les professionnelles du domaine du plastique pour déterminer quelles sont les données qui sont consultables et renseignables pour un détenteur de déchet. D'autre part, il faudrait contacter les détenteurs afin de déterminer quelles sont les données qu'ils détiennent ou peuvent obtenir sur leur flux de déchets.

<i>Avis d'experts sur la mise en place d'une approche multicritère pour le choix d'une filière de valorisation matière/énergie des déchets plastiques</i>	PAGE 3 / 4
COMPTE RENDU DE RENCONTRE du 9 juin 2005	

Il faudrait cibler avec les plasticiens les composés que l'on peut retrouver communément dans les plastiques (selon les utilisations et selon les types de plastiques)

- En ce qui concerne le critère environnemental, il serait intéressant de connaître la motivation du personnel en terme de protection de l'environnement.
- Le critère technique devrait être analysé de façon détaillée selon le type de procédé et selon sa performance car les coûts seront proportionnels à ces deux aspects.
- Les rejets de l'installation pourraient se décomposer en 2 parties : ceux liés au procédé de valorisation proprement dit et ceux liés aux déchets plastiques.
- Afin d'évaluer au mieux les filières de valorisation, il faudrait considérer le développement des filières de valorisation des déchets plastiques à l'étranger et notamment en Chine. L'exportation des déchets à l'étranger apparaît comme une solution économiquement attractive mais il ne faudrait surtout pas négliger l'analyse des critères sociétaux (condition de travail et sécurité en particulier), environnemental et réglementaire.
- La comparaison des différentes filières de valorisation retenues pourrait se faire par rapport à un référent (les CET par exemple).

3. Déroutement de l'étude suite à la rencontre

Il a été convenu avec l'expert une validation préalable de ce compte rendu avant la diffusion à l'association RE.CO.R.D. Cette validation permettant d'obtenir l'accord de diffuser les informations recensées.

Lors de l'avancement de l'étude, les experts seront tenu au courant des autres avis d'experts et seront sollicités, selon leurs disponibilités, à chaque étape par le biais de documents transmis par courriel, d'entretiens téléphoniques ou encore de nouvelles rencontres si cela s'avérait nécessaire.

4. Points clés abordés lors de la rencontre

- Elaboration par le détenteur d'un cahier des charges du déchet et d'un diagnostic de la filière actuelle de traitement et de valorisation des déchets.
- Comparaison des différentes filières de valorisation par rapport à un référent (les CET par exemple)
- Approche terrain prépondérante en soutien d'une l'approche théorique.

COMPTE RENDU DE RENCONTRE du 9 juin 2005

5. Coordonnées

Alexandre MALTOT
amaltot@cadet.setec.fr
06 70 12 58 85

CADET International
Agence de Vitrolles
7, chemin des Gorges de Cabriès
13 127 VITROLLES

Tel : 04 42 79 44 95
Fax : 04 42 79 46 10

Stéphane BICOCCHI
cadet.sb@nordnet.fr
06 85 56 27 32

CADET International
Agence de Lille
88, rue Nationale
59 000 LILLE

Tel : 03 28 38 17 87
Fax : 03 20 54 55 72

COMPTE RENDU DE RENCONTRE du 18 juillet 2005

Objet : Rencontre avec les experts

Suite à l'envoi préalable d'une note de présentation de l'étude, il a été présenté dans un premier temps, l'association RE.CO.R.D et l'avancement de l'étude ; en particulier le choix de 3 familles de polymères plastiques et le recensement des différentes filières de valorisation matière/énergie.

La note de présentation contient aussi une liste de critères et de sous critères retenus pour l'étude ainsi qu'une approche de l'outil méthodologique déclinée en plusieurs étapes. Cette partie est l'objet principal de la rencontre.

Le rôle de l'expert est abordé dans un deuxième temps ; ainsi ses connaissances, compétences et retours d'expérience visent à définir et mettre en place l'outil d'aide à la décision.

1. Présentation de l'expert contacté

Nom : Monsieur BOURELY

Entreprise : PELLENC ST

Adresse : 125 rue François Gernelle 84 124 PERTUIS

Fonction : Directeur général

Domaine de compétences : Valorisation matière

E-mail : a.bourelly@pellencst.com

Téléphone : 04 90 09 47 90

Fax : 04 90 79 38 19

Origine du contact : RE.CO.R.D

<i>Avis d'experts sur la mise en place d'une approche multicritère pour le choix d'une filière de valorisation matière/énergie des déchets plastiques</i>	PAGE 2 / 5
COMPTE RENDU DE RENCONTRE du 18 juillet 2005	

2. La vision du sujet par l'expert et ses propositions

2.1 Introduction

En introduction, une présentation de l'étude et de son avancement fut établie. M. BOURELY a ensuite présenté succinctement le domaine de compétence de la société PELLENC ST qui se concentre au niveau de l'étape de tri de la valorisation.

Il fut tout d'abord question des PTM, l'origine de ces PTM qui découlent des contraintes du tri manuel n'est pas totalement fonction des machines de tri.

M. BOURELY a expliqué qu'en matière de tri, les industriels raisonnent en pureté matière ; c'est-à-dire en fonction de la matière majoritaire de l'objet. Des systèmes de séparation interviennent ensuite afin d'écarter les produits indésirables (étiquettes des bouteilles plastiques par exemple). Puis la séparation des différents polymères présents au sein d'un mélange est effectuée en fonction des besoins des recycleurs. Dans le cas d'applications très strictes comme celui des iso fonctions, des étages de tri supplémentaires sont nécessaires.

PELLENC ST intervient à plusieurs niveaux dans les étapes de tri, le schéma simplifié est le suivant :

- La première étape s'effectue en centre de tri, elle correspond à un schéma d'aiguillage général des déchets composant le flux entrant, ce qui permet d'obtenir des balles d'une pureté de 98 à 99% pour un polymère donné. Les puretés obtenues répondent aux critères exigés par les recycleurs ; ces spécifications sont différentes d'un pays à l'autre.
- La seconde étape a lieu en centre de recyclage ; elle correspond à un travail par tri négatif (on souffle les produits contaminants) afin d'obtenir des taux d'impureté très faibles (quelques ppm). Les produits sortants de ces centres se présentent sous forme de paillettes.

Vis-à-vis de leurs clients, les entreprises telle PELLENC ST s'engagent quant aux performances de leur équipements ; cela se traduit en 3 critères majeurs : la pureté des balles obtenues, l'efficacité et la performance des équipements et enfin le débit de ces derniers. Pour garantir ces engagements, plusieurs étages de tri successifs peuvent être mis en place.

M. BOURELY précise que les étapes de lavage et de prélavage ne sont pas pratiquées en centre de tri, mais en centre de recyclage ; le lavage alourdit le traitement tant d'un point de vue réglementaire (ICPE) qu'économique (investissements) et environnemental (traitement des résidus aqueux).

Afin d'appréhender au mieux la filière recyclage matière, M. BOURELY a exposé les limites actuelles à la réalisation du tri infrarouge. La présence massive d'eau et de souillures alimentaires peut venir déranger la reconnaissance des matériaux ; la présence de peinture sur les objets peut perturber fortement l'identification. Un autre problème au recyclage matière sont les polymères en mélange, une des solutions pour la séparation est le broyage mais le broyage ne doit être trop fin afin de garantir la reconnaissance.

<i>Avis d'experts sur la mise en place d'une approche multicritère pour le choix d'une filière de valorisation matière/énergie des déchets plastiques</i>	PAGE 3 / 5
COMPTE RENDU DE RENCONTRE du 18 juillet 2005	

2.2 La démarche méthodologique et les critères

- Une définition importante à déterminer au début de l'étude est la distinction du type de la source de déchet ; à savoir si l'on étudie un produit durable (cafetière par exemple) ou un produit non durable (bouteille plastique par exemple). En terme de tri des matériaux il fut évoqué qu'il était très rare que les différents flux durables et non durables se trouvent mélangés.
- En ce qui concerne la finalité du tri, le point essentiel à respecter est le taux d'impuretés acceptable ; ce taux d'impuretés (exprimé en ppm) sera plus ou moins strict selon les applications souhaitées. Plus les applications seront strictes, plus les étapes de tri seront nombreuses. Par ailleurs les recommandations pour les diverses filières de valorisation répondent à des spécifications variées ; par exemple les combustibles de substitution ont un taux de chlore et d'antimoine maximum à ne pas dépasser. Dans le cas des combustibles de substitution, le contrôle du PCI va permettre un équilibrage de la composition du flux entrant.

La liste des critères et sous critères a été analysée par M. BOURELY. L'ensemble des remarques est indiqué ci après :

Critère environnemental

Pour ce qui est de la terminologie, M. BOURELY a notifié qu'il serait plus judicieux d'utiliser le terme matière première secondaire plutôt que déchet dès lors que les déchets intègrent une filière de valorisation.

Au sens de l'éco bilan du procédé, c'est-à-dire l'énergie substituée vis-à-vis de l'énergie consommée lors des étapes de tri, l'aspect transport devrait être pris en considération.

Le sous critère concernant la couche d'ozone, les rejets aqueux et la pollution photochimique ont été évalués comme non significatifs. En ce qui concerne la pollution atmosphérique, la prise en compte de la quantité de dioxines et de furanes est à ajouter. Pour l'évaluation des déchets secondaires formés, un volume significatif pourra être déterminé.

Critère technologique

L'évaluation de la pérennité de la filière à l'aide de la quantité de brevets déposés ne présente pas un indicateur significatif. Par ailleurs en terme de pérennité, l'évaluation du potentiel de la filière pourrait être intégrée. En effet, M. BOURELY notifie que la filière recyclage possède un potentiel de progression très important, notamment vis-à-vis de la filière DEEE (évolution des outils de tri vis-à-vis de cette filière embryonnaire). La filière DEEE pose à l'heure actuelle de sérieux problèmes, notamment avec la présence de retardateurs de flamme, et les produits noirs (absorption des IR).

Critère sociétal et sanitaire

COMPTE RENDU DE RENCONTRE du 18 juillet 2005

- L'évaluation de l'impact en terme d'emplois pourrait être abordé différemment de ce qui a été exposé lors de la rencontre (document détaillant les critères et les sous critères). M. BOURELY souligne que la pérennité d'un emploi de tri est directement liée à sa productivité, que l'on peut exprimer en kg/h/trieur. Cette productivité dépend elle-même du taux d'intensité capitalistique d'une industrie ; on peut identifier la part qui revient à chaque machine par rapport à celle qui revient à la main d'œuvre à partir de la valeur ajoutée finale. Cette notion s'établit selon le bilan comptable, le budget équipement, le budget de l'installation et l'effectif qui y travaille.
- Les impacts relatifs à l'image locale (actions de communication et de concertations des entreprises vis-à-vis de la population) et aux particularités locales (présence d'un site remarquable, AOC, réserve naturelle à proximité) ont été évalués comme non significatifs par l'expert.

Critère économique

- Le sous critère caractérisant les recettes provenant de subventions parait dangereux. Cette notion apparaît néanmoins incontournable pour les phases de mise en place de la filière ; et ces phases seulement.

Critère réglementaire

La réglementation est certes incontournable lors de l'évaluation d'une filière mais il est important d'évaluer son poids et son rôle dans l'évolution des filières existantes ou émergentes. Les objectifs et normes découlant de l'application de la législation sont de véritables acteurs inhibiteurs ou stimulants dans la pérennité d'une voie de valorisation.

3. Déroulement de l'étude suite à la rencontre

Il a été convenu avec l'expert une validation préalable de ce compte rendu avant la diffusion à l'association RE.CO.R.D. Cette validation permettra d'obtenir l'accord de diffuser les informations recensées.

Lors de l'avancement de l'étude, les experts seront tenus au courant des autres avis d'experts et seront sollicités, selon leurs disponibilités, à chaque étape par le biais de documents transmis par courriel, d'entretiens téléphoniques ou encore de nouvelles rencontres si cela s'avérait nécessaire.

4. Points clés abordés lors de la rencontre

- La notion de pureté matière et les applications souhaitées régissant les étapes du recyclage matière
- Le fort potentiel d'évolution de la filière recyclage matière
- L'utilisation des éco bilans pour l'évaluation des impacts environnementaux
- Le rôle prépondérant de la réglementation vis-à-vis de la pérennité de la filière

COMPTE RENDU DE RENCONTRE du 18 juillet 2005

5. Coordonnées

Alexandre MALTOT
amaltot@cadet.setec.fr
06 70 12 58 85

CADET International
Agence de Vitrolles
7, chemin des Gorges de Cabriès
13 127 VITROLLES

Tel : 04 42 79 44 95
Fax : 04 42 79 46 10

Stéphane BIOCCHI
cadet.sb@nordnet.fr
06 85 56 27 32

CADET International
Agence de Lille
88, rue Nationale
59 000 LILLE

Tel : 03 28 38 17 87
Fax : 03 20 54 55 72

COMPTE RENDU DE RENCONTRE du 15 juin 2005

Objet : Rencontre avec les experts

Suite à l'envoi préalable d'une note de présentation de l'étude, il a été présenté dans un premier temps, l'association RE.CO.R.D et l'avancement de l'étude ; en particulier le choix de 3 familles de polymères plastiques et le recensement des différentes filières de valorisation matière/énergie.

La note de présentation contient aussi une liste de critères et de sous critères retenus pour l'étude ainsi qu'une approche de l'outil méthodologique déclinée en plusieurs étapes. Cette partie est l'objet principal de la rencontre.

Le rôle de l'expert est abordé dans un deuxième temps ; ainsi ses connaissances, compétences et retours d'expérience visent à définir et mettre en place l'outil d'aide à la décision.

1. Présentation de l'expert contacté

Nom : Monsieur CAUDRON

Entreprise : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME)

Adresse : 2, square La Fayette 49004 ANGERS

Fonction : Direction Clients
Département Activités Economiques

Domaine de compétences : Valorisation énergétique ; valorisation matière

E-mail : jean-charles.caudron@ademe.fr

Téléphone : 02 41 91 40 32

Fax : 02 41 91 40 03

Origine du contact : CADET International/RE.CO.R.D

<i>Avis d'experts sur la mise en place d'une approche multicritère pour le choix d'une filière de valorisation matière/énergie des déchets plastiques</i>	PAGE 2 / 4
COMPTE RENDU DE RENCONTRE du 15 juin 2005	

2. La vision du sujet par l'expert et ses propositions

2.1 Introduction

En introduction, il fut question de la forme de l'approche méthodologique, à savoir si ce guide serait un logiciel informatique à actualiser régulièrement ou serait sous format papier. Un document informatique pourrait être quelque peu difficile à utiliser du fait d'une volonté d'évolutivité de la méthodologie tant en termes technique, économique que réglementaire. La question des destinataires de ce guide fut abordée, à savoir si ce seront les collectivités, les industriels ou des particuliers qui utiliseront ce guide.

L'approche méthodologique pourrait ainsi rapprocher les détenteurs de déchets et les exploitants des filières de valorisation afin que ce guide soit un outil fiable, réaliste et abordable.

2.2 La démarche et les critères

- En introduction à la démarche, une identification de plusieurs aspects serait à déterminer :
 - Caractérisation du flux de déchets du détenteur selon un cahier des charges précis
 - Caractérisation de la filière actuelle de gestion des déchets
 - Détermination des grandes caractéristiques des filières de valorisation et de leurs débouchés (caractéristiques et nature des résines recyclées par exemple)

Au regard des caractéristiques des filières de valorisation, on pourrait ainsi déterminer quelles préparations préalables seraient nécessaires à l'accession à une filière. Suite à ce diagnostic on pourrait évaluer les modalités de préparation éventuelles que le déchets pourrait subir afin qu'il puisse intégrer un éventail plus large de filière de valorisation.

Si le gisement est en quantité importante et possède des caractéristiques spécifiques intéressantes mais qu'aucune filière ne semble adaptée à recevoir un tel déchet ; un programme de recherche et de développement pourrait être alors entrepris par l'ensemble des producteurs détenant ce type de déchets. Une ouverture de l'approche pourrait être ainsi une réflexion sur la mise en place de nouvelles filières de valorisation dédiés à un déchet particulier.

- Ensuite la notion de pérennité de la filière fut abordée. Cette dernière reposerait sur la maîtrise de 3 facteurs :
 - L'aspect technique du procédé de valorisation, la compatibilité du procédé selon le type de déchet
 - L'existence de filière de récupération du produit à valoriser
 - La garantie des approvisionnements

<i>Avis d'experts sur la mise en place d'une approche multicritère pour le choix d'une filière de valorisation matière/énergie des déchets plastiques</i>	PAGE 3 / 4
COMPTE RENDU DE RENCONTRE du 15 juin 2005	

Ainsi un critère concernant les débouchés pourrait être élaboré.

Cette notion de débouchés pourrait intégrer la pérennité et la viabilité de la filière selon son niveau de développement et selon la complexité du déchet à valoriser.

Un lien entre les critères économique et débouché pourrait être mis en avant. Le fait de prendre en considération principalement le critère économique pourrait engendrer une forte disparité au sein des filières de valorisation. La pérennité de la filière et des installations de cette filière pourrait être ainsi mise en péril. Ainsi un engagement entre le producteur de déchets qui garanti une quantité et une qualité de son déchet et l'exploitant qui s'engage à valoriser ce déchet pourrait intervenir et ainsi ne pas mettre en péril les filières en place.

L'étude s'intitulant « Le recyclage des plastiques ; comment concevoir un projet viable ? » pourra être consultée afin d'identifier les points prépondérants de l'évaluation de la viabilité et de la pérennité d'une filière.

La notion de débouché pourrait aussi prendre en considération les caractéristiques des matières premières secondaires selon l'application souhaitée.

- Pour le critère technique, une évaluation de la préparation du déchet serait à effectuer. Les diverses filières de valorisation devraient être comparées selon les mêmes degrés de préparation des déchets et suite aux actions prévues par les obligations réglementaires de dépollution afin de ne pas tronquer l'analyse et la comparaison.
- Le critère économique pourrait prendre en compte le coût de l'impact environnemental et la fluctuation du prix des matières premières.
- L'évaluation du critère environnemental pourra se baser sur des éco bilans et des ACV et s'appuyer sur un document que l'ADEME a élaboré sur l'analyse du cycle de vie des films agricoles usagés selon les différentes filières de valorisation.

3. Déroulement de l'étude suite à la rencontre

Il a été convenu avec l'expert une validation préalable de ce compte rendu avant la diffusion à l'association RE.CO.R.D. Cette validation permettra d'obtenir l'accord de diffuser les informations recensées.

Lors de l'avancement de l'étude, les experts seront tenu au courant des autres avis d'experts et seront sollicités, selon leurs disponibilités, à chaque étape par le biais de documents transmis par courriel, d'entretiens téléphoniques ou encore de nouvelles rencontres si cela s'avérait nécessaire.

4. Points clés abordés lors de la rencontre

- L'élaboration d'un diagnostic de la filière actuelle de traitement des déchets et les évolutions possibles
- La viabilité, le potentiel et la pérennité de la filière de valorisation
- L'ouverture de l'étude vers la recherche et le développement de filières spécifiques

5. Coordonnées

Alexandre MALTOT
amaltot@cadet.setec.fr
06 70 12 58 85

CADET International
Agence de Vitrolles
7, chemin des Gorges de Cabriès
13 127 VITROLLES

Tel : 04 42 79 44 95
Fax : 04 42 79 46 10

Stéphane BIOCCHI
cadet.sb@nordnet.fr
06 85 56 27 32

CADET International
Agence de Lille
88, rue Nationale
59 000 LILLE

Tel : 03 28 38 17 87
Fax : 03 20 54 55 72

COMPTE RENDU DE RENCONTRE du 14 juin 2005

Objet : Rencontre avec les experts

Suite à l'envoi préalable d'une note de présentation de l'étude, il a été présenté dans un premier temps, l'association RE.CO.R.D et l'avancement de l'étude ; en particulier le choix de 3 familles de polymères plastiques et le recensement des différentes filières de valorisation matière/énergie.

La note de présentation contient aussi une liste de critères et de sous critères retenus pour l'étude ainsi qu'une approche de l'outil méthodologique déclinée en plusieurs étapes. Cette partie est l'objet principal de la rencontre.

Le rôle de l'expert est abordé dans un deuxième temps ; ainsi ses connaissances, compétences et retours d'expérience visent à définir et mettre en place l'outil d'aide à la décision.

1. Présentation de l'expert contacté

Nom : Monsieur DAVID

Entreprise : Cabinet TERRA

Adresse : 82, Bd de Picpus 75 012 PARIS

Fonction : Chef de projet

Domaine de compétences : Méthodologie multicritères

E-mail : guillaume.david@terra-sa.fr

Téléphone : 01 40 02 98 90

Fax : 01 40 02 98 80

Origine du contact : RE.CO.R.D

<i>Avis d'experts sur la mise en place d'une approche multicritère pour le choix d'une filière de valorisation matière/énergie des déchets plastiques</i>	PAGE 2 / 4
COMPTE RENDU DE RENCONTRE du 14 juin 2005	

2. La vision du sujet par l'expert et ses propositions

2.1 La description de la filière

En introduction, il fut question du flux de déchets plastiques. Une des premières étapes à identifier serait la circulation du flux physique du gisement, et ce de la collecte jusqu'à la phase de valorisation. Chaque filière possède des étages techniques et des modes de régulation qu'il est bon de connaître et de recenser.

La filière doit être évaluée tout en tenant compte, pour chacun des critères, des paramètres temporel et géographique. Lors de cette évaluation, le détenteur de déchet pourra déterminer la pérennité de la filière en estimant les risques qu'il encourt. Il devra alors croiser les critères objectifs, correspondant à la détermination des ses besoins et de ses attentes, à des critères subjectifs représentés par les possibilités et les propositions dont il disposera. La prise en compte de l'offre et de la demande, tant économique qu'environnementale, permettra à l'utilisateur de la méthode de se positionner dans le contexte qui l'entoure.

2.2 L'évaluation des filières de valorisation

Une détermination préalable du déchet est primordiale pour le détenteur ; elle pourra s'effectuer selon des points de référence et de repère généraux tout en se concentrant sur les spécificités du gisement de déchets étudié. Ensuite, une définition des conditions d'acceptation du déchet pour une filière de valorisation donnée devra être effectuée (quantité minimum, mode de conditionnement...).

Une identification et un état des lieux de la filière de gestion actuelle des déchets seraient à effectuer par le détenteur, celle-ci permettrait une optimisation du gisement de déchets. Le détenteur devra ainsi s'assurer que telle ou telle action sur son flux de déchets actuel ne conduira pas à une dévalorisation de ce dernier.

Le recensement des différentes filières de valorisation et la prise de contact avec les exploitants de ces filières seraient l'occasion de déterminer une liste de questions indispensables à se poser lors de l'évaluation d'une filière selon le déchet détenu (questions de cadrage). Il faudra ainsi identifier les éléments de chiffrage généraux indispensables à maîtriser pour progresser dans la réflexion et dans l'évaluation des filières de valorisation.

2.3 La démarche méthodologique et les critères

L'approche méthodologique serait un guide permettant à l'utilisateur de se poser les bonnes questions pour choisir une filière de valorisation adaptée à son déchet. Ce document de travail serait un appui pour l'utilisateur dans ses démarches.

Les données que récoltera le détenteur de déchets auprès des exploitants pourraient être comparés avec celles indiquées au sein des normes. Une indication sur les données principales et caractéristiques d'une filière pourrait être notifiée ; l'utilisateur pourra ainsi orienter ses recherches. Selon les réponses que l'utilisateur possédera ou

<i>Avis d'experts sur la mise en place d'une approche multicritère pour le choix d'une filière de valorisation matière/énergie des déchets plastiques</i>	PAGE 3 / 4
COMPTE RENDU DE RENCONTRE du 14 juin 2005	

obtiendra, les risques, les avantages et inconvénients de chaque filière seront ainsi évalués. Ces références de performances devraient être datées et situées afin d'affiner l'évaluation.

Par ailleurs les conditions d'accès à l'information devraient être évaluées préalablement à la constitution de l'approche afin de guider au mieux les utilisateurs.

En ce qui concerne l'évaluation des critères, un accent fut porté sur le critère sociétal et plus particulièrement sur l'évaluation des conditions de travail. La détermination du contenu en emploi par tonne de déchets traité et la détermination des équipements utilisés dans le process de valorisation devraient refléter les conditions de travail au sein de l'installation. Il fut néanmoins notifié qu'une estimation de la qualité des emplois n'était pas chiffrable.

Par ailleurs, la création d'emploi pourrait être évaluée selon l'indicateur en Contenu Emplois (ICE) qui détermine l'impact de chaque filière sur les emplois.

3. Déroutement de l'étude suite à la rencontre

Il a été convenu avec l'expert une validation préalable de ce compte rendu avant la diffusion à l'association RE.CO.R.D. Cette validation permettra d'obtenir l'accord de diffuser les informations recensées.

Lors de l'avancement de l'étude, les experts seront tenus au courant des autres avis d'experts et seront sollicités, selon leurs disponibilités, à chaque étape par le biais de documents transmis par courriel, d'entretiens téléphoniques ou encore de nouvelles rencontres si cela s'avérait nécessaire.

4. Points clés abordés lors de la rencontre

- Description de la circulation des flux physiques au sein de la filière
- Prise en considération des dimensions temporelles et géographiques en vue de la pérennité de la filière
- Elaboration d'un guide méthodologique orientant l'utilisateur dans ses démarches
- Mode d'évaluation du critère sociétal

5. Coordonnées

Alexandre MALTOT
amaltot@cadet.setec.fr
06 70 12 58 85

CADET International
Agence de Vitrolles

Stéphane BIOCCHI
cadet.sb@nordnet.fr
06 85 56 27 32

CADET International
Agence de Lille

COMPTE RENDU DE RENCONTRE du 14 juin 2005

7, chemin des Gorges de Cabriès
13 127 VITROLLES

Tel : 04 42 79 44 95
Fax : 04 42 79 46 10

88, rue Nationale
59 000 LILLE

Tel : 03 28 38 17 87
Fax : 03 20 54 55 72

COMPTE RENDU DE RENCONTRE du 8 juin 2005

Objet : Rencontre avec les experts

Suite à l'envoi préalable d'une note de présentation de l'étude, il a été présenté dans un premier temps, l'association RE.CO.R.D et l'avancement de l'étude ; en particulier le choix de 3 familles de polymères plastiques et le recensement des différentes filières de valorisation matière/énergie.

La note de présentation contient aussi une liste de critères et de sous critères retenus pour l'étude ainsi qu'une approche de l'outil méthodologique déclinée en plusieurs étapes. Cette partie est l'objet principal de la rencontre.

Le rôle de l'expert est abordé dans un deuxième temps ; ainsi ses connaissances, compétences et retours d'expérience visent à définir et mettre en place l'outil d'aide à la décision.

1. Présentation de l'expert contacté

Nom : Monsieur DE CHEFDEBIEN

Entreprise : Constructions Industrielles de la Méditerranée (CNIM)

Adresse : 35, rue Bassano 75 008 PARIS

Fonction : Directeur des relations institutionnelles

Domaine de compétences : Valorisation énergétique ; Institutions Françaises et Européennes ; Participation à des études d'approche intégrée sur flux de déchets

E-mail : hdechefdebien@cnim.com

Téléphone : 01 44 31 11 00 / 01 44 31 11 49 / 06 20 81 28 56

Fax : 01 53 57 86 87

Origine du contact : CADET International/RE.CO.R.D

COMPTE RENDU DE RENCONTRE du 8 juin 2005

2. La vision du sujet par l'expert et ses propositions

2.1 Introduction

L'introduction pourrait présenter le champ et les limites de l'étude ainsi que le type de déchets plastiques qui seront pris en compte.

Il a été notifié qu'il n'existait pas de définition véritable et commune pour le terme « valorisation », en effet les définitions sont souvent différentes voir même divergentes selon les textes réglementaires et les pays. Cela pose problème lors des transferts de déchets transfrontaliers. Un procédé qualifié d'élimination dans un pays donné peut être considéré comme un procédé de valorisation dans d'autres.

Les questions à se poser en début d'étude seraient : que recherche t-on quand on traite un déchet plastique ? et quels sont les grands principes à avoir à l'esprit pour déterminer ce qui est bon pour l'environnement ?

En introduction à l'étude, il devrait être défini l'accessibilité à la filière : les installations disponibles, leurs capacités ou encore leurs localisations.

2.2 La démarche et les critères

- Les critères retenus à ce stade de l'étude pourraient être confrontés et complétés avec ceux indiqués dans l'annexe de la directive IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control) de 1996, cette directive, entre autres, fait obligation de mettre en œuvre les meilleures techniques disponibles (MTD ou BAT, Best Available Techniques) en vue de prévenir et réduire la pollution pour un certain nombre d'activités industrielles. Les meilleures techniques disponibles sont établies par intégration des différents critères comme un bon compromis entre des indicateurs qui ne vont jamais tous dans le même sens (réduire davantage les émissions d'un polluant entraîne par exemple la consommation de ressources naturelles (fuel) et l'émission de gaz à effet de serre). Des documents de référence ont été élaborés à titre d'information pour les différentes activités visées dont certains modes de traitement des déchets et en particulier l'incinération.
- Les critères à prendre en compte sont environnementaux, économiques, sociaux, ... Les critères environnementaux visent à satisfaire 2 principes fondamentaux : d'abord la réduction des nuisances puis l'économie des ressources. Les différents indicateurs environnementaux peuvent être classés dans l'une ou l'autre de ces deux thématiques. Par exemple, les indicateurs d'émission de substances nocives visent à satisfaire le principe de réduction des nuisances tandis que les combustibles et les réactifs consommés pour réduire les nuisances relèvent de l'économie des ressources. (Et le CO₂ résultant de la combustion se rapporte à la réduction ou plutôt ici l'augmentation des nuisances)
- Les outils développés pour satisfaire les principes fondamentaux ne doivent pas supplanter ceux-ci. Ainsi la prévention de la production de déchets ne doit pas être considérée comme un objectif final en soi. La prévention a pour but la réduction des nuisances et la préservation des ressources. Mais prévenir pour prévenir peut aller à l'encontre de ces principes. Supprimer le film qui protège la viande à l'étalage réduit les déchets produits mais qui a vu les marchés du tiers monde où les mouches viennent pondre dans les morceaux de viande sait que cela ne va pas dans le sens de la réduction des nuisances.
- Il serait certainement instructif de consulter une étude de type ACV faite vers 2000 par ADEME/Eco Emballages sur la comparaison des procédés de traitement des déchets avec différents scénarios de valorisation.
- En ce qui concerne le poids relatif de l'utilisation des ressources naturelles, le BRGM a publié dans le premier n° de sa revue au mois de mars 2005 un diagramme indiquant la valeur de l'ensemble des

COMPTE RENDU DE RENCONTRE du 8 juin 2005

minerais exploités dans le monde. Ce diagramme met en évidence l'importance de l'exploitation du pétrole, du gaz ou encore du charbon, toutes très largement supérieures à toutes les autres, ce qui participe à montrer que les économies d'énergie et de matière sont intimement liées et qu'en terme environnemental aussi il y a équivalence entre économie de matière et d'énergie.

- La liste des indicateurs pris en considération et leur pondération doit être équilibrée pour que chacun d'entre eux ait le poids qui convient au sein de l'étude sans écraser les autres. Faut-il faire un critère distinct pour chaque métal lourd émis, ce qui leur donnera un poids psychologique considérable dans un tableau de comparaison, ou les regrouper tous au sein d'un indicateur unique 'métaux lourds' comme on pourra le faire pour les gaz acides ou les émissions induisant un changement climatique ? Il ne faut pas non plus accorder une importance démesurée à l'un des critères en particulier. Par exemple, la réduction des gaz à effet de serre est une nuisance parmi d'autre, elle ne peut être le seul critère à prendre en compte même si on peut décider de lui attribuer un poids important.
- La pondération et la hiérarchisation des indicateurs doivent être établies en prenant en compte les contraintes et les priorités locales, en plus bien sûr de la réglementation en vigueur et des pratiques établies en général pour l'activité. Le résultat final est donc intimement lié au projet. L'exemple du Plan de Protection Atmosphérique de la Région Ile de France est intéressant à cet égard. Les valeurs limites de rejet de NOx seront différentes selon l'emplacement de l'incinérateur. En effet, les sources majeures de NOx, comme la circulation automobile, sont beaucoup plus intenses près de Paris qu'en périphérie de la Région. Le niveau réglementaire d'émission de NOx pour les incinérateurs est faible. Abaisser davantage les émissions de NOx nécessite dans le cas de l'incinération de réchauffer les fumées, donc un combustible d'appoint, c'est à dire une consommation de ressources naturelles et des émissions de gaz à effet de serre. Il ne faut donc le faire que si c'est véritablement nécessaire. Un document relatif à cet exemple a été transmis par l'expert. Il est à noter que dans les Plans de Protection de l'Atmosphère on ne se préoccupe pas seulement d'une source considérée isolément mais, peut-être pour la première fois à cette échelle, de l'ensemble des sources d'émission sur tout le territoire de la Région. On ne se préoccupe donc pas seulement des flux de substances émis par une installation mais bien du niveau de concentration dans l'air ambiant, qui peut effectivement affecter la santé de la population. L'optimisation du procédé technique est ainsi adaptée aux situations locales.

3. Déroulement de l'étude suite à la rencontre

Il a été convenu avec l'expert une validation préalable de ce compte rendu avant la diffusion à l'association RE.CO.R.D. Cette validation permettra d'obtenir l'accord de diffuser les informations recensées.

Lors de l'avancement de l'étude, les experts seront tenu au courant des autres avis d'experts et seront sollicités, selon leurs disponibilités, à chaque étape par le biais de documents transmis par courriel, d'entretiens téléphoniques ou encore de nouvelles rencontres si cela s'avérait nécessaire.

4. Points clés abordés lors de la rencontre

- Distinction de 2 principes environnementaux fondamentaux : la diminution des nuisances et l'économie des ressources. Les outils mis en œuvre pour les satisfaire ne doivent pas supplanter ces principes.
- Hiérarchisation et pondération des indicateurs des critères à l'initiative de l'utilisateur de la méthode en corrélation avec le contexte local.
- Prise en considération des filières de valorisation à l'échelle européenne et mondiale.

5. Coordonnées

COMPTE RENDU DE RENCONTRE du 8 juin 2005

Alexandre MALTOT
amaltot@cadet.setec.fr
06 70 12 58 85

Stéphane BIOCCHI
cadet.sb@nordnet.fr
06 85 56 27 32

CADET International
Agence de Vitrolles
7, chemin des Gorges de Cabriès
13 127 VITROLLES

Tel : 04 42 79 44 95
Fax : 04 42 79 46 10

CADET International
Agence de Lille
88, rue Nationale
59 000 LILLE

Tel : 03 28 38 17 87
Fax : 03 20 54 55 72

<i>Avis d'experts sur la mise en place d'une approche multicritère pour le choix d'une filière de valorisation matière/énergie des déchets plastiques</i>	PAGE 1 / 5
COMPTE RENDU DE RENCONTRE du 16 juin 2005	

Objet : Rencontre avec les experts

Suite à l'envoi préalable d'une note de présentation de l'étude, il a été présenté dans un premier temps, l'association RE.CO.R.D et l'avancement de l'étude ; en particulier le choix de 3 familles de polymères plastiques et le recensement des différentes filières de valorisation matière/énergie.

La note de présentation contient aussi une liste de critères et de sous critères retenus pour l'étude ainsi qu'une approche de l'outil méthodologique déclinée en plusieurs étapes. Cette partie est l'objet principal de la rencontre.

Le rôle de l'expert est abordé dans un deuxième temps ; ainsi ses connaissances, compétences et retours d'expérience visent à définir et mettre en place l'outil d'aide à la décision.

1. Présentation de l'expert contacté

Nom : Monsieur FRANCOIS

Entreprise : GALLOO-FRANCE du groupe GALLOO RECYCLING

Adresse : Première avenue Port d'Halluin 59 432 HALLUIN

Fonction : Responsable environnement

Domaine de compétences : Valorisation matière ; Institutions Françaises et Européennes

E-mail : olivier.francois@galoo.com

Téléphone : + 32 56 52 13 00 / + 32 496 56 13 38

Fax : +32 56 52 13 10

Origine du contact : CADET International/RE.CO.R.D

<i>Avis d'experts sur la mise en place d'une approche multicritère pour le choix d'une filière de valorisation matière/énergie des déchets plastiques</i>	PAGE 2 / 5
COMPTE RENDU DE RENCONTRE du 16 juin 2005	

2. La vision du sujet par l'expert et ses propositions

2.1 La filière recyclage

En introduction, la discussion s'est tournée sur le choix des polymères plastiques retenus. Ce choix fut approuvé par M. François du fait de l'activité de GALLOO spécialisée dans le recyclage des VHU et des DEEE. En effet le PP et le PS sont couramment rencontrés dans leur activité. Pour ce qui est du PE, on le retrouve au niveau du réservoir des automobiles mais la difficulté de son traitement en fait un cas à part dans l'activité de GALLOO ; seul l'importance du gisement des films agricoles fut évoquée.

Ensuite une situation historique du groupe fut établie. L'activité du groupe, tout d'abord ciblée sur le recyclage du métal s'est petit à petit orientée vers la récupération du caoutchouc dans un premier temps puis vers celle des plastiques. Ainsi la discussion s'est ensuite tournée vers la filière de récupération et de recyclage des plastiques, notamment les plastiques provenant des VHU et des DEEE.

Les filières de récupération et d'approvisionnement en plastiques sont deux points clés à maîtriser dans l'activité. En effet les matériaux récupérés sont des matériaux relativement anciens qu'il n'est pas toujours évident de valoriser selon les objectifs fixés par les directives. Par ailleurs, les gisements de produits recyclés doivent répondre aux attentes et aux besoins des clients tout en assurant une pérennité de la filière ; c'est-à-dire une garantie de gisement à moyen ou long terme.

Toute la difficulté est donc d'associer une récupération de « déchets » en adéquation avec les besoins du client et en adéquation avec la législation. Le problème est souvent la faible source en déchets plastiques par rapport à la forte demande de plastiques recyclés. L'objectif de la filière « recyclage » est avant tout quantitatif ; la vision de cette filière porte sur l'ensemble de la fraction collectée et non seulement sur la fraction de meilleure qualité.

Les déchets sont ainsi broyés et les différentes familles de plastiques prépondérantes sont récupérées selon des méthodes adaptées (séparation par liqueur dense ou autres dispositifs mécaniques). Les plastiques récupérés sont ceux pour lesquels on maîtrise actuellement les procédés techniques et ceux pour lesquels il existe des débouchés. Ces débouchés sont donc liés au fait de la garantie de la pérennité de la filière et des engagements prononcés

Un changement culturel s'amorce peu à peu, auparavant le recyclage était conçu comme étant la nécessité de parvenir à un produit très proche du niveau de pureté des résines vierges (ou des matériaux vierges en général, comme dans le cas de l'acier) ; aujourd'hui la pureté du produit devient secondaire au regard des attentes du client (ce qui devient essentiel, ce sont les propriétés mécaniques et thermiques du cahier des charges du client).

En terme de consommation de ressources naturelles et d'atteintes à l'environnement, une bonne maîtrise du procédé de recyclage permet de diminuer fortement ces impacts. Lors du recyclage, c'est le procédé de broyage qui requière beaucoup d'énergie. Cette étape est très importante car permet d'obtenir la maille de libération indispensable au tri des matériaux. Le reste, la gestion de l'eau, par exemple, peut se faire en boucle fermée.

<p><i>Avis d'experts sur la mise en place d'une approche multicritère pour le choix d'une filière de valorisation matière/énergie des déchets plastiques</i></p>	<p>PAGE 3 / 5</p>
<p>COMPTE RENDU DE RENCONTRE du 16 juin 2005</p>	

2.2 La recyclage et les autres filières de valorisation

Des études ont été menées pour la mise en place d'unité d'incinération des déchets plastiques. Ces projets, bien que tentés dans des pays comme la Suisse, sont souvent abandonnés du fait du manque de garanties techniques et économiques mais aussi du fait de l'influence d'une réglementation de plus en plus sévère, pénalisante et qui évolue sans cesse. Les risques réglementaires ne sont pas mesurables et représentent un frein majeur au développement de nouvelles filières de valorisation. Le poids du capital immobilisé par de tels projets est aussi un facteur important.

Une solution retenue en Suisse fut notamment l'incorporation de résidus de broyage dans les unités d'incinération d'OM ayant des vides de four. Ce procédé, en plus de ses faibles capacités présente l'inconvénient d'un coût élevé par rapport à la mise en décharge. Cette solution pourrait être utilisée si toutes les entreprises avaient l'obligation de respecter un quotas d'élimination en IUOM ; la compétitivité serait alors préservée.

Les filières de la cimenterie et de l'aciérie, disposées à recevoir les déchets plastiques, privilégient des gisements très importants des déchets plastiques. L'accessibilité n'est pas toujours évidente pour les « petits » producteurs et la concurrence d'autres produits à fort pouvoir de combustion, et haut niveau de pureté, est sévère.

Les déchets plastiques peuvent être utilisés, suite à une gazéification, comme combustibles de substitution dans des fours verriers ou des fours à chaux (le gaz produit ayant l'avantage d'être lavé, et donc de ne pas perturber le process). Néanmoins les lourds investissements, les risques et les nombreuses interrogations en terme de pérennité en particulier, ont été un frein à son développement jusqu'à maintenant : l'évolution durable à la hausse des prix du pétrole peut débloquer de grands projets de ce type à court terme.

L'utilisation de la gazéification ou encore le fait de combler les vides de four d' UIOM sont des procédés pouvant intervenir en complément de la filière de valorisation principale.

2.3 La démarche et les critères

Il fut évoqué par M. François que le critère réglementaire, dans la note de présentation de l'étude, n'était pas suffisamment développé. Ce critère pourrait se décomposer en 2 niveaux :

- Tout d'abord les impositions réglementaires, et notamment celles des secteurs de l'emballage, des VHU et des DEEE, des directives qui imposent objectifs et échéances. Ces impositions vont dans le sens d'un changement des comportements vis-à-vis de la mise en décharge.
- Ensuite les aspects réglementaires et leurs influences sur les aspects économiques. Plus précisément, en quoi une modification réglementaire pourrait devenir un facteur initiateur ou inhibiteur au développement ou à la mise en place d'une filière de valorisation.

Ce critère pourrait ainsi refléter les pressions réglementaires pouvant être à l'origine du développement ou non d'une filière.

Concernant le critère environnemental, 2 approches peuvent être abordées : soit on étudie ce critère de façon bien distincte par rapport aux autres critères ; soit on intègre la notion environnementale aux autres critères et

<i>Avis d'experts sur la mise en place d'une approche multicritère pour le choix d'une filière de valorisation matière/énergie des déchets plastiques</i>	PAGE 4 / 5
COMPTE RENDU DE RENCONTRE du 16 juin 2005	

notamment aux critères économique et technique. Pour M. François la notion environnementale ne peut être dissociée des critères économique et technique. Ces notions sont liées et ne peuvent évoluer séparément.

Le critère environnemental pourrait aussi évaluer les procédés selon leur influence sur les consommations d'eau ou encore d'énergie.

Le critère sociétal devrait reprendre les préoccupations des entreprises et identifier les problèmes pouvant mettre en péril la population. L'environnement interne de l'entreprise devra être pris en considération.

La hiérarchisation des critères n'est pas évidente même si le critère économique prime sur les autres. Chaque critère relève d'une importance distincte et les effets de médiatisation peuvent eux aussi apporter une prépondérance particulière.

En conclusion du rapport final qui sera produit, une possibilité d'ouverture pourrait être de laisser la parole aux différents experts pour qu'ils puissent indiquer et émettre de façon précise leurs visions, leurs positions et leurs remarques sur le contenu de ce rapport sous forme d'une annexe à celui-ci.

3. Déroulement de l'étude suite à la rencontre

Il a été convenu avec l'expert une validation préalable de ce compte rendu avant la diffusion à l'association RE.CO.R.D. Cette validation permettra d'obtenir l'accord de diffuser les informations recensées.

Lors de l'avancement de l'étude, les experts seront tenu au courant des autres avis d'experts et seront sollicités, selon leurs disponibilités, à chaque étape par le biais de documents transmis par courriel, d'entretiens téléphoniques ou encore de nouvelles rencontres si cela s'avérait nécessaire.

4. Points clés abordés lors de la rencontre

- La filière du recyclage et les difficultés rencontrées
- La place du recyclage face aux autres filières de valorisation
- Le rôle de la réglementation dans le développement des filières de valorisation
- Le critère environnemental et la réflexion sur son lien avec les autres critères

5. Coordonnées

Alexandre MALTOT
amaltot@cadet.setec.fr
06 70 12 58 85

CADET International
Agence de Vitrolles
7, chemin des Gorges de Cabriès
13 127 VITROLLES

Tel : 04 42 79 44 95
Fax : 04 42 79 46 10

Stéphane BIOCCHI
cadet.sb@nordnet.fr
06 85 56 27 32

CADET International
Agence de Lille
88, rue Nationale
59 000 LILLE

Tel : 03 28 38 17 87
Fax : 03 20 54 55 72

<i>Avis d'experts sur la mise en place d'une approche multicritère pour le choix d'une filière de valorisation matière/énergie des déchets plastiques</i>	PAGE 1 / 4
COMPTE RENDU DE RENCONTRE du 22 juillet 2005	

Objet : Rencontre avec les experts

Suite à l'envoi préalable d'une note de présentation de l'étude, il a été présenté dans un premier temps, l'association RE.CO.R.D et l'avancement de l'étude ; en particulier le choix de 3 familles de polymères plastiques et le recensement des différentes filières de valorisation matière/énergie.

La note de présentation contient aussi une liste de critères et de sous critères retenus pour l'étude ainsi qu'une approche de l'outil méthodologique déclinée en plusieurs étapes. Cette partie est l'objet principal de la rencontre.

Le rôle de l'expert est abordé dans un deuxième temps ; ainsi ses connaissances, compétences et retours d'expérience visent à définir et mettre en place l'outil d'aide à la décision.

1. Présentation de l'expert contacté

Nom : Monsieur FROELICH

Entreprise : ENSAM de Chambéry – Institut « Conception Mécanique et Environnement »

Adresse : Savoie Technolac – 4, rue du lac majeur 73 375 LE BOURGET DU LAC Cedex

Fonction : Professeur d'université – Directeur du laboratoire MAPIE

Domaine de compétences : Valorisation matière ; Méthodologie multicritères

E-mail : daniel.froelich@chambery.ensam.fr

Téléphone : 04 79 25 36 63

Fax : 04 79 25 36 70

Origine du contact : RE.CO.R.D

<i>Avis d'experts sur la mise en place d'une approche multicritère pour le choix d'une filière de valorisation matière/énergie des déchets plastiques</i>	PAGE 2 / 4
COMPTE RENDU DE RENCONTRE du 22 juillet 2005	

2. La vision du sujet par l'expert et ses propositions

2.1 Introduction

En introduction, une présentation de l'étude et de son avancement fut établie. Ensuite, M. FROELICH a présenté succinctement l'institut de Chambéry ; son rôle, ses missions et ses travaux principaux. Ces travaux s'intègrent dans diverses problématiques telles l'éco conception, les techniques de recyclage et le recyclage des matériaux (en particulier les plastiques).

L'entretien s'est essentiellement axé sur la filière du recyclage et son positionnement au sein des diverses filières de valorisation ainsi que sur la définition et les modes de pondération des critères.

2.2 La démarche et les critères

M. FROELICH a souligné la prépondérance de 2 critères principaux : le critère technique et le critère économique. Le critère réglementaire intervient ensuite en corrélation avec ces 2 critères précédemment cités.

- Tout d'abord, ce qui va orienter le déchet vers une filière ou une autre est sa complexité. Cette complexité va conditionner l'accès à une filière de valorisation. La complexité d'un déchet plastique peut se décomposer en plusieurs points : la diversité des matériaux mélangés, la composition et la contamination en éléments dangereux (chlore, métaux lourds, retardateur de flamme...) ainsi que la complexité des matériaux (colorants, charges...). Ainsi les seuils de complexité et de pollution sont importants autant d'un côté technique que réglementaire. M. FROELICH indique que peu de filières de recyclage sont en place pour valoriser les matériaux complexes, l'essentiel de ces filières sont dédiées et adaptées à des déchets de fabrication peu souillés. Le cahier des charges du déchet implique donc à la fois une complexité réglementaire et technique. Ainsi pour le recyclage d'un déchet plastique, la performance technique du recycleur doit être évaluée ainsi que le type de procédé utilisé (tri, broyage, lavage...)
- Par ailleurs, outre la complexité du déchet, la notion quantitative du gisement et la localisation des installations de valorisation sont à prendre en considération.

Le critère économique est donc intimement lié à ces aspects quantitatif et qualitatif du gisement (problèmes de stockage et de logistique pour les gisements de faible tonnage) et la comparaison à la mise en centre de stockage est inévitable.

- L'aspect réglementaire, qui indique les divers taux de valorisation, peut être considéré comme un moteur externe et économique pouvant développer et faire évoluer une filière. En effet, la réglementation, du fait de son pouvoir d'incitation par le biais de taxes ou de redevances, représente un facteur moteur pour une filière donnée.

<i>Avis d'experts sur la mise en place d'une approche multicritère pour le choix d'une filière de valorisation matière/énergie des déchets plastiques</i>	PAGE 3 / 4
COMPTE RENDU DE RENCONTRE du 22 juillet 2005	

- En ce qui concerne le critère environnemental, les impacts environnementaux principaux évoqués sont les économies d'énergie (et le taux de CO2 rejeté), les déchets ultimes formés, la consommation en ressources et plus particulièrement l'eau et l'effet de serre. L'ensemble de ces sous critères génèrent un coût qu'il est important d'appréhender. Une hiérarchisation des sous critères environnementaux par filière peut être soumise par les fondateurs de la méthode et une hiérarchisation de l'ensemble des filières pour un sous critère donné pourrait être effectué. Cette hiérarchisation pourrait répondre à la question suivante : quelle filière est la mieux située au regard d'un sous critère donné à un instant T. Afin de vérifier cette hiérarchisation les méthodes ACV pourraient être utilisées.
- Le mode de pondération précédent raisonne à un instant donné. Ainsi, un point important pourrait intervenir : la maturité et la potentialité de la filière. Le degré d'optimisation de la filière serait évalué selon la période d'émergence de la filière et selon le rôle de la réglementation dans son évolution. Les évolutions d'une filière (réglementaire, technique, économique) seront ainsi évaluées à long terme.
- Le critère sociétal pourrait être évalué selon le nombre et la diversité des emplois associés à une filière. Ce critère pourrait aussi reprendre la perception de la filière par la population.

A l'échelle internationale, le critère sociétal et le critère environnemental occuperont une place prépondérante dans l'évaluation d'une filière de valorisation. Souvent en opposition au critère économique, le critère sociétal (conditions de travail, sécurité des travailleurs, niveau des salaires...) sera un point important à prendre en considération lors de l'évaluation d'une installation à l'étranger. Par ailleurs, les impacts environnementaux générés par l'installation pourraient faire également l'objet d'une pondération particulière.

- Selon M.FROELICH, le mode d'agrégation devrait s'intégrer dans une perspective multicritères. En effet, une note d'évaluation globale pourrait dissimuler ou atténuer un problème majeur.

3. Déroulement de l'étude suite à la rencontre

Il a été convenu avec l'expert une validation préalable de ce compte rendu avant la diffusion à l'association RE.CO.R.D. Cette validation permettra d'obtenir l'accord de diffuser les informations recensées.

Lors de l'avancement de l'étude, les experts seront tenu au courant des autres avis d'experts et seront sollicités, selon leurs disponibilités, à chaque étape par le biais de documents transmis par courriel, d'entretiens téléphoniques ou encore de nouvelles rencontres si cela s'avérait nécessaire.

4. Points clés abordés lors de la rencontre

- La prépondérance des critères technique et économique.

COMPTE RENDU DE RENCONTRE du 22 juillet 2005

- Le rôle et le poids de la réglementation dans l'évolution et le développement des filières de valorisation.
- La pondération des sous critères environnementaux au sein d'une même filière et entre les diverses filières ; pondération soumise par les fondateurs de la méthode.
- La prise en considération de la potentialité et de la maturité d'une filière de valorisation.

5. Coordonnées

Alexandre MALTOT
amaltot@cadet.setec.fr
06 70 12 58 85

CADET International
Agence de Vitrolles
7, chemin des Gorges de Cabriès
13 127 VITROLLES

Tel : 04 42 79 44 95
Fax : 04 42 79 46 10

Stéphane BIOCCHI
cadet.sb@nordnet.fr
06 85 56 27 32

CADET International
Agence de Lille
88, rue Nationale
59 000 LILLE

Tel : 03 28 38 17 87
Fax : 03 20 54 55 72