ETUDE N° 2019-02

RECYCLAGE DES PLASTIQUES ET ACV

RAPPORT FINAL

Décembre 2020

Responsables Scientifiques

Charlotte Hugrel, Magali Palluau

Bleu Safran - 41 rue Gambetta - 71000 MÂCON

L'association SCORE LCA est une structure d'étude et de recherche dédiée aux travaux relatifs à l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) et à la quantification environnementale. Elle vise à promouvoir et à organiser la collaboration entre entreprises, institutionnels et scientifiques afin de favoriser une évolution partagée et reconnue, aux niveaux européen et international, de la méthode d'Analyse du Cycle de Vie et de sa mise en pratique.

- ✓ En Bibliographie, ce document sera cité sous la référence :

  SCORE LCA, Recyclage des plastiques et ACV, 2020, 173 pages, n°2019-02.

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

  www.ademe.fr

- ✓ Les points de vue et recommandations exprimés dans ce document n'engagent que les auteurs et ne traduisent pas nécessairement, sauf mention contraire, l'opinion de l'ensemble des membres de SCORE LCA.

- ✓ Les informations et les conclusions présentées dans le présent document ont été établies au vu des données scientifiques et techniques et d'un cadre réglementaire et normatif en vigueur à la date de l'édition des documents.

Comité de suivi pour SCORE LCA : Jean-Paul Cazalets, Eric Debedde, Anne Eline Gilles – TOTAL ; Mary Hanhoun, Julie Clavreul – ENGIE ; Daniel Dunet, Jeanne Serre, Séverine Mehier – VEOLIA ; Alice Gueudet, Adeline Pillet, Erwan Autret – ADEME ; Anne Grau, Denis Le Boulch, Mickael Buronfosse – EDF ; Stéphane Morel, Yves Babian – RENAULT ; Christophe Calais, Hervé Thiebaud, Gilbert Fuchs – ARKEMA ; Lise Maisonneuve, Romain Muggeo, Nicolas Jeannoutot – MICHELIN ; Bénédicte Couffignal – RECORD ;Philippe Osset, Jade Garcia - SCORE LCA.

RESUME

Dans le cadre de cette étude, SCORE LCA a souhaité investiguer les enjeux méthodologiques associés à l'évaluation environnementale de type ACV du recyclage des plastiques en se centrant plus particulièrement sur : i) sur certains plastiques courants présents dans des biens de consommation multi-matériaux (emballages, véhicules hors d'usage, équipements électriques et électroniques), ii) sur les procédés de recyclage mécanique, largement majoritaires à ce jour.

La question de l'évaluation environnementale du recyclage des plastiques est appréhendée à la fois dans une perspective « gestion en fin de vie » des plastiques et dans une perspective « production de plastique recyclé ».

L'étude se conclut par des **recommandations méthodologiques et de documentation** qui seraient à mettre en œuvre dans le cadre de travaux ACV concernant le recyclage des plastiques. Ces recommandations visent tout d'abord à favoriser une exploitation ultérieure adaptée des résultats qui seraient produits par ce type de travaux ACV. Elles ambitionnent également de contribuer à une harmonisation des pratiques, notamment en vue d'assurer une comparabilité des résultats entre les études mais également entre le profil environnemental d'un plastique recyclé et le profil environnemental d'un plastique vierge.

Ces recommandations sont formulées à partir des enseignements qui sont tirés :

- D'un rappel général sur les aspects qui peuvent affecter la recyclabilité des plastiques en fin de vie, en lien avec les choix de formulation des plastiques, les exigences réglementaires, ou encore les contraintes techniques inhérentes aux procédés impliqués tout au long de la chaîne de recyclage.
- D'une présentation approfondie de la réalité et de la complexité de la gestion des plastiques en vue de leur recyclage dans le cadre de différentes filières : emballages ménagers, VHU, DEEE et de manière plus sommaire les emballages industriels et commerciaux en PSE.
- D'une analyse détaillée d'une sélection de publications « ACV » portant sur le recyclage des plastiques.

La question du recyclage chimique n'était pas l'objet de ces travaux ; ce sujet n'est donc pas traité en tant que tel mais fait néanmoins l'objet d'une ouverture visant à esquisser des premiers questionnements qui seraient à approfondir dans le cadre d'une étude dédiée à cette famille de procédés.

MOTS CLES

Déchets plastiques, déchets post-consommation, plastiques recyclés, recyclage mécanique, recyclabilité, produits multi-matériaux, procédé multi-sortants.

SUMMARY

In this study, SCORE LCA wanted to investigate the methodological issues associated with LCA-based environmental assessment of plastics recycling by focusing more particularly on : (i) certain common plastics present in multi-material consumer goods (packaging, end-of-life vehicles, electrical and electronic equipment), (ii) mechanical recycling processes, which are the mains techniques available to date.

These issues are approached both from the perspective of "end-of-life management" of plastics and from the perspective of "production of recycled plastics".

The study concludes with **methodological and documentation recommendations** that should be implemented in the framework of LCA work focusing on plastics recycling. First of all, these recommendations aim to facilitate an appropriate use of the results that would be produced by this type of LCA work. They also aim to contribute to the harmonization of practices, particularly with a view to ensuring comparability of results between studies but also between the environmental profiles of a recycled plastics and virgin plastics.

These recommendations are formulated on the basis of the lessons learned:

- A general reminder of the various aspects that can affect the recyclability of plastics at the end of their life, in relation to plastics formulation choices, regulatory requirements, or the technical constraints inherent in the processes involved all along the recycling chain.

- An in-depth presentation of the reality and complexity of the management of plastics waste with a view to their recycling, thereby considering different sectors: household packaging, ELV, WEEE and, in a more brief way, industrial and commercial EPS packaging.
- A detailed analysis of a selection of "LCA" publications on plastics recycling.

The issue of chemical recycling was not the subject of this work; this topic is not addressed as such but a preliminary look into this topic enabled to suggest first questions that would need to be examined in greater detail in the context of a study dedicated to this family of processes.

KEY WORDS

Plastic waste, post-consumer waste, recycled plastics, mechanical recycling, recyclability, multi-material products, multi-output process.

LEXIQUE

ABS	Acrylonitrile butadiène styrène
CFF	Circular Footprint Formula
CRT	Cathode Ray Tube (écrans CRT)
DEEE	Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques
EVOH	Ethylène alcool vinylique (polymère présentant des propriétés barrières à l'oxygène, aux gaz et à d'autres substances comme les graisses)
GEM F	Gros Electroménager Froid (DEEE)
GEM HF	Gros Electroménager Hors Froid (DEEE)
MF	Métaux Ferreux
MNF	Métaux Non Ferreux
MPR	Matière Première de Recyclage
PAM	Petits Appareils en Mélange (DEEE)
PEBD	Polyéthylène basse densité
PEHD	Polyéthylène haute densité
PEF	Product Environmental Footprint
POP	Polluant Organique Persistant
PP	Polypropylène
PS	Polystyrène
RFB	Retardateurs de Flamme Bromés
VHU	Véhicules Hors d'Usage
RFB	Retardateurs de Flamme Bromés
VHU	Véhicules Hors d'Usage

SOMMAIRE

A. INTRODUCTION 9

A.1 Contexte de l'étude 9

A.2 Finalités de la présente étude 10

B. FORMULATION DES PLASTIQUES ET AUTRES ENJEUX A PRENDRE EN COMPTE POUR L'EVALUATION DE LA RECYCLABILITE DES PLASTIQUES 12

B.1 Recours à des additifs, charges et renforts et incidences sur la recyclabilite des plastiques 13

B.1.1 La nécessité de gérer des additifs « historiques » soumis à restrictions 14

B.1.2 Présence de certains additifs dans les plastiques : implications pour les étapes de tri et de régénération 16

B.1.2.1 Etapes de séparation des déchets plastiques contenant des POP soumis à restrictions 16

B.1.2.2 Séparation des polymères cibles chez les régénérateurs - Focus sur les changements de densité 18

B.1.2.3 Cas des additifs rendant les plastiques non détectables par certaines techniques de séparation 19

B.1.2.4 Cas des additifs pouvant dégrader les propriétés des matières premières recyclées 19

B.2 Autres critères pouvant conditionner la recyclabilité des plastiques et leur devenir en fin de vie 20

B.2.1 Enjeux de compatibilité entre polymères : cas illustratifs 20

B.2.2 Autres critères de conception 21

B.3 Points clés à retenir pour des travaux ACV 21

B.4 Références 22

C. ANALYSES SECTORIELLES 23

D. TAUX DE RECYCLAGE DES PLASTIQUES – QUELQUES POINTS DE REPERE 25

D.1 Les données publiées par Eurostat 25

D.2 Observations critiques des données actuellement publiées par Eurostat 26

D.3 L'évolution en cours de statistiques européennes : vers une meilleure harmonisation des données 27

D.4 Autres conventions intervenant dans le calcul d'un taux de recyclage – illustration avec le cas des emballages plastiques 28

D.5 La prise en compte du taux de recyclage dans PEF 32

D.6 Références 35

E. ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE 36

E.1 Présentation des travaux bibliographiques sélectionnés 37

E.2 Analyse détaillée 39

E.2.1 Travaux du SRP 39

E.2.2 Travaux du Franklin 46

E.2.3 Travaux de Kägi & Haupt 51

E.2.4 Travaux de Shen L. et Al. 58

E.2.5 Travaux de Wäger P. et Al. 62

E.3 Points clés à retenir 68

F. RECOMMANDATIONS EN MATIERE DE TRANSPARENCE ET DE MISE EN ŒUVRE METHODOLOGIQUE 70

F.1 Fiche d'identité et d'orientations méthodologiques : nos recommandations....71

F.2 Discussion & Recommandations 77

F.2.1 Rubriques A | Portée de l'évaluation 77

F.2.2 Rubrique B | ACV attributionnelle / ACV conséquentielle / Autre 79

F.2.3 Rubrique C | Périmètre 79

F.2.4 Rubriques D | Règles méthodologiques de comptabilisation et d'affectation 81

F.2.4.1 Rubrique D1 | Comptabilisation des impacts et bénéfices de la gestion ultérieure des flux non cibles 81

F.2.4.2 Rubrique D2 | Affectation des charges entre les co-produits 87

G. PERSPECTIVES : QUELS SUJETS A APPROFONDIR DANS UNE ETUDE PORTANT SUR LES PROCEDES DE RECYCLAGE CHIMIQUE ET PHYSICO-CHIMIQUE 90

H. ANNEXES : ANALYSES SECTORIELLES 96

H.1 Analyse sectorielle : recyclage des plastiques de la filière des emballages ménagers 96

H.1.1 Introduction sur la filière 96

H.1.2 Emballages plastiques ménagers : quantités mises sur le marché et quantités orientées en recyclage 97

H.1.3 Gestion des emballages plastiques ménagers dans la filière 98

H.1.3.1 Zones hors extension des consignes de tri (hors EECT) 98

H.1.3.2 Zones en extension des consignes de tri (EECT) 99

H.1.4 Focus Material Flux Analysis (MFA) sur la gestion en fin de vie à l'échelle de la France de quelques emballages plastiques 100

H.1.4.1 Cas des bouteilles et flacons en PET clair 101

H.1.4.2 Cas des pots et barquettes en PET clair 102

H.1.4.3 Cas des pots et barquettes en PS 103

H.1.4.4 Cas des films et souples en PE 103

H.1.5 Détails de la gestion par étape 104

H.1.5.1 Collecte sélective 104

H.1.5.2 Tri en centre de tri 109

H.1.5.3 Transport entre les centres de tri et les régénérateurs 113
H.1.5.4 Tri en centre de surtri et transport entre les centres de surtri et les régénérateurs 115
H.1.5.5 Régénération du PET 116
H.1.5.6 Régénération du PEHD/PP 120

H.2 Analyse sectorielle : recyclage des plastiques de la filière VHU 121

H.2.1 Introduction sur la filière 121

H.2.1.1 Cadre réglementaire 121
H.2.1.2 Organisation opérationnelle 121
H.2.1.3 Plastiques présents dans les VHU 121
H.2.1.4 Quelques chiffres clés 121

H.2.2 Focus Material Flux Analysis (MFA) sur la gestion en fin de vie à l'échelle de la France de quelques pièces plastiques présentes dans les VHU 122

H.2.2.1 Cas d'un pare-chocs constitue majoritairement de PP peu chargé 123
H.2.2.2 Cas d'un pare-chocs constitue majoritairement de PP fortement chargé 124
H.2.2.3 Cas de pièces automobiles non triées en centre VHU 125

H.2.3 Détails de la gestion par étape 126

H.2.3.1 Collecte 126
H.2.3.2 Traitement en centre VHU 128
H.2.3.3 Transport des carcasses depuis les centres VHU vers les broyeurs VHU 132
H.2.3.4 Traitement chez les broyeurs VHU 133
H.2.3.5 Traitement des pièces triées en centres VHU et chez les broyeurs VHU vers les recycleurs de plastiques 136
H.2.3.6 Séparation post-broyage en rang 2 des mixes riches en plastiques issus des broyeurs VHU 141
H.2.3.7 Traitement des mixes riches en plastiques cibles chez les régénérateurs de plastiques 144

H.3 Analyse sectorielle : recyclage des plastiques de la filière DEEE.....149

H.3.1 Introduction sur la filière 149

H.3.1.1 Cadre réglementaire 149
H.3.1.2 Organisation opérationnelle 149
H.3.1.3 Plastiques présents dans les DEEE 150
H.3.1.4 Quelques chiffrés clés 150

H.3.2 Focus Material Flux Analysis (MFA) sur la gestion en fin de vie à l'échelle de la France de quelques plastiques constitutifs des DEEE 152

H.3.2.1 Cas d'une pièce PS d'un GEM F 152
H.3.2.2 Cas d'une pièce PP d'un GEM F 153
H.3.2.3 Cas d'une pièce PP chargée en talc d'un PAM 154

H.3.3 Détails de la gestion par étape 155

H.3.3.1 Collecte 155
H.3.3.2 Traitement des DEEE ménagers par les opérateurs de rang 1 159
H.3.3.3 Séparation post-broyage en rang 2 des mixes riches en plastiques issus du traitement des GEM HF et des PAM 167
H.3.3.4 Traitement des mixes riches en plastiques cibles chez les régénérateurs de plastiques 170

H.4 Analyse sectorielle : recyclage des emballages industriels et commerciaux en polystyrène expansé 171

A. INTRODUCTION

A.1 CONTEXTE DE L'ETUDE

Les matériaux plastiques se sont progressivement imposés dans divers secteurs de notre économie, leur production ayant plus que triplé en une trentaine d'année au niveau mondial (environ 350 millions de tonnes pour 105 millions de tonnes en 1990). Les secteurs de l'emballage, du bâtiment et de l'automobile représentent à eux seuls près de 70% de la consommation de plastiques en Europe.

PlasticsEurope, Plastics – The facts 2018

Ces dernières années, cette progression s'est accompagnée de préoccupations grandissantes quant au devenir des plastiques en fin de vie (leurs effets sur l'environnement et le vivant lorsqu'ils sont disséminés dans la nature, l'impossibilité de recourir au recyclage en raison de la présence de certains additifs problématiques, …) mais également sur la préservation des ressources fossiles dont leur production dépend encore très majoritairement.

Les enjeux géopolitiques, et les échanges internationaux sont également à considérer dans une économie mondialisée. Récemment, la Chine qui importait jusqu'alors massivement des déchets plastiques en provenance d'Europe et des USA notamment, a fortement durci ses conditions d'importation durant ces dernières années (dans le cadre de son programme Green Fence lancé en Février 2013), accélérant ainsi la nécessité de trouver des solutions de recyclage et de valorisation plus proches des gisements de déchets.

Face à ces multiples enjeux, les pouvoirs publics et les acteurs de la filière plastiques accélèrent le nombre et l'ampleur des mesures réglementaires et volontaires en faveur de la prévention, du recyclage des plastiques et de l'intégration des plastiques recyclés.

Pour la France, la généralisation de l'extension des consignes de tri à l'ensemble des emballages plastiques ménagers constitue une mesure phare et un levier majeur pour le développement du recyclage des plastiques.

Plus récemment, la Feuille de Route Economie Circulaire a fixé comme objectif de tendre vers 100 % de plastiques recyclés en 2025 avec pour cible d'éviter l'émission de 8 millions de tonnes de CO_2 supplémentaires chaque année grâce au recyclage du plastique. La FREC ambitionne également une accélération des engagements volontaires visant à faire progresser l'intégration de matières plastiques recyclées, en particulier dans les secteurs de l'emballage, du bâtiment, de l'automobile ou des équipements électroniques et électriques.

En conséquence, le recyclage des plastiques et l'intégration de plastiques recyclés sont des sujets d'importance, voire stratégiques, pour plusieurs membres de SCORE LCA en raison de leur implication directe dans la production de plastiques vierges et/ou dans des activités de recyclage des plastiques ou encore du fait de leurs engagements à utiliser des plastiques recyclés.

A.2 FINALITES DE LA PRESENTE ETUDE

▼ Le constat

Le constat partagé par les membres de SCORE LCA et par Bleu Safran est que nombre d'études ACV prennent en compte de manière imparfaite la gestion de fin de vie des plastiques et en particulier leur recyclage en raison des limites suivantes :

- une représentation pouvant être trop simpliste de la succession des étapes qui sont nécessaires pour passer du déchet à collecter jusqu'au plastique recyclé ;
- un recours à des **données et des statistiques qui ne sont pas toujours adéquates** pour décrire des paramètres pourtant clés pour la modélisation ACV (ex : taux de collecte, rendement de régénération…) ;
- une **prise en compte imparfaite des perturbateurs du recyclage et plus généralement des questions de recyclabilité**, qui peuvent dépendre des caractéristiques intrinsèques des plastiques, d'autres choix de conception des metteurs sur le marché mais également des orientations technico-économiques et d'organisation des filières de recyclage existantes.

▼ L'ambition

Afin de faire progresser la pratique ACV et de fournir des points de repère « métiers » et méthodologiques utiles aux praticiens et aux membres de SCORE-LCA, la présente étude s'est centrée sur plusieurs combinaisons polymères/secteurs/type de recyclage avec pour objectifs :

- De décrire, à l'aide de **schémas pédagogiques**, quelles peuvent être **les étapes successives** depuis la fin de vie d'un produit contenant un plastique jusqu'à l'intégration du plastique recyclé. Ce travail descriptif s'appuie sur les schémas d'organisation mis en place en France.
- De faire des **recommandations méthodologiques quant aux frontières à prendre en compte et aux flux à comptabiliser**, en se plaçant dans **différents contextes**. Il s'agit ainsi de faciliter la réalisation de travaux conduits de manière homogène.
- De proposer un état des lieux des inventaires de cycle de vie et des données clés existantes, en expliquant leur domaine de validité ainsi que leurs limites.
- De **formuler des recommandations**, pouvant se décliner selon différentes temporalités (court, moyen, long terme), en particulier pour la production de données clés ou d'inventaires portant sur tout ou partie des étapes de la gestion en fin de vie des plastiques en vue d'un recyclage.

Le tableau ci-après présente plus en détails le périmètre retenu.

Polymères étudiés	Emballages		Véhicules	Equip. électriques et électroniques		
	Emb. ménagers	Emb. industriels	(VHU)	PAM	GEM HF	GEM F
PP	Recy. méc.		Recy. méc.	Recy. méc.		
PS	Recy. PC	Recy. méc.		Recy. méc.		
PET	Recy. méc.					
PEHD (haute densité)	Recy. méc.		Recy. méc.			
PEBD (basse densité)	Recy. méc.					

Légendes :

Recy méc. : recyclage mécanique

Recy. PC : recyclage physico-chimique par dissolution

VHU : véhicules hors d'usage

PAM : petits appareils en mélange

GEM HF : gros appareils électroménagers hors froid

GEM F : gros appareils électroménagers froid

FIGURE 1 – COMBINAISONS POLYMERES/SECTEURS/TYPE DE RECYCLAGE CIBLEES DANS L'ETUDE

Ainsi, la priorité a été mise sur l'étude de :

- déchets de plastiques dits « post-consommation »
- polymères faisant d'ores et déjà l'objet d'un recyclage à un niveau significatif ou représentant un potentiel significatif de recyclage, en ciblant les secteurs suivants :
    - les emballages ménagers et industriels
    - les véhicules hors d'usage
    - les équipements électriques et électroniques
- techniques de recyclage industriellement matures, sachant que les procédés de recyclage mécanique représentent 99% des tonnages de plastiques recyclés en France à ce jour selon 2ACR.

Bien que les procédés de recyclage chimique ne soient pas étudiés dans cette étude (ces procédés ne sont pas matures pour la plupart et l'accès aux données est limité), un premier niveau de réflexion sur les aspects techniques et les enjeux méthodologiques posés par cette famille de procédés a été mené (voir section G, page 90).

B. FORMULATION DES PLASTIQUES ET AUTRES ENJEUX A PRENDRE EN COMPTE POUR L'EVALUATION DE LA RECYCLABILITE DES PLASTIQUES

Certains types d'études ACV, en particulier les études portant sur un produit spécifique donné[1] constitué pour tout ou partie de plastique, et dès lors que l'étape de fin de vie de ce produit est évaluée, vont nécessiter de s'interroger sur la **recyclabilité** du ou des plastiques constitutifs du produit étudié.

Par exemple, les lignes directrices établies pour l'affichage environnemental au niveau européen « PEF » **[1, page 72]** précisent que la conception et la composition d'un produit donné doivent être prises en compte pour déterminer si un matériau présent dans ce produit est susceptible ou non d'être recyclé.

La méthode PEF édicte ainsi plusieurs critères portant sur la recyclabilité et précise que si l'un des critères n'est pas rempli, la valeur R2 (taux de recyclage) devra être nulle (0%).

La présente section propose donc d'expliciter et d'illustrer les implications « métiers » que peuvent poser l'utilisation, y compris historique, de certains additifs des plastiques et plus largement certains choix de conception des produits constitués de plastiques sur les opérations de la chaine du recyclage.

▼ Des documents de référence et outils sectoriels

Ces enjeux étant particulièrement importants pour le recyclage des plastiques issus des emballages, plusieurs guides portant sur la conception et la recyclabilité des emballages ont été élaborés par les professionnels et spécialistes de ce secteur en France, en Europe et en Amérique du Nord :

	Zone géo.	Liens / références
Comité Technique pour le Recyclage des Emballages Plastiques (COTREP)	France	https://www.cotrep.fr/etude-technique/ Recyclabilité des emballages en plastique. Eco-concevoir pour mieux recycler. Décembre 2016 **[2]**
European PET Bottle Platform (EPBP)	Europe	https://www.epbp.org/design-guidelines/products
RECOUP (Recycling of Used Plastics Limited)	Europe	http://www.recoup.org/p/130/recyclability-by-design Plastic Packaging - Recyclability By Design 2017 **[3]**
Association of plastics Recyclers (APR)	Amérique du Nord	http://www.plasticsrecycling.org/apr-design-guide/apr-design-guide-home The APR Design® Guide for Plastics Recyclability, 2018 **[4]**

TABLEAU 1 – ORGANISATIONS EDICTANT DES RECOMMANDATIONS / GUIDES SUR LA CONCEPTION ET LA RECYCLABILITE DES PLASTIQUES UTILISES DANS L'EMBALLAGE

L'outil web Bilan Environnemental des Emballages (BEE) de CITEO (REP emballages ménagers), accessible à tous, permet d'évaluer les emballages ménagers sur leur cycle de vie en considérant plusieurs indicateurs environnementaux. Il intègre des règles de recyclabilité établies sur la base des avis du COTREP en ce qui concerne les matériaux plastiques **[5, annexe 1]**.

Dans le domaine des produits liés à l'énergie, une norme européenne – EN 45555 **[6]** – est en cours de finalisation et définira des méthodes et paramètres génériques applicables pour le développement de normes spécifiques à un produit afin de calculer les taux de recyclabilité et de valorisabilité spécifiques à un produit.

En France, ecosystem met à disposition de ses adhérents un outil web – REEECYC'LAB – permettant d'évaluer de la recyclabilité de leurs équipements électriques et électroniques.

[1] Par exemple, situation A "Micro-level decision support" et situation C "Accounting" du guide « ILCD Handbook - General guide for LCA »

B.1 RECOURS A DES ADDITIFS, CHARGES ET RENFORTS ET INCIDENCES SUR LA RECYCLABILITE DES PLASTIQUES

L'évaluation du recyclage en fin de vie de produits plastiques nécessite de s'interroger sur les enjeux que peuvent poser **les additifs, les charges et les renforts** pouvant être présents dans les matières plastiques.

En effet, une matière plastique n'est pas uniquement constituée de polymères ou de copolymères, mais peut contenir – selon les applications et propriétés recherchées, les contraintes de coûts, etc. – d'autres substances telles que :

- **Des additifs fonctionnels** : ceux-ci vont par exemple permettre d'apporter des propriétés en termes de stabilité, de résistance (ex : tenue aux chocs), d'aptitude à la mise en forme ou encore de conservation des produits (ex : emballage de denrées alimentaires). Citons par exemple, les familles suivantes :
  - Plastifiants
  - Ignifugeants ou retardateurs de combustion / retardateurs de flamme
  - Stabilisants (anti-UV, thermiques, antioxydants)
  - Additifs à effet « barrière » (ex : aux gaz, aux odeurs, à la vapeur d'eau.)
  - Pigments et colorants
  - Agents antistatiques
  - Etc.

Ces additifs peuvent être présents en proportions variables dans un plastique, de moins de 1% à plusieurs pourcents ou dizaines de pourcents (ex : retardateurs de flamme, plastifiants).

- **Des charges** : il s'agit en général de matières minérales (talc, noir de carbone, carbonate de calcium, sulfate de baryum…) qui vont permettre d'abaisser le prix de revient des produits en plastiques, et dans certains cas d'améliorer les propriétés du matériau (ex : rigidité).
- **Des renforts**, généralement fibreux (fibres de verre, fibres de carbone, fibres végétales…) qui sont ajoutés dans les plastiques afin d'améliorer leurs propriétés mécaniques.

En savoir plus

L'Agence Chimique Européenne (ECHA) a publié en 2019, une cartographie – établie avec l'appui des industriels – recensant environ 400 substances utilisées comme des additifs dans les plastiques.

Cette liste couvre des substances fabriquées ou importées à plus de 100 tonnes par an. Il s'agit pour l'essentiel d'additifs utilisés comme antioxydants, antistatiques, retardateurs de flamme, plastifiants, pigments, ou encore stabilisants thermiques. La base de données de l'ECHA précise notamment les polymères dans lesquels les additifs sont le plus souvent trouvés ainsi que les taux de concentration habituels.

https://echa.europa.eu/fr/mapping-exercise-plastic-additives-initiative

Or, certains de ces additifs, charges, ou renforts – du fait de leur nature, de leur classement en termes de risques et de leur proportion – peuvent constituer des freins vis-à-vis du recyclage des plastiques, en raison :

- **De leurs propriétés de dangers :** cela concerne notamment des « additifs historiques » pour lesquels des dispositions réglementaires peuvent exister.
- **De leurs propriétés physico-chimiques :** certaines propriétés, telles que la densité et la couleur, peuvent poser des contraintes particulières lors de la mise en œuvre des opérations de tri/séparation des matériaux et de régénération des plastiques.
- **Des contraintes posées par l'incompatibilité entre matières :** la présence de certains additifs peut engendrer des difficultés lorsque ceux-ci dégradent les propriétés attendues des MPR en fonction de leurs marchés applicatifs.

B.1.1 LA NECESSITE DE GERER DES ADDITIFS « HISTORIQUES » SOUMIS A RESTRICTIONS

Un enjeu important pour certaines filières de gestion porte sur la possible présence, dans les gisements de plastiques arrivant à ce jour en fin de vie, de substances qui ont pu être autorisées par le passé mais qui sont désormais soumises à diverses dispositions réglementaires en raison de leurs propriétés de dangers (ex : polluants organiques persistants, substances CMR, etc.).

En effet, pour des secteurs tels que l'automobile, le bâtiment ou encore les équipements électriques et électroniques, des produits arrivant en fin de vie de nos jours ont pu être fabriqués il y a 5 ans, 10 ans, 20 ans ou même davantage.

▼ **Des règles portant sur la gestion des déchets**

Au niveau européen, le **règlement européen POP [7, article 7 et annexe IV] encadre les modalités de gestion des déchets** contenant certains polluants organiques persistants dont l'utilisation dans la fabrication de nouveaux produits est interdite mais étant encore présents dans les produits arrivant en fin de vie.

Ces dispositions vont ainsi concerner des déchets plastiques contenant des **retardateurs de flammes bromés** (RFB) tels que :

- **des polybromodiphénylethers**, dont le plus utilisé au cours des dernières décennies est le deca-BDE. L'utilisation du déca-BDE est interdite depuis 2008 dans les équipements électriques et électroniques et est restreinte depuis mars 2019, dans le cadre du règlement REACH, pour les autres usages à l'exception de quelques dérogations [8].
- **l'HBCD ou hexabromocyclodédane**. L'utilisation et la production de l'HBCD sont interdites en Europe depuis avril 2015, des dérogations pour certains usages existent cependant pour le bâtiment (isolants PS).
- **l'HBB ou hexabromobiphényle**. Ce retardateur de flamme appartient à la famille des polybromobiphényles qui sont interdits en Europe depuis l'année 2000.

Les modes de traitement autorisés pour des fractions plastiques contenant l'un des POP visés par ce règlement au-delà du seuil associé (voir Tableau 2) sont limités et **leur recyclage est interdit** afin d'éviter la présence de ces substances dans les matières premières recyclées.

	Seuil règlement POP (annexe IV)	Remarque
PBDE suivants : tétra-BDE, penta-BDE, hexa-BDE, hepta-BDE, déca-BDE	1000 mg/kg	Cette limite pourrait être abaissée à 500 mg/kg. Elle sera réexaminée au plus tard le 16 juillet 2021
Hexabromocyclodédane (HBCD)	1000 mg/kg	Cette limite sera réexaminée au plus tard le 20 avril 2019
Hexabromobiphényle (HBB)	50 mg/kg	

TABLEAU 2 – SEUILS APPLICABLES POUR CERTAINS RETARDATEURS DE FLAMME BROMES – REGLEMENT EUROPEEN POP 2019/1021

Ainsi, pour les filières de fin de vie concernées par ces enjeux, des procédés permettant de séparer les déchets plastiques contenant ces substances réglementées des autres déchets plastiques sont mis en place.

▼ **Des règles portant sur les produits**

D'autres textes réglementaires fixent des **restrictions, des interdictions ou des obligations d'information ou d'affichage** en ce qui concerne la présence de certaines substances cibles dans la fabrication de **nouveaux produits,** leur fabrication pouvant mettre en œuvre des matières plastiques recyclées.

Certains retardateurs de flamme, métaux lourds (présents dans des pigments par exemple) et phtalates (plastifiants intégrés à certains polymères tels que le PVC) utilisés comme additifs dans les plastiques sont concernés par ces réglementations.

Voir notamment :

- Règlement européen POP
- Règlement REACH :
  - Substances soumises à restriction
  - Substances soumises à autorisation
  - Obligation d'information lorsqu'une substance extrêmement préoccupante ou SVHC[2] est présente à plus de 0,1%
- Directives Européennes sectorielles :
  - Equipements électriques et électroniques (Directive 2015/863 dite RoHS 3)
  - Jouets et articles de puériculture Directive 2005/84/CE
  - Matériaux en contact avec les denrées alimentaires (Directive 2007/19/CE)
  - Dispositifs médicaux (règlement CE n°1272/2008)

Afin de répondre à ces exigences réglementaires et notamment aux obligations d'information du règlement REACH quant à la possible présence de substances soumises à autorisation, à restriction ou de substances préoccupantes, certains régénérateurs mettant sur le marché des MPR plastiques, en particulier les adhérents au SRP (Syndicat national des Régénérateurs de matières Plastiques) en France ou à PRE (Plastics Recyclers Europe) en Europe, établissent des Fiches de données de sécurité « FDS-R ».

Le SRP indique ainsi dans sa note d'information sur REACH **[9]** que les FDS-R associées aux MPR qui contiennent des types de substances précédemment énumérées précisent les éventuelles précautions à prendre pour utiliser en toute sécurité ces MPR.

En savoir plus

Afin d'approfondir ces enjeux, le lecteur pourra notamment prendre connaissance des études et documents suivants :

RECORD, Recyclage des emballages plastiques ayant contenu des produits dangereux. Conditions techniques et réglementaires – Etat des connaissances sur les risques sanitaires, 2016, 154 p, n°15-0154/1A

Etudes de l'INERIS portant sur les substances POP et autres substances réglementées présentes dans les matières plastiques des DEEE et des VHU (INERIS-DRC-17-164545-09803A, INERIS-DRC-18-173977-02943B)

ESR, Guide pratique pour l'intégration des plastiques recyclés dans les équipements électriques et électroniques. 2019

[2] SVHC : substance of very high concern, selon la « Candidate List of Substances of Very High Concern for autorisation » établie et mise à jour par l'Agence Européenne des Produits Chimiques

B.1.2 PRESENCE DE CERTAINS ADDITIFS DANS LES PLASTIQUES : IMPLICATIONS POUR LES ETAPES DE TRI ET DE REGENERATION

Nous proposons d'expliquer et d'illustrer dans la présente section les problématiques pouvant résulter :

- Des **obligations de séparation des plastiques contenant des RFB**, ceci pouvant conduire à écarter du recyclage d'autres plastiques que ceux strictement visés par les restrictions réglementaires
- Des **changements de densité des plastiques** en raison de l'utilisation de charges, ceci pouvant conduire à écarter ces plastiques du recyclage
- De l'utilisation d'additifs rendant les plastiques non détectables par certaines techniques
- De l'utilisation d'additifs pouvant dégrader les propriétés des plastiques recyclés

▼ **Quelques points de repère sur la densité des principaux polymères**

Afin de mettre en lumière certains de ces enjeux, nous rappelons ci-dessous les valeurs de densité des principaux polymères utilisés dans les domaines ciblés par l'étude.

La Figure 2 montre ainsi que les densités des différents polymères non expansés se situent communément dans une plage allant de 0,9 à 1,4, les polyoléfines ayant des densités inférieures à 1.

On note également que l'adjonction d'additifs est susceptible de modifier sensiblement la densité. Par exemple, un polypropylène intégrant 20% de talc aura une densité de l'ordre de 1,05 contre 0,9 environ pour un polypropylène non chargé.

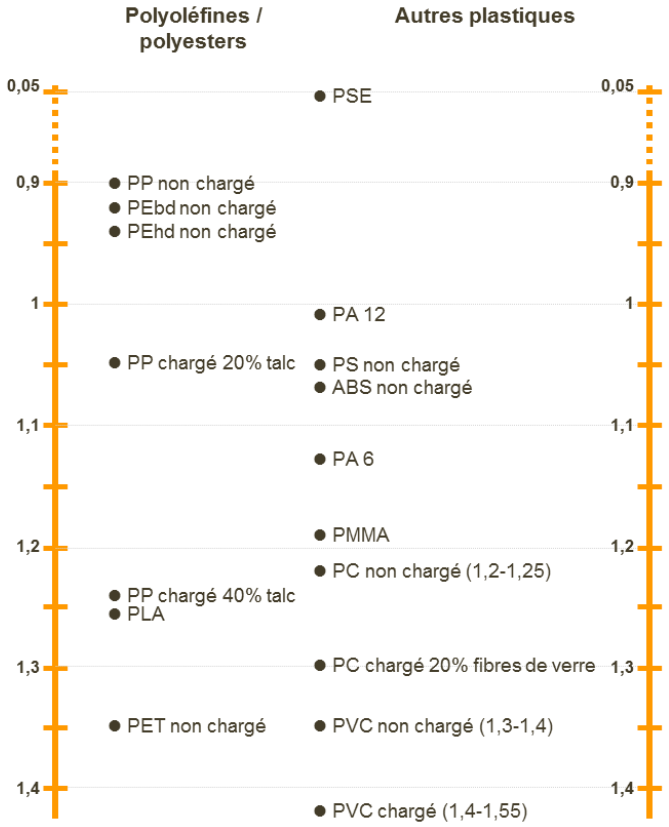


FIGURE 2 – DENSITE DES PRINCIPAUX POLYMERES UTILISES DANS LES SECTEURS DE L'EMBALLAGE, DES EEE ET DE L'AUTOMOBILE. D'APRES GUIDE COTREP [2, PAGE 10] ET BREVETS GALLOO PLASTICS [10]

Les sections suivantes illustrent les implications que cela peut avoir sur le recyclage de certains plastiques et donc sur leur évaluation environnementale.

B.1.2.1 Etapes de séparation des déchets plastiques contenant des POP soumis à restrictions

Les choix techniques réalisés pour extraire les déchets plastiques contenant des POP ont des répercussions sur la gestion de déchets plastiques ne contenant pas d'additifs visés par les dispositions du règlement POP.

Lorsqu'une telle séparation est nécessaire, elle est couramment réalisée suite à d'autres étapes de traitement et porte alors sur un mélange de plastiques broyés. Les opérateurs en charge de cette séparation utilisent principalement deux familles de techniques :

- Les **techniques à rayons X**, qui sont en capacité de détecter l'élément brome. En revanche, ces techniques ne permettent pas de différencier les différentes molécules d'additifs bromés.

➲ Ainsi, des plastiques contenant des retardateurs de flamme bromés non soumis à des restrictions / interdictions seront tout de même écartés et donc détournés du recyclage.

- Le **tri densimétrique**, ne détecte par le brome ou les différents additifs bromés mais permet en revanche de séparer des déchets plastiques selon des plages de densité. En pratique, la densité « pivot » pour isoler les plastiques contenant des retardateurs de flamme se situe aux environs de 1,2. Elle peut toutefois varier d'un opérateur à un autre.

➲ Ainsi, la fraction de densité > 1,2 qui concentre les plastiques avec des RFB devant être éliminés selon les exigences du règlement POP, contient également des plastiques ne contenant pas de RFB POP mais dont la densité est au-delà de la densité « pivot » (ex : certains polymères chargés, polymères non chargés tels que le polycarbonate)

On notera que ces techniques peuvent être couplées entre elles (ex : tri densimétrique puis détection rayons X) ainsi qu'à des techniques additionnelles pour séparer les plastiques par nature de polymères en ce qui concerne les plastiques non bromés.

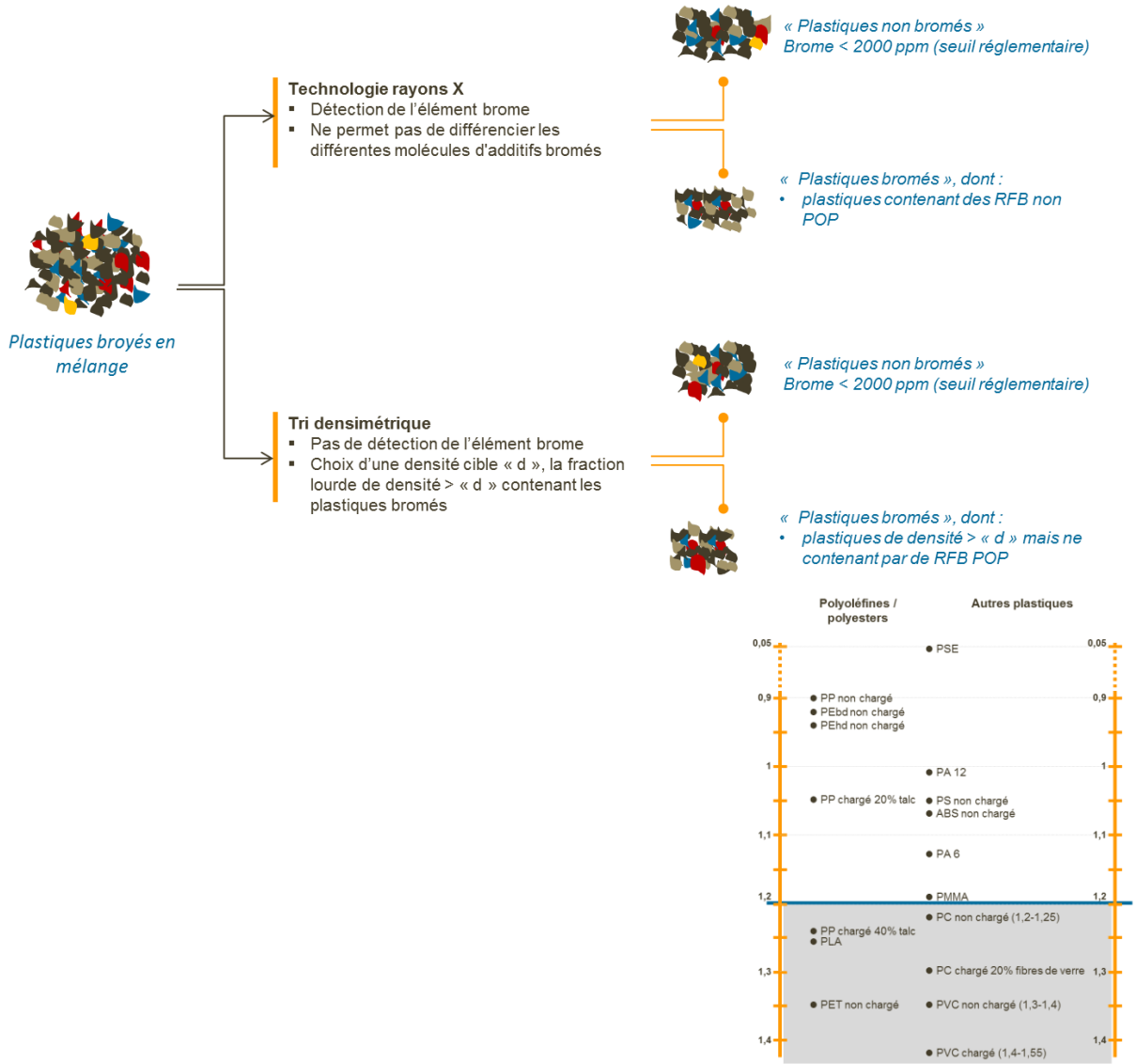


FIGURE 3 – TECHNOLOGIES DE SEPARATION COURAMMENT MISES EN ŒUVRE POUR SEPARER LES DECHETS PLASTIQUES CONTENANT DES RFB POP ET INCIDENCE SUR LE DEVENIR D'AUTRES DECHETS PLASTIQUES. D'APRES TRAVAUX CONDUITS PAR BLEU SAFRAN POUR ESR.

B.1.2.2 Séparation des polymères cibles chez les régénérateurs - Focus sur les changements de densité

Les régénérateurs de plastiques issus de déchets d'emballages, de DEEE ou de VHU, utilisent le tri par densité dans les process de régénération pour cibler et séparer les polymères à recycler.

Dans la filière des emballages ménagers, le tri densimétrique est ainsi largement mis en œuvre chez les régénérateurs recevant les balles de bouteilles et flacons en PEHD/PP et chez ceux traitant les bouteilles et flacons en PET.

Le PET ayant une densité supérieure à 1 et les polyoléfines ayant au contraire une densité inférieure à 1, les paillettes de plastiques sont séparées par flottaison dans l'eau.

Dès lors, des changements de densité peuvent conduire à écarter ces plastiques du flux destiné au recyclage chez les régénérateurs. Ce sera ainsi le cas pour :

- Des polyoléfines chargées ayant une densité supérieure à la limite de flottabilité dans l'eau (densité de 1)
- Des PET expansés ayant une densité inférieure à celle de l'eau.

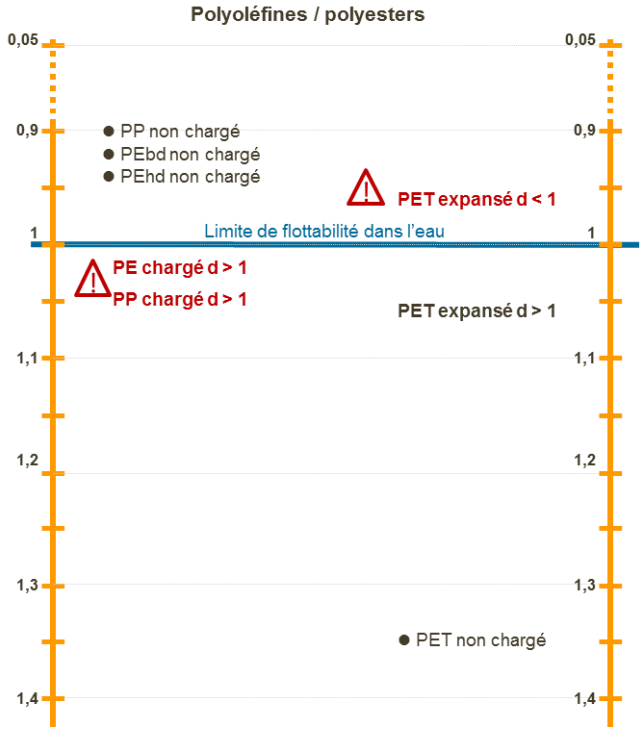


FIGURE 4 – PE, PP ET PET DES EMBALLAGES MENAGERS : UNE RECYCLABILITE AFFECTEE POUR CERTAINS CAS DE CHANGEMENT DE DENSITE. D'APRES COTREP [11]

Chez les régénérateurs recevant des déchets plastiques broyés en mélange issus de DEEE ou de VHU, des étapes successives de tri densimétrique sont communément réalisées afin de :

(i) cibler les polymères économiquement intéressantes pour eux au regard des applications finales envisagées. A notre connaissance, les polymères les plus couramment ciblés pour ce type de flux de déchets sont le PP, le PS, l'ABS et éventuellement l'ABS-PC.

(ii) séparer les différents polymères ciblés entre eux, ceci en appliquant des plages successives de densité

Ainsi, les polymères chargés pourront pour certains :

- Etre orientés vers les refus de tri et donc écartés du recyclage, ou alors,
- Etre extraits dans une plage de densité ciblant un autre polymère, ce qui pourra contraindre les régénérateurs à ajouter des étapes de surtri.

B.1.2.3 Cas des additifs rendant les plastiques non détectables par certaines techniques de séparation

Le tri des polymères entre eux par infrarouge est communément utilisé dans les centres de tri d'emballages ménagers et permet ainsi d'extraire du flux multi-matériaux entrant les emballages en plastiques.

Cette technique est également utilisée dans d'autres filières de fin de vie, et notamment la filière DEEE.

Dans son principe, la spectrométrie proche infrarouge est basée sur l'analyse d'un spectre de réflexion dont la signature révèle la structure des molécules. Cette technique est donc capable de reconnaître les matériaux en les analysant et en les comparant avec les spectres de référence présents dans la base de données.

Or, la **présence de noir de carbone dans un plastique empêche sa détection** et par conséquent son extraction par cette technique. En effet, le noir de carbone absorbe la lumière infrarouge envoyée par l'équipement de tri optique et ne renvoie pas de signal.

B.1.2.4 Cas des additifs pouvant dégrader les propriétés des matières premières recyclées

Il s'agit ici d'attirer l'attention des lecteurs sur le cas des **additifs pouvant conduire à dégrader les propriétés des matières premières recyclées**, voire à perturber des procédés de recyclage existants. Les enjeux sont largement fonction de l'additif et du polymère concerné, des marchés applicatifs des matières premières recyclées et des effets d'échelle.

Un exemple connu dans la filière de fin de vie des emballages ménagers est celui des additifs opacifiants tel que le dioxyde de titane ou le dioxyde de silicium utilisés dans la fabrication de certaines bouteilles en PET.

Toujours dans le domaine des emballages, l'utilisation de certains types de colorants non opacifiants (ex : colorant rouge) peuvent poser des difficultés pour le recyclage du PET foncé dans des applications données (ex : bouteilles).

▼ **Cas des opacifiants du PET dans la filière de gestion des emballages ménagers**

Compte tenu de l'augmentation rapide des tonnages de PET opaque dans le gisement d'emballage depuis 2010, le COTREP a étudié – sur le plan technique – la possibilité de recycler les bouteilles & flacons en PET opaque, en mélange avec celles en PET coloré.

Selon le COTREP **[12]**, les opacifiants ajoutés au PET peuvent perturber les procédés de recyclage du PET coloré en affectant les caractéristiques physico-chimiques - rhéologiques et mécaniques - des produits recyclés.

Dans le cas des débouchés de type fibre, le COTREP avaient conclu à la nécessité de ne pas dépasser un taux d'emballages avec opacifiants de 15% dans le flux entrant en régénération pour maintenir l'intégrité du procédé de recyclage. Au-delà de ce seuil, la proportion trop importante d'opacifiant intégrée à la matière entrainerait des difficultés de processabilité et une chute des propriétés mécaniques des fibres produites.

Pour d'autres applications du PET coloré recyclé (ex : débouchés de type feuille et cerclage), les régénérateurs sont contraints d'écarter du recyclage les emballages à base de PET opaque qui sont alors envoyés dans les refus.

Depuis ces travaux, d'autres actions ont été engagées dans cette filière et sont toujours en cours afin :

- D'identifier de nouveaux débouchés spécifiques aux emballages en PET contenant des opacifiants
- D'étudier des évolutions des procédés de tri, par exemple en envisageant le tri d'un flux spécifique concentrant les emballages en PET opaque par les futurs centres de surtri.

Cet exemple montre ainsi que les effets d'échelle en jeu peuvent conduire à envisager des évolutions notables dans l'organisation du schéma de tri et de recyclage à une échelle nationale.

B.2 AUTRES CRITERES POUVANT CONDITIONNER LA RECYCLABILITE DES PLASTIQUES ET LEUR DEVENIR EN FIN DE VIE

B.2.1 ENJEUX DE COMPATIBILITE ENTRE POLYMERES : CAS ILLUSTRATIFS

Cette section vise à fournir aux lecteurs de ce rapport quelques points de repère sur la question de la compatibilité entre polymères en vue de leur recyclage.

En effet, la gestion en fin de vie des emballages, des équipements électroniques ou encore des VHU étant mutualisée, les flux collectés sont nécessairement multi-matériaux et notamment multi-plastiques.

Par ailleurs, les techniques de tri mises en place tout le long de la chaine du recyclage permettent de séparer les polymères entre eux dans la limite de l'efficacité des technologies disponibles, voir ne permettent pas toujours de séparer entre eux les différents polymères.

Bien que les polymères soient rarement miscibles entre eux, ils peuvent être considérés comme compatibles[3] ou au contraire incompatibles.

Il peut donc être utile de comprendre les enjeux de compatibilité ou d'incompatibilité entres plastiques :

- Pour la conception de produits mettant en œuvre plusieurs polymères (y compris les matériaux barrière utilisés dans la fabrication d'emballages)
- Lors de l'utilisation de nouveaux polymères, afin d'appréhender leur devenir dans la filière de fin de vie concernée : recyclage ou non de ce polymère, possibles perturbations ou non sur les polymères d'ores et déjà recyclés.

Pour le secteur des emballages ménagers, qui met souvent en jeu un élément principal d'emballage (ex : un corps de bouteille) et des éléments associés (ex : étiquette d'une bouteille), ces enjeux sont étudiés et documentés par le COTREP qui rédige alors des avis techniques.

Le tableau ci-après liste pour exemple quelques avis émis par le COTREP, leur thématique ainsi que les points clés à retenir.

Fiche COTREP	Thème	Enseignements clés
Fiche AG 08	Bouteilles et flacons – PET – étiquette PVC	Une étiquette ou manchon en PVC perturbe fortement le recyclage du flux PET (défaut de qualité).
Fiche AG 35	Bouteilles et flacons – PLA – compatibilité avec le PET	En cas de présence de PLA, risque de jaunissement et opacification du PET recyclé. Défauts non acceptables pour les applications bouteilles et feuilles.
Fiche AG 44	Bouteilles et flacons – PET – étiquette et manchon PETg	Risque de défaut de qualité : Le PETG entraîne un jaunissement du flux PET clair au-delà d'une certaine concentration
Fiche AG 48	Bouteilles et flacons – PEHD et PP – Généralités sur l'impact du PP sur le recyclage du PEHD	La proportion de PP dans le flux des bouteilles et flacons en PEHD/PP (env. 6,5%) ne pose pas de problème au niveau des principales applications. En cas d'augmentation significative de ce taux, les applications soufflages pourraient être perturbées.
Fiche AG 52	Bouteilles et flacons – PEHD – barrière EVOH	La présence d'EVOH dans le flux PEHD à un taux estimé < 1% (situation en 2015) ne perturbe pas le recyclage des emballages en PEHD

TABLEAU 3 – FILIERE EMBALLAGES MENAGERS : EXEMPLES DE FICHES COTREP TRAITANT DES ENJEUX DE COMPATIBILITE ENTRE POLYMERES

[3] Un mélange de polymère non miscibles mais compatibles peut permettre d'obtenir une homogénéité satisfaisante des propriétés globales du matériau résultant du mélange.

En savoir plus

Afin d'approfondir ces enjeux, le lecteur pourra notamment prendre connaissance de l'étude suivante :

RECORD, Etat de l'art concernant la compatibilité des matières plastiques, 2001, 169 p, n°00-0904/1A

B.2.2 AUTRES CRITERES DE CONCEPTION

Dans le domaine des emballages et des équipements électriques et électroniques, d'autres choix de conception des produits peuvent conduire à écarter des matériaux plastiques du recyclage ou à affecter la qualité des MPR plastiques.

Il peut par exemple s'agir :

- De **l'association de matériaux différents** par diverses techniques (ex : collage, surmoulage, bi-injection, inserts) ne permettant pas leur séparation à des étapes clés de la chaine de traitement des produits en fin de vie.

  Dans le domaine des emballages, des emballages mixtes plastiques/métal (ex : pots PET avec charnières acier, canettes mixtes alu/plastiques) seront captés par les équipements de tri des métaux (overband, courant de Foucault) et seront ainsi orientés vers les flux de métaux triés en centres de tri (matières plastiques perdues pour le recyclage).

  Cet enjeu doit également être regardé dans le cas des équipements électriques et électroniques.

- Du recours à des **revêtements de surface ou à des traitements de surface** des plastiques rendant leur détection difficile par des techniques de tri optique des plastiques (ex : revêtement avec pigments métalliques conduisant à éjecter le matériau plastique) ou modifiant leur densité.

B.3 POINTS CLES A RETENIR POUR DES TRAVAUX ACV

En fonction des filières de fin de vie et des étapes successives de tri mises en œuvre par les opérateurs de tri et les régénérateurs pour ces filières, les plastiques présents dans les déchets concernés sont susceptibles **d'être écartés des flux destinés au recyclage**, ceci en raison :

- De **leur densité lorsque celle-ci est similaire ou supérieure** à celles de plastiques contenant des additifs soumis à restriction et devant être extraits des flux destinés au recyclage
- D'**arbitrages techniques et économiques** réalisés par les opérateurs de tri et les régénérateurs de plastiques, ces choix conduisant à séparer en vue de leur recyclage certains polymères « cibles » et ne pas cibler d'autres polymères qui ne seront pas recyclés.

  Il convient de souligner que ces arbitrages ne sont pas nécessairement les mêmes d'une filière de fin de vie à une autre et qu'ils peuvent évoluer dans le temps en fonction des conditions économiques, du gisement de produits mis sur le marché, des évolutions techniques des procédés, etc.

- Pour les polymères « cibles », de **changements de densité** dus à l'utilisation de charges ou d'agents d'expansion comparativement à la densité usuelle du polymère
- De **leur couleur** (ex : coloris sombres)
- **D'autres choix de conception** pouvant aboutir à écarter ces matières du recyclage

De plus, certains plastiques non recyclés sont également susceptibles de **perturber le recyclage d'autres plastiques**, en conduisant à complexifier les étapes de tri/affinage voire en dégradant les propriétés des plastiques recyclés du fait de leur présence.

En ce qui concerne les plastiques « cibles », la **correcte identification de la succession des étapes** de traitement et des **efficacités de séparation** de ces plastiques lors des étapes de tri constitue des points clés.

B.4 REFERENCES

[1]	Zampori, L. and Pant, R., *Suggestions for updating the Product Environmental Footprint (PEF) method*, EUR 29682 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019, ISBN 978-92-76- 00654-1, doi:10.2760/424613, JRC115959.
[2]	COTREP. Recyclabilité des emballages en plastique. Eco-concevoir pour mieux recycler. Décembre 2016. 37 p.
[3]	RECOUP. Plastic Packaging - Recyclability By Design 2017. 76 p.
[4]	APR. The APR Design® Guide for Plastics Recyclability. 2018. 74 p.
[5]	CITEO et Bleu Safran. Guide méthodologique de l'outil BEE.V4.1. Mai 2019. 105 p. https://bee.citeo.com/
[6]	PR NF EN « Méthodes générales pour l'évaluation de la recyclabilité et de la valorisabilité des produits liés à l'énergie ».
[7]	Règlement (UE) 2019/1021 du parlement européen et du conseil du 20 juin 2019 concernant les polluants organiques persistants.
[8]	Règlement (UE) 2017/227 de la commission du 9 février 2017 modifiant l'annexe XVII du règlement REACH en ce qui concerne le deca-BDE
[9]	SRP. MPR plastiques et REACH. La réponse des membres du SRP. Mai 2019. 3 p.
[10]	Galloo Plastics. Procédé de séparation sélective de matériaux organiques usagés fragmentés au moyen de suspensions aqueuses denses. Demande de Brevet d'invention FR 03 12031.
[11]	COTREP. La recyclabilité des pots et barquettes. Décembre 2018. 11 p.
[12]	COTREP. Note préliminaire 2. Impact du développement des emballages en PET opaque sur le recyclage des emballages en PET coloré. Décembre 2015. 3 pages.

C. ANALYSES SECTORIELLES

Des analyses sectorielles spécifiques ont été conduites pour les déchets plastiques issus :

- Du secteur des emballages ménagers
- Du secteur des VHU
- Du secteur des DEEE, en traitant le cas des DEEE ménagers relevant des gros équipements (réfrigérateurs, lave-linge, four, etc.) et des petits appareils ménagers.
- Du secteur des emballages industriels et commerciaux dans le cas particulier du PS expansé

Elles sont disponibles en détail dans l'Annexe H

Ces analyses sectorielles visent à effectuer une présentation de l'organisation effective du recyclage des déchets plastiques dans le cadre de ces filières ainsi qu'à mettre en avant les points clefs qui sont à retenir en vue de travaux ACV qui concerneraient ces filières et le recyclage des déchets plastiques dans le cadre de ces filières.

Chacune des analyses sectorielles est traitée selon un même plan type dans lequel on retrouve les aspects suivants :

- Une section introductive sur la filière comportant notamment des aspects réglementaires et opérationnels, un point sur la nature de polymères concernés ainsi que sur les quantités en jeu
- Une section proposant des visions qualitatives de type MFA
- Une section détaillant la gestion des déchets plastiques en vue de leur recyclage étape par étape

Visions qualitatives de type MFA

Ces visions sont matérialisées sous la forme de figures commentées. Chaque figure proposée concerne le cas particulier d'une résine dans un type de produit ou un type de pièce spécifié. Par exemple, pour la filière des emballages ménagers, des visions qualitatives MFA sont proposées pour :

- Des bouteilles et flacons en PET clair
- Des pots et barquettes en PET clair
- Des pots et barquettes en PS
- Des films et souples en PE

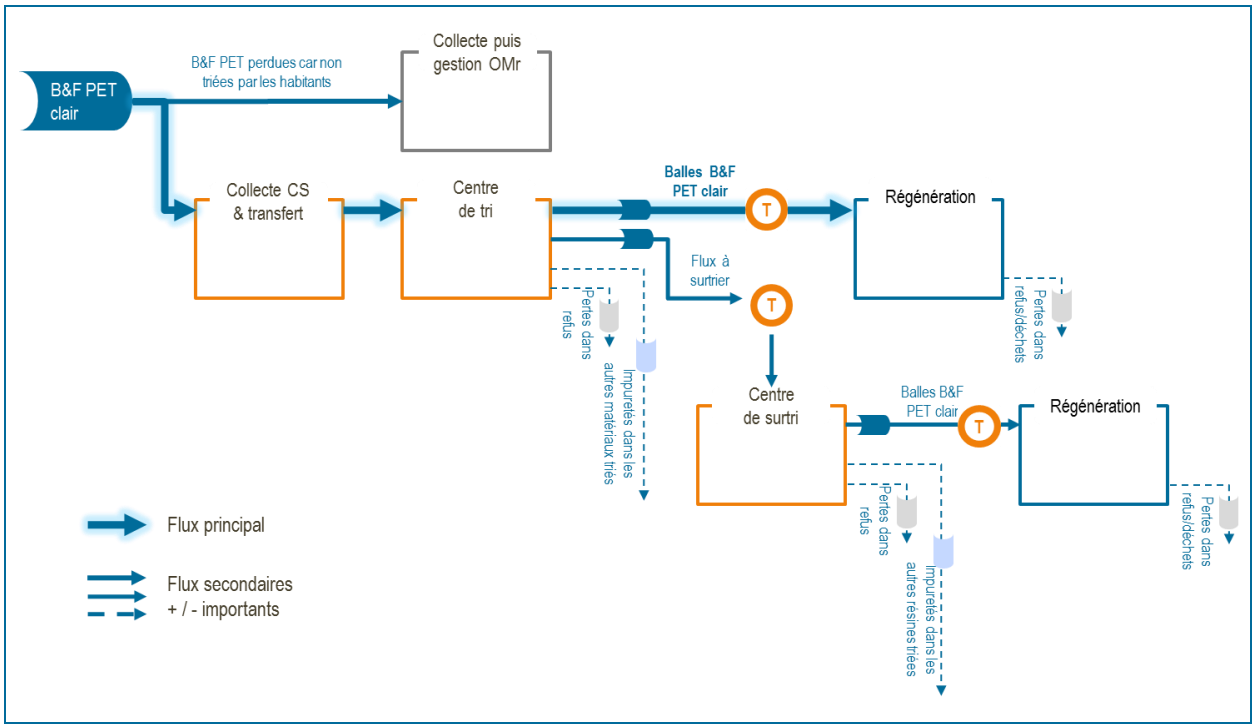


FIGURE 5 : EXEMPLE DE VISION QUALITATIVE MFA – CAS DES BOUTEILLES ET FLACONS EN PET CLAIR

Ces visions permettent de mettre en avant le flux principalement suivi par une catégorie d'emballages plastiques et de le distinguer des flux secondaires, ceux-ci pouvant être d'importance plus ou moins marquée.

Les représentations proposées dans le cadre de ces travaux restent qualitatives et s'appliquent au cas de l'organisation de la gestion des déchets en France. Dans l'objectif d'une évaluation environnementale, ces représentations devraient être quantifiées. Elles sont en effet incontournables pour les raisons suivantes :

- Elles permettent d'identifier les étapes qui seront à prendre en compte dans le périmètre d'évaluation et les tonnages auxquels s'appliquent ces étapes ;
- Elles permettent éventuellement d'identifier les étapes qui pourraient faire l'objet d'approximation ou qui pourraient être négligées (tonnages minimes) ;
- Elles permettent enfin de déterminer l'ensemble des flux susceptibles de correspondre à des pertes de matière.

Les représentations proposées s'appliquent à la gestion en fin de vie à l'échelle de la France pour la période actuelle. Pour un même couple polymère/produit, elles pourraient être différentes :

- Dans un autre pays ;
- En France à une autre période, par exemple dans 10 ans.

Détail par étape de la gestion en vue du recyclage

Ce type de section détaille les différentes étapes de la gestion des déchets plastiques dans la filière concerné depuis l'étape de collecte sélective jusqu'à la régénération.

Chacune des étapes est abordée selon une même structure :

- Un récapitulatif des points clefs ou d'attention en vue d'une évaluation environnementale
- Une figure mettant en lumière la qualité du(des) flux entrant(s), la qualité du(des) flux sortant ainsi que les utilités, consommables, rejets et émissions ; de même, cette figure fait apparaître, de manière schématique, des sous-étapes possibles au sein de l'étape.

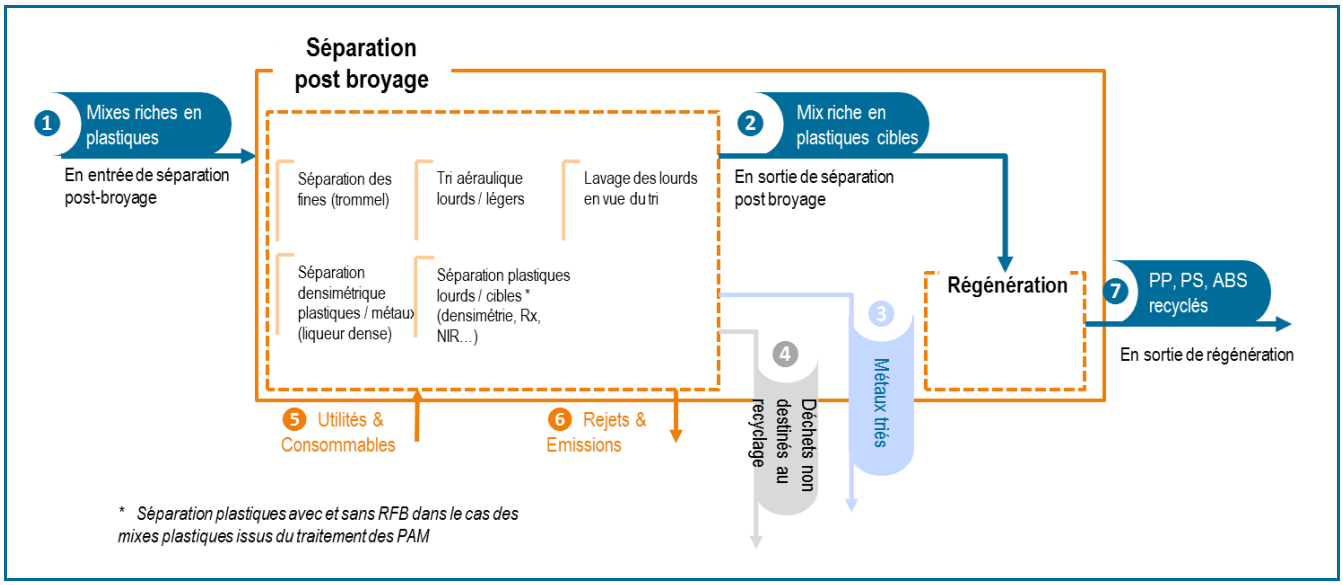


FIGURE 6 : EXEMPLE DE FIGURE SCHEMATIQUE D'UNE ETAPE – CAS DE LA SEPARATION POST-BROYAGE DES MIXES RICHES EN METAUX PLASTIQUES ISSUS DU TRAITEMENT DES DEEE

- Une explication générale de ce en quoi consiste l'étape ;
- Des informations plus détaillées sur :
  - Le(s) flux entrant(s) ;
  - Le(s) flux sortant(s) ;
  - Les utilités et consommables ;
  - Les rejets et les émissions.

Des informations ou données potentiellement utiles dans le cadre d'une évaluation environnementale peuvent être présentées au fil de l'eau. La section dédiée à une étape donnée se conclut par une présentation de la bibliographie potentiellement utile.

D. TAUX DE RECYCLAGE DES PLASTIQUES – QUELQUES POINTS DE REPERE

Le taux de recyclage est un indicateur par lequel on cherche à rendre compte de la proportion d'une catégorie de déchets donnés qui fait l'objet d'un recyclage.

Recyclage

Toute opération de valorisation par laquelle les déchets sont retraités en produits, matières ou substances aux fins de leur fonction initiale ou à d'autres fins. Cela inclut le retraitement des matières organiques, mais n'inclut pas la valorisation énergétique, la conversion pour l'utilisation comme combustible ou pour des opérations de remblayage.

Source : **[1]**

Dans l'exploitation que l'on peut faire de cet indicateur, appliqué à une catégorie de déchets, on oublie souvent que celui-ci repose sur des conventions et qu'il est souvent préférable de bien les connaitre pour faire un usage adéquat des valeurs de cet indicateur. Ces conventions peuvent en outre varier selon les catégories de déchets ainsi que dans le temps.

Cette section vise à exposer quelques singularités relatives au taux de recyclage afin d'appeler à la vigilance, toujours renouvelée, du lecteur s'il est amené à devoir exploiter ces indicateurs. Cette section ne vise pas à faire un recensement exhaustif et commenté de tous les indicateurs de recyclage qui peuvent être publiés, de manière réglementaire ou non, agréée ou non.

D.1 LES DONNEES PUBLIEES PAR EUROSTAT

Eurostat publie de manière annuelle des indicateurs qui peuvent rendre compte de la proportion de certaines catégories de déchets qui sont orientés en recyclage **[2]**. Les indicateurs qui peuvent être mis en lien avec l'évaluation d'un taux de recyclage sont présentés dans le tableau ci-dessous.

La colonne Code du tableau est donné à des fins pratiques : l'adresse web de chaque indicateur est une adresse générique ; aussi le plus pratique pour trouver un indicateur en particulier consiste à chercher Eurostat + Code dans un navigateur.

Intitulé	Code	Commentaires
Taux de recyclage des déchets municipaux	t2020_rt120	Cette table de données (par pays et par année) permet d'accéder directement à la proportion (en %) d'emballages orienté en recyclage. **Elle ne permet pas de cibler sur le cas des plastiques des déchets municipaux.**
Déchets d'emballages par opérations de gestion des déchets et flux des déchets	env_waspac	Cette table de données (par pays et par année) peut être modulée en choisissant une restitution des données en %, spécifique au cas des emballages plastiques et spécifique à la proportion orientée en recyclage.
Taux de recyclage des déchets d'emballage	ten00063	Cette table de données (par pays et par année) permet d'accéder directement à la proportion (en %) d'emballages orientée en recyclage. Elle peut être modulée en choisissant spécifiquement le cas des emballages plastiques.
Véhicules en fin de vie par opérations de gestion des déchets - données détaillées	env_waselv	Cette table de données (par pays et par année) peut être modulée en choisissant une restitution spécifique aux grandes pièces en plastique et à la proportion orientée en recyclage. **Elle autorise un résultat en tonne mais non en %.**
Véhicules en fin de vie - réutilisation, recyclage et récupération, totaux	env_waselvt	Cette table de données (par pays et par année) peut être modulée en choisissant une restitution des données en %, spécifique à la proportion orientée en recyclage. **Elle ne permet pas de ciblage spécifique sur les plastiques**.

Intitulé	Code	Commentaires
Déchets d'équipements électriques et électroniques (WEEE) par opérations de gestion	env_waselee	Cette table de données (par pays et par année) peut être modulée en choisissant une restitution des données en %, spécifique à la proportion orientée en recyclage. Elle peut être modulée par catégories de DEEE mais **ne permet pas de ciblage spécifique sur les plastiques.**
Taux de recyclage des e-déchets	t2020_rt130	Cette table de données (par pays et par année) permet d'accéder directement à la proportion (en %) de DEEE orientée en recyclage. **Elle ne permet pas de ciblage spécifique sur les plastiques**.

On observe que dans le cadre des données Eurostat, seules les données relatives à la gestion des déchets d'emballages permettent de cibler spécifiquement sur la proportion des plastiques orientés en recyclage. Toutefois, il importe de souligner que, même dans le cas des emballages :

- Les données ne permettent pas de différenciation entre résines ;
- Les données ne permettent pas de différenciation entre les types d'emballages tels que les bouteilles et flacons (historiquement les plus recyclés), les autres emballages rigides et les films et souples.

Dans le cas particulier des DEEE le lecteur qui consulterait les deux tables mentionnées (env_waselee d'une part et t2020_rt130 d'autre part) pourra constater que les valeurs portant sur la proportion de DEEE orientée en recyclage sont très différentes entre ces deux tables. Par exemple, dans le cas de l'Allemagne on trouvera, pour l'année 2017, une valeur 85,8 % dans le cas de la table env_waselee alors que la valeur est de 38,7 % pour la table t2020_rt130 ; ceci s'explique très aisément par le fait que la seconde table intègre le taux de collecte dans les calculs, ce qui n'est pas le cas de la première table : l'indicateur Taux de recyclage des e-déchets (table t2020_rt130) est calculé en multipliant le « taux de collecte » tel qu'énoncé dans la Directive Déchets d'Équipements Électroniques et Électriques (DEEE) par le « taux de réutilisation et de recyclage » tel qu'énoncé dans la Directive DEEE, où :

- Le « taux de collecte » est égal aux volumes de DEEE collectés lors de l'année de référence divisés par la quantité moyenne des équipements électriques et électroniques (EEE) mis sur le marché au cours des trois années précédentes (tous deux exprimés en unité de masse).
- Le « taux de réutilisation et de recyclage » est calculé en divisant le poids des DEEE qui entrent dans le centre de recyclage/préparation pour être réutilisés ou recyclés par le poids total des DEEE collectés séparément (tous deux en unité de masse), conformément à l'Article 11(2) de la Directive 2012/19/UE sur les DEEE, considérant que la quantité totale des DEEE collectés est envoyée aux installations de traitement/recyclage.

D.2 OBSERVATIONS CRITIQUES DES DONNEES ACTUELLEMENT PUBLIEES PAR EUROSTAT

En 2014, la FNADE a communiqué sur les principaux résultats d'une étude qu'elle a fait réaliser par le BIPRO sur les statistiques européennes portant sur le recyclage et la valorisation des déchets **[3]** ; la question centrale examinée par les travaux portant sur la comparabilité des chiffres tels que calculés par les différents pays et remontés en vue d'alimenter le site d'Eurostat.

L'étude concluait sur la nécessité de procéder à une harmonisation rigoureuse des méthodes de calcul et de reporting afin que les données puissent être comparables d'un pays à l'autre.

Les travaux de la Fnade pointaient notamment des pratiques différentes (donc des biais de comparaison) relatives à :

- La comptabilisation des flux de déchets qui sont importés depuis un autre pays pour être recyclés (ou valorisés) dans le pays déclarant ;
- La comptabilisation des flux de déchets qui sont exportés depuis le pays déclarant pour être recyclés (ou valorisés) dans un autre pays tiers ou dans un pays hors zone euro ;
- Le point de mesure des tonnages considérés comme recyclés (valorisés) par rapport aux centres de pré-traitement (par exemple par rapport à un centre de tri des déchets d'emballages) : certains pays comptabilisent les tonnages en entrée de pré-traitement alors que d'autres pays comptabilisent en sortie de pré-traitement ; les volumes considérés comme orientés en recyclage sont surévalués dans le premier car du fait de la proportion de refus, justement écartés en pré-

traitement, qui sont alors comptabilisés dans les tonnages recyclés (il est à noter que cette pratique était en vigueur en Allemagne).

- La déclaration du mode de traitement d'un site multi-installations (par exemple, installation de valorisation énergétique et installation de compostage sur le même site) : certains pays comptabilisent en affectant chaque quantité au mode traitement qui correspond à chaque type d'installation ; d'autres pays comptabilisent en affectant l'intégralité au mode de traitement de l'installation dominante.

Dans son numéro 157 de Mars 2019 **[12]**, Déchets Infos relayait cette problématique de biais dans les statistiques européennes en matière de gestion et traitement des déchets. L'article pointe notamment le fait que les statistiques relatives à l'Allemagne se trouveraient surestimer en comparaison des statistiques de la France du fait des modes de comptabilisation respectif des deux pays. Il évoque également des simulations qui étaient en cours afin d'apprécier l'évolution que pourrait connaître les valeurs du taux de recyclage des déchets municipaux de l'Allemagne du fait de nouvelles règles plus harmonisées (cf. infra § D.3) : ainsi, d'après les simulations relayées par cet article, le taux de valorisation matière à venir de l'Allemagne varierait entre 34 % et 52 % selon les méthodes retenues, pour un taux de valorisation matière revendiquée à 67 % en 2015.

D.3 L'EVOLUTION EN COURS DE STATISTIQUES EUROPEENNES : VERS UNE MEILLEURE HARMONISATION DES DONNEES

La nouvelle directive cadre sur les déchets **[4]** vise une meilleure harmonisation des statistiques européennes relatives au recyclage et à la valorisation des déchets. Elle impose de nouvelles règles pour le calcul des taux de valorisation matière (recyclage et compostage). Le considérant (46) expose notamment :

Afin de garantir la fiabilité des données, il importe de définir des règles plus précises sur la manière dont les États membres devraient déclarer ce qui est effectivement recyclé et préparé en vue du réemploi et peut être pris en compte pour la réalisation des objectifs. Le calcul des objectifs de recyclage devrait être fondé sur le poids des déchets municipaux entrant dans l'opération de recyclage. […] Les pertes en poids de matières ou de substances qui résultent des transformations physiques ou chimiques inhérentes à l'opération de recyclage au cours de laquelle les déchets sont effectivement retraités en produits, matières ou substances ne devraient pas être déduites du poids des déchets déclarés comme ayant été recyclés.

Ce même texte **[4]** introduit un nouvel article (11 bis) portant sur les règles applicables au calcul visant à évaluer la réalisation des objectifs en termes de taux de recyclage et taux de valorisation. L'alinéa 9 de cet article précise également que des actes d'exécution établissant des règles concernant le calcul, la vérification et la communication sont pris au plus tard le 31 mars 2019 ; l'alinéa 10 précise quant à lui que la Commission adopte un acte délégué en établissant des règles concernant le calcul, la vérification et la communication du poids des matières ou des substances qui sont retirées à l'issue d'une opération de tri et qui ne sont pas recyclées par la suite, sur la base des taux moyens de perte pour les déchets triés.

A date et sauf erreur de notre part, quatre décisions d'exécution ont été prises en application de l'alinéa 9 de l'article 11 bis de la nouvelle directive déchets :

- La première décision d'exécution s'applique au cas des déchets **[5]** ;
- La deuxième décision d'exécution s'applique au cas des déchets municipaux **[6]** ;
- La troisième décision d'exécution s'applique au cas des déchets d'emballages **[7]** ;
- La quatrième décision d'exécution s'applique au cas des DEEE **[8]**.

L'acte délégué en application de l'alinéa 10 de l'article 11 bis concernant le calcul, la vérification et la communication du poids des matières retirées à l'issue d'une opération de tri et qui ne sont pas recyclées par la suite ne semble pas encore avoir été publié.

Déchets municipaux

a) les déchets en mélange et les déchets collectés séparément provenant des ménages, y compris le papier et le carton, le verre, les métaux, les matières plastiques, les biodéchets, le bois, les textiles, les emballages, les déchets d'équipements électriques et électroniques, les déchets de piles et d'accumulateurs, ainsi que les déchets encombrants, y compris les matelas et les meubles;

b) les déchets en mélange et les déchets collectés séparément provenant d'autres sources lorsque ces déchets sont similaires par leur nature et leur composition aux déchets provenant des ménages;

Les déchets municipaux n'incluent pas les déchets provenant de la production, de l'agriculture, de la sylviculture, de la pêche, des fosses septiques et des réseaux d'égouts et des stations d'épuration, y

compris les boues d'épuration, les véhicules hors d'usage ou les déchets de construction et de démolition.

Cette définition est sans préjudice de la répartition des compétences en matière de gestion des déchets entre les acteurs publics et privés.

Source : **[1]**

D'après notre compréhension, la décision d'exécution **[5]** semble régler les principales sources possibles de biais qui étaient pointées dans l'étude 2014 de la FNADE **[3]**[4]. Elle statue notamment sur la question de la prise en compte des déchets importés / exportés ainsi que le point de calcul qui doit être considéré, celui-ci répondant à une définition différente du point de mesure :

- **Point de calcul** : le point où les déchets municipaux entrent dans l'opération de recyclage au cours de laquelle ils sont retraités en produits, matières ou substances qui ne sont pas des déchets, ou le point où les déchets cessent d'être des déchets à l'issue d'une opération de préparation préalable au retraitement.
- **Point de mesure** : le point où la masse des déchets est mesurée en vue de déterminer la quantité de déchets au point de calcul.

Il n'y a pas nécessairement coïncidence entre le point de mesure et le point de calcul, d'où l'importance de l'acte délégué prévu dans l'alinéa 10 de l'article 11 bis de la nouvelle directive déchets.

L'annexe I de cette décision d'exécution définit les points de calcul qui sont à considérer pour comptabiliser les quantités de déchets recyclés. Cette annexe est déclinée par matériaux ; dans le cas **des plastiques, le point de mesure** correspond à l'état :

- **Plastiques triés par polymères,** ne faisant pas l'objet d'un traitement supplémentaire avant d'être soumis à des opérations de pelletisation, d'extrusion ou de moulage.
- **Paillettes de plastique** ne faisant pas l'objet d'un traitement supplémentaire avant leur utilisation dans un produit final.

Dans le cas des métaux le point de calcul se situe à l'entrée d'une fonderie ou d'un four ; dans le cas du verre, il s'agit du point d'entrée en four verrier ; dans le cas des papiers-cartons, il s'agit de l'entrée dans le pulpeur.

Il est à noter que la lecture du point de mesure tel que précisé dans le cas des plastiques laisserait plutôt penser que le point de mesure se situe après les étapes de tri, lavage et broyage que l'on trouve couramment comme premières étapes de régénération. Toutefois, le texte (alinéa 4 de l'article 3) semble dire par ailleurs que les déchets générés lors d'une opération de recyclage sont déduits de la quantité de déchets recyclés si les déchets entrant dans cette installation de recyclage n'ont pas fait l'objet d'un traitement préliminaire (ce qui ne serait par exemple pas le cas pour des déchets d'emballages plastiques qui ont d'ores et déjà fait l'objet d'un tri en centre de tri).

L'interprétation du point de mesure des déchets plastiques recyclés mériterait d'être confirmée avec l'ADEME.

D.4 AUTRES CONVENTIONS INTERVENANT DANS LE CALCUL D'UN TAUX DE RECYCLAGE – ILLUSTRATION AVEC LE CAS DES EMBALLAGES PLASTIQUES

Depuis deux ans, l'ADEME publie un rapport destiné à la Commission Européenne sur la valorisation des emballages en France **[10]** et **[11]** ; ces données sont calculées en application de la Directive 94/62/CE modifiée relative aux emballages et aux déchets d'emballages.

Ce rapport détaille la procédure et les principales sources de données exploitées pour le calcul du taux de recyclage des emballages pour le cas de la France en distinguant les emballages par matériaux (emballage verre, emballage acier, emballage aluminium…). Le périmètre couvert est celui des emballages ménagers, industriels et commerciaux.

[4] Outre les points évoqués dans le corps du texte, la décision d'exécution **[5]** règle d'autres aspects importants qui ne concernent pas le cas des déchets plastiques ; elle précise la manière dont doivent être comptabilisés les tonnages de métaux ferreux et non ferreux récupérés sur mâchefers d'incinération et destinés au recyclage. Sur cette question particulière, le lecteur pourra se reporter à la Note Taux Technique de Recyclage publiée et actualisée depuis plusieurs années par Citeo et l'Ademe et dans laquelle, la question du taux de recyclage des emballages acier et aluminium est traitée dans l'esprit de ce qui est dorénavant attendu au niveau européen **[9]**.

L'objectif de cette section n'est pas de rapporter de manière détaillée la procédure de calcul et les données exploitées dans le rapport de l'ADEME mais de porter à l'attention du lecteur certaines conventions intervenant dans le calcul d'un taux de recyclage relatif aux emballages, en l'occurrence celui des emballages plastiques.

Il est à noter que le rapport ne calcule pas le taux de recyclage des emballages à proprement parler mais établit les quantités nécessaires à ce calcul et notamment :

1) La quantité de déchets d'emballages produits
2) La quantité de déchets d'emballages recyclés en France ou dans un autre pays.

Le taux de recyclage tel que publié par Eurostat (table ten00063) correspondant au rapport entre ces deux grandeurs.

Matériau	Déchets emballages produits	Valorisé ou incinéré dans des installations d'incinération avec valorisation énergétique par						
		Recyclage des matériaux	Autres formes de recyclage	Recyclage total	Valorisation énergétique	Autres formes de valorisation	Incinération dans des installations d'incinération avec valorisation énergétique	Total valorisation et incinération dans des incinérateurs de déchets avec valorisation énergétique
	Tonnes	*Tonnes*	*Tonnes*	*Tonnes*	*Tonnes*	*Tonnes*	*Tonnes*	*Tonnes*
	(a)	*(b)*	*(c)*	*(d)*	*(e)*	*(f)*	*(g)*	*(h)*
VERRE	2 731 016	2 127 885	0	2 127 885	0	0	0	2 127 885
PLASTIQUES	2 328 662	616 205	0	616 205	0	0	1 008 150	1 624355

TABLEAU 4 – EXTRAIT QUANTITES DE DECHETS D'EMBALLAGES PRODUITS DANS L'ÉTAT MEMBRE ET VALORISEES OU INCINEREES DANS DES INSTALLATIONS D'INCINERATION DE DECHETS AVEC VALORISATION ENERGETIQUE A L'INTERIEUR OU A L'EXTERIEUR DE L'ÉTAT MEMBRE [11, P. 5]

Conventions associées à la notion d'emballages relevant d'une catégorie de matériau donnée

Comme la très grande majorité des produits, les emballages sont des produits complexes. A ce titre, ils sont rarement mono-matériau ; ils comportent dans la majorité des cas des éléments associés constitués d'un autre matériau que le matériau principal (ex : une étiquette papier sur une bouteille PET ou un bouchon plastique sur une brique complexe) ; ils peuvent également être, pour tout ou partie, constitués de matériau composite (ex : brique complexe papier-carton ou emballage plastique multicouche de type doypack).

En d'autres termes, les emballages plastiques ne sont pas exclusivement composés de plastique et les emballages principalement constitués d'autres matériaux (papier-carton, verre, acier, aluminium) peuvent comporter des éléments constitués pour tout ou partie de plastique.

Aussi, dès lors que l'on cherche à quantifier le taux de recyclage des emballages plastiques, cette réalité conduit à devoir fixer des conventions permettant de déterminer ce qui doit être pris en compte dans ce qu'on désigne comme étant « les emballages plastiques ». Il s'agit plus particulièrement de fixer les conventions de comptage :

- des éléments constitués d'autres matériaux que plastiques (ou pas exclusivement constitués) qui sont associés aux emballages plastiques ;
- des éléments plastiques qui peuvent être associés à des emballages constitués d'autres matériaux que les emballages en plastiques ;
- des emballages composites qui contiennent des plastiques.

Ces conventions sont énoncées en début du document ADEME **[11, p. 15]** et sont rappelées ci-dessous.

Conventions d'affectation des composites et des éléments d'emballages d'une autre filière matériau

La comptabilisation des flux d'emballages intègre également les emballages composites (par exemple, les briques alimentaires) et les éléments d'emballages provenant d'autres filières de matériaux que celles du matériau principal étudié (par exemple étiquettes en papier sur les bouteilles en verre).

Pour les composites, le tonnage total de l'emballage est affecté au matériau dominant en poids (papiers-cartons dans le cas des briques alimentaires).

Pour les éléments d'emballages d'une autre filière de matériaux que celle du matériau principal étudié, le critère déterminant choisi est celui de la séparation nécessaire de ces éléments pour permettre l'acte de consommation.

> Les éléments « non séparables » (dont la séparation n'est pas nécessaire lors de l'acte de consommation) sont affectés à la filière du matériau dominant en poids (par exemple, le tonnage des étiquettes est additionné à celui du verre proprement dit).
>
> Les bouchages (séparables) par contre sont affectés à leurs matériaux constitutifs.

La même logique est adoptée lors de la comptabilisation des tonnages valorisés ou recyclés. Les éléments non séparables et les composites sont considérés comme étant du matériau dominant. Si pour un mode de valorisation ou d'élimination, le matériau dominant ne doit pas être comptabilisé, les éléments non séparables et les composites associés ne doivent pas non plus être pris en compte pour ce mode (par exemple, des bouteilles en verre entrant en incinération avec valorisation énergétique ne sont pas comptées comme des déchets faisant l'objet de valorisation énergétique ; les étiquettes papier associées à ces bouteilles en verre ne doivent pas non plus être comptées comme faisant l'objet d'une valorisation énergétique).

Source : [11, p.15]

Dans le cas des emballages plastiques, **la mise en œuvre de ces règles d'affectation conduit à comptabiliser dans les emballages plastiques** mis sur le marché en France (2 328 662 t pour 2017) :

- **Des éléments d'emballages en autres matériaux** (non dominants) produits en France ou importés : ceci correspond pour l'année 2017 à 40 550 tonnes, cette quantité se répartissant entre des étiquettes (18 550 t) et de l'aluminium souple minoritaire (22 000 tonnes).
- **Des éléments de bouchage en plastique destinés à des emballages constitués d'autres matériaux dominants** (par exemple des bouchons plastiques destinés à des emballages complexes papiers-cartons) ; cela implique qu'une partie des 217 901 tonnes des bouchages qui sont quantifiés pour 2017 correspond à des éléments de bouchage destinés à d'autres emballages que les emballages plastiques ; la quantité précisément concernée n'est pas donnée dans le rapport.

	Emballages pleins conditionnés et mis sur le marché en France
Valeur en tonnes	2 328 662
Types d'emballages	
Sacs, sachets, pochettes en PE	416 671
Sacs, sachets, pochettes en PVC	1 085
Autres sacs, sachets, pochettes	56 746
Boîtes, caisses, casiers	208 440
Bonbonnes, bouteilles, flacons <=2l	433 173
Bonbonnes, bouteilles, flacons >2l	249 498
Bouchage et surbouchage	217 901
Autres bouchons, couvercles	0
Articles de transport en matières plastiques (filets extrudés + autres articles)	159 600
Production intégrée	235 000
Films plastiques	310 000
Eléments d'emballage en autres matériaux	40 550

TABLEAU 5 – EMBALLAGES CONDITIONNES ET MIS SUR LE MARCHE EN FRANCE EN 2017 EN T [11, P. 72]

A la lumière du rappel de ces conventions de comptage, nous attirons par ailleurs l'attention du lecteur sur le fait que **le taux de recyclage des déchets emballages plastiques est un indicateur différent du taux de recyclage des plastiques dans les déchets d'emballages** :

- Le premier nécessite de définir et quantifier ce qui est ou non considéré comme emballages plastiques (déchets d'emballages plastiques) ainsi que la quantité de ces emballages faisant l'objet d'un recyclage ; on observe que d'autres matériaux que les plastiques peuvent ainsi intervenir au numérateur et au dénominateur de ce calcul.
- Le second demanderait de quantifier la quantité de plastique dans les emballages (déchets d'emballages) ainsi que la quantité de plastique de ces emballages qui fait l'objet d'un recyclage ; dans ce cas, tous les plastiques des emballages, qu'ils soient des emballages plastiques ou autres, mais seulement les plastiques devraient intervenir au numérateur et au dénominateur de ce calcul.

Considérations sur le taux d'humidité/impureté des déchets d'emballages

Le taux d'humidité/impuretés qui qualifie les déchets d'emballages considérés orientés en recyclage doit être documenté dans les données qui sont transmises à Eurostat.

Dans le cas de déchets d'emballages plastiques orienté en recyclage ; ce taux d'humidité/impuretés est de 12 % **[11, p. 73]**:

- 10 % d'humidité, celle-ci correspondant à l'humidité moyenne des emballages plastiques collectés sélectivement ;
- 2 % d'impuretés, celles-ci correspondant au maximum d'indésirables autres que le flux principal (ex : autres emballages plastiques que celui visé, emballages d'un autres matériau que celui visé…) du standard appliqué pour la reprise des balles de déchets plastiques (cf. par exemple [13]).

Il est à noter que le taux d'humidité/impuretés est spécifique à chaque type d'emballages mais qu'il peut également varier, pour un type d'emballage donné, en fonction de la collecte, voire s'il s'agit d'un déchet d'emballage d'origine ménager ou industriel ; par exemple, le taux d'humidité/impuretés considéré est de 2 % sur les emballages en verre et de 20 % sur les emballages en aluminium.

Il est à noter que les quantités de déchets d'emballages considérées comme orientées en recyclage ne sont pas, sauf situations exceptionnelles, corrigées de ces valeurs « naturelles » d'humidité et impuretés. Ceci est conforme aux exigences des règles de comptabilisation européenne.

Concernant le sujet de l'humidité, l'article 5 paragraphe 1 de la Décision de la Commission de 2005 **[14]** énonce en effet :

> « Le poids des déchets d'emballages valorisés ou recyclés est mesuré en utilisant un taux d'humidité naturelle des déchets d'emballages comparable à celui des emballages équivalents mis sur le marché.
>
> Les données mesurées concernant le poids des déchets d'emballages valorisés ou recyclés sont corrigées si le taux d'humidité de ces déchets d'emballages diffère régulièrement et substantiellement de celui des emballages mis sur la marché et si cela risque d'entraîner des surestimations ou des sous-estimations importantes des taux de valorisation ou de recyclage des emballages.
>
> Ces corrections sont limitées à des cas exceptionnels résultant de conditions climatiques particulières ou d'autres facteurs particuliers. »

Concernant le sujet des impuretés, l'article 5 paragraphe 1 de la Décision de la Commission de 2005 **[14]** précise :

> « Les matériaux qui ne sont pas des matériaux d'emballage et qui sont collectés avec les déchets d'emballages ne sont pas compris, dans la mesure du possible, dans le poids des déchets d'emballages valorisés ou recyclés.
>
> Les données concernant le poids des déchets d'emballages valorisés ou recyclés sont corrigées si la présence de matériaux qui ne sont pas des matériaux d'emballage dans les déchets expédiés vers un procédé efficace de valorisation ou de recyclage risque d'entraîner des surestimations ou des sous-estimations importantes des taux de valorisation ou de recyclage des emballages.
>
> Aucune correction n'est faite dans le cas de petites quantités de matériaux qui ne sont pas des matériaux d'emballage, ou pour les contaminations que l'on trouve régulièrement dans les déchets d'emballage.

Les corrections importantes sont signalées dans les descriptions relatives à la compilation des données, prévues à l'article 7, quatrième alinéa. »

La manière de considérer ces deux aspects que sont l'humidité et les impuretés, n'évolue pas sur le fond avec la Décision de 2019 **[7]**.

A la lumière de cette considération, nous attirons ainsi l'attention du lecteur sur le fait que le calcul du taux de recyclage des emballages, tel qu'attendu dans les statistiques européennes, consiste à rapprocher un numérateur correspondant à une quantité de déchets brute, c'est-à-dire dont la quantification intègre l'humidité et les impuretés et un dénominateur correspondant à une quantité d'emballages mis sur le marché, en d'autres termes une quantité normalement exempte d'impuretés et d'humidité, ou pour le moins dont l'humidité « naturelle » est largement plus faible que celle des déchets.

D.5 LA PRISE EN COMPTE DU TAUX DE RECYCLAGE DANS PEF

Dans le cadre d'une application suivant le référentiel européen PEF, la CFF (Circular Footprint Formula) doit être mise en œuvre pour la modélisation de la gestion en fin de vie d'un produit.

La CFF exploite un paramètre R2, désigné comme étant un taux de recyclage en sortie (*Recycling output rate*), celui-ci est défini comme « *la proportion de la matière du produit qui sera recyclée (ou réutilisée) dans un système ultérieur. R2 doit donc tenir compte des inefficacités dans les processus de collecte et de recyclage (ou de réutilisation). R2 doit être mesuré à la sortie de l'usine de recyclage.* » **[15, p. 65]**.

Données actuellement fixées dans le cadre de l'annexe C

L'annexe C associée à la CFF **[16]** fixe un certain nombre de valeurs pour le taux de recyclage R2[5] :

- Par type de matériau ;
- Par catégorie de produits ;
- Par zone géographique.

Le tableau ci-dessous est une extraction de l'annexe C associée à la CFF pour le cas des plastiques PET, PE, PP, PS, PSE ainsi que des valeurs génériques pour les plastiques. D'autres résines sont mentionnées dans ce tableau mais ne sont pas reprises ici car en dehors du périmètre de ces travaux réalisés pour Score LCA.

		EU* : Europe (post consumer)	DE:Germany	FR:France	Source des valeurs de R2
PET	MATERIAL	0	-	-	
	packaging - bottle	0.42	0.68	0.39	PETcore - Packaging Working Group
PE	MATERIAL	0	-	-	
	building - water supply pipes	0	-	-	PEFCR
	PE-LD building and construction	0.275	-	-	Plasticseurope
	PE-HD building and construction	0.225	-	-	Plasticseurope
PP	MATERIAL	0	-	-	
	building and construction	0.183	-	-	Plasticseurope
PS	MATERIAL	0	-	-	
	building and construction	0.067	-	-	Plasticseurope
EPS	building and construction	0.067	-	-	PlasticsEurope - Packaging Working Group
Generic plastics	packaging - generic	0.29	0.35	0.19	

TABLEAU 6 - VALEURS DE R2 FIXEES PAR L'ANNEXE C DE LA CFF POUR LE PET, LE PE, LE PP, LE PS/PSE ET LES PLASTIQUES DE MANIERE GENERIQUE [16]

Concernant la nature des valeurs proposées dans le cadre de ce tableau, on note que les emballages font l'objet d'une ligne spécifique dans le cas du PET et dans le cas des plastiques de manière générale ; en revanche, on relève le fait qu'ils sont absents du PE, du PP, du PS et du PSE alors que ces quatre résines sont très présentes dans le domaine des emballages.

Concernant les valeurs à proprement parler, on peut constater que, dans le cas générique des plastiques d' emballages, les données restituées dans cette annexe sont différentes de celles qui sont rapportées par Eurostat (Cf. Tableau 7) et elles leurs sont inférieures.

[5] L'annexe C fixe également certaines valeurs pour R1, A ainsi que les ratios Qs/Qp.

Tableau | Courbes | Histogramme | Carte

TIME / GEO	2015	2016	2017
Union européenne - 27 pays (à partir de 2020)	40	42	41.2
Union européenne - 28 pays (2013-2020)	39.9	42.4	41.9
Allemagne (jusqu'en 1990, ancien territoire de la RFA)	47.4	48.4	48
France	25.5	25.8	26.5

TABLEAU 7 – TAUX DE RECYCLAGE DES EMBALLAGES PLASTIQUES POUR LA ZONE EURO, L'ALLEMAGNE ET LA FRANCE (CEI_WM020, [2])

Des éléments d'explication et de traçabilité additionnelle sont apportés par le rapport du JRC Comparative Life Cycle Assessment (LCA) of Alternative Feedstock for Plastics Production [16, Annexe D pp. 218-219].

En effet, l'annexe D de ce rapport précise l'origine des données pour différentes catégories d'emballages. Dans le cas des emballages PET, cette annexe rapporte que les quantités d'emballages PET recyclés ;

- Datent de 2014 et ont été produites par PETCORE ;
- Ont d'abord été établies au point de mesure ❷ du schéma de gestion jusqu'en sortie de recyclage, celui-ci correspondant aux quantités collectées de manière sélective (avant passage en centre de tri) ;
- Ont ensuite été transformées ; il est par ailleurs précisé en note de bas de page sur ces facteurs correctifs : « *Les facteurs de correction proposés sont spécifiques au secteur et doivent être utilisés pour corriger la moyenne européenne et les taux de recyclage spécifiques à chaque pays. Il est reconnu qu'il s'agit d'une simplification car la correction qui devrait être appliquée dépend des installations et de l'organisation en place.* ».

Dans le cas des emballages plastiques, l'annexe D rapporte que les quantités d'emballages plastiques recyclées :

- Sont issues d'un rapport commandité par PRE[6] datant de 2015 et portant sur des données 2012.
- Ont été établies au point ❽ du schéma de gestion jusqu'en sortie de recyclage, celui-ci correspondant aux quantités de déchets d'emballages plastiques entrant en régénération ;
- Ont ensuite été transformées en « taux de recyclage en sortie » ❿ en appliquant également un facteur correctif de 73 %, c'est-à-dire une valeur équivalente au facteur correctif appliqué dans le cas des emballages PET pour passer du point du point de mesure ❷ au point de calcul ❿.

Le lecteur pourra également observer que, dans le cas des emballages plastiques, l'application d'un facteur correctif de 73 % aux valeurs de 2015 diffusées par Eurostat donne, pour l'Europe, l'Allemagne et la France[7], les valeurs qui sont considérées dans l'Annexe C de la CFF.

[6] PRE. Increased EU Plastics Recycling Targets: Environmental, Economic and Social Impact Assessment. 2015.

[7] Nous n'avons pas cherché à vérifier cet état de fait pour les autres pays.

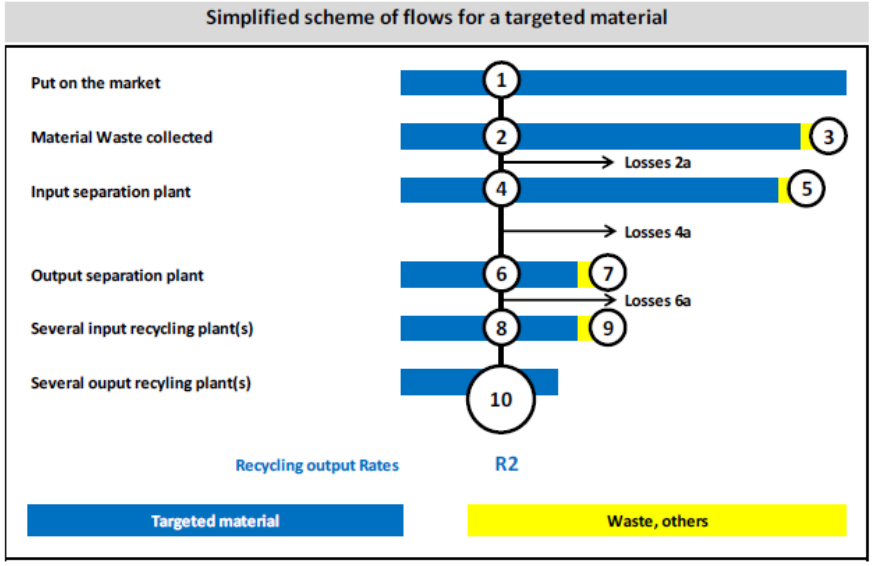


FIGURE 7 - REPRESENTATION SCHEMATIQUE DE LA GESTION D'UNE MATIERE CIBLEE DEPUIS LA COLLECTE JUSQU'EN SORTIE DE RECYCLAGE [17, P. 104]

Prise en compte de la recyclabilité

Dans le cadre d'une application PEF et donc dans le cadre de la mise en œuvre de la CFF pour modéliser la gestion en fin de vie d'un produit, le taux de recyclage R2 doit par ailleurs être modulé par une appréciation de la recyclabilité, celle-ci reposant sur trois critères qui peuvent se résumer à :

1) **L'existence d'une filière organisée de collecte pour les produits/matériaux concernés ;**
2) **L'existence d'une activité industrielle de recyclage pour les produits/matériaux concernés ;**
3) **La capacité à apporter la preuve que les produits/matériaux concernés sont effectivement recyclés ; concernant cet aspect spécifique, les guides d'évaluation de la recyclabilité qui peuvent exister dans certains secteurs doivent être pris en compte.**

Si l'un de ces critères n'est pas respecté alors le taux de recyclage à considérer est de **0 %**.

On lit en effet **[15, p. 72]** :

« The product design and composition will determine if the material in the specific product is actually suitable for recycling. Therefore, before selecting the appropriate R2 value, an evaluation of the recyclability of the material shall be made and the PEF study shall include a statement on the recyclability of the materials/ product »

The statement on recyclability shall be provided together with an evaluation for recyclability that includes evidence for the following three criteria :

1) The collection, sorting and delivery systems to transfer the materials from the source to the recycling facility are conveniently available to a reasonable proportion of the purchasers, potential purchasers and users of the product;
2) The recycling facilities are available to accommodate the collected materials;
3) Evidence is available that the product for which recyclability is claimed is being collected and recycled. For PET bottles the EPBP guidelines should be used (https://www.epbp.org/design-guidelines), while for generic plastics the recyclability by design should be used (www.recoup.org).

If one criterion is not fulfilled, or the sector-specific recyclability guidelines indicate limited recyclability, an R2 value of 0% shall be applied. Point 1 and 3 may be proven by recycling statistics (country specific) derived from industry associations or national bodies. Approximation to evidence at point 3 may be provided by applying for example the design for recyclability evaluation outlined in EN 13430 Material recycling (Annexes A and B) or other sector-specific recyclability guidelines if available.

D.6 REFERENCES

[1]	Directive 2008/98/CE du Parlement européen et du Conseil du 19 novembre 2008 relative aux déchets. Article 3.
[2]	EUROSTAT : https://ec.europa.eu/eurostat/fr/data/database? (consulté le 19/06/20)
[3]	FNADE. Voir plus clair dans les statistiques européennes de recyclage et de valorisation des déchets. 2014. 7 p.
[4]	Directive (UE) 2018/851 du Parlement européen et du Conseil du 30 mai 2018 modifiant la directive 2008/98/CE relative aux déchets.
[5]	Décision d'exécution (UE) 2019/1004 de la Commission du 7 juin 2019 établissant les règles concernant le calcul, la vérification et la communication des données relatives aux déchets conformément à la directive 2008/98/CE du Parlement européen et du Conseil et abrogeant la décision d'exécution C(2012) 2384 de la Commission
[6]	Décision d'exécution (UE) 2019/1885 de la Commission du 6 novembre 2019 établissant les règles concernant le calcul, la vérification et la communication des données relatives à la mise en décharge des déchets municipaux conformément à la directive 1999/31/CE du Conseil et abrogeant la décision 2000/738/CE de la Commission
[7]	Décision d'éxécution (UE) 2019/665 de la Commission du 17 avril 2019 modifiant la décision 2005/270/CE établissant les tableaux correspondant au système de bases de données conformément à la directive 94/62/CE du Parlement européen et du Conseil relative aux emballages et aux déchets d'emballages
[8]	Décision d'Exécution (UE) 2019/2193 de la Commission du 17 décembre 2019 établissant des règles pour le calcul, la vérification et la déclaration des données ainsi que des formats de données aux fins de la directive 2012/19/UE du Parlement européen et du Conseil relative aux déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE)
[9]	ADEME, CITEO. Taux technique de recyclage des déchets d'emballages en fonction des matériaux - Données 2015. 2018. 13 p.
[10]	ADEME. La valorisation des emballages en France – directive 94/62/CE modifiée sur les emballages et les déchets d'emballages – base de données 2016 – Juin 2018. 84 p.
[11]	ADEME. La valorisation des emballages en France – directive 94/62/CE modifiée sur les emballages et les déchets d'emballages – base de données 2017 – Juin 2019. 84 p.
[12]	Déchets Infos. Taux de valorisation matière. Le classement des pays européens bientôt revu. Numéro 157, Mars 2019. pp. 4 – 6.
[13]	SRP. Spécifications des balles mono matière de qualité Q4 et Q5. 2019. 2 p.
[14]	Décision d'exécution du 22 mars 2005 établissant les tableaux correspondant au système de bases de données conformément à la directive 94/62/CE du Parlement européen et du Conseil relative aux emballages et aux déchets d'emballages
[15]	Zampori L, Pant R. Suggestions for updating the Product Environmental Footprint (PEF) method. JRC Technical Report. 2019. 244 p.
[16]	JRC. PEF method. Annex C to the PEF Method (Updated May 2020).
[17]	Nessi S., et al. Comparative Life Cycle Assessment (LCA) of Alternative Feedstock for Plastics Production. JRC Technical Reports. Draft report for stakeholder consultation - Part 1 - Final method for LCA of plastic articles. 256 p.

E. ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

Cette section porte sur l'analyse d'une sélection de ressources bibliographiques pertinentes proposant des ICV de MPR plastiques ou s'apparentant à des travaux ACV portant sur le recyclage des plastiques.

Les travaux retenus peuvent relever de deux types de perspectives :

- **Une perspective descendante** : on part d'un gisement de déchets donné, souvent défini par un secteur d'activité et une zone géographique de collecte (ex : les déchets d'emballages plastiques ménagers aux US), et on suit les étapes de la chaine du recyclage de ce gisement de déchets depuis la collecte jusqu'à leur régénération
- **Une perspective ascendante** : on part de l'activité d'un ou de plusieurs régénérateurs, par exemple des adhérents d'un même syndicat professionnel, et des gisements de déchets approvisionnant leur activité, et on remonte vers l'amont pour identifier les étapes antérieures de la chaine du recyclage et leur localisation géographique

Illustration d'une approche descendante

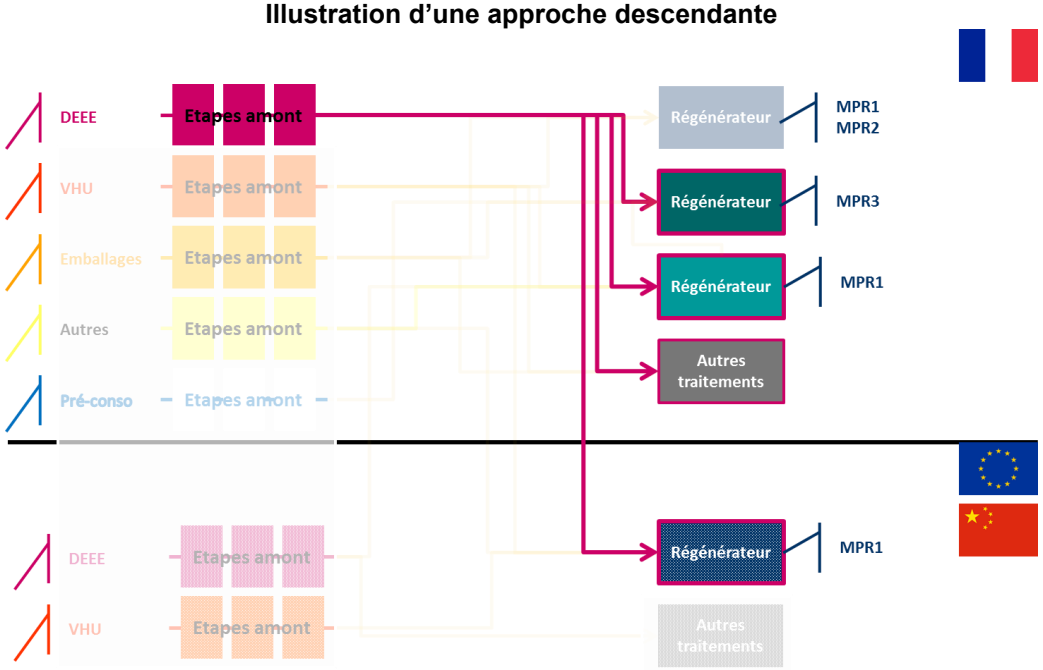
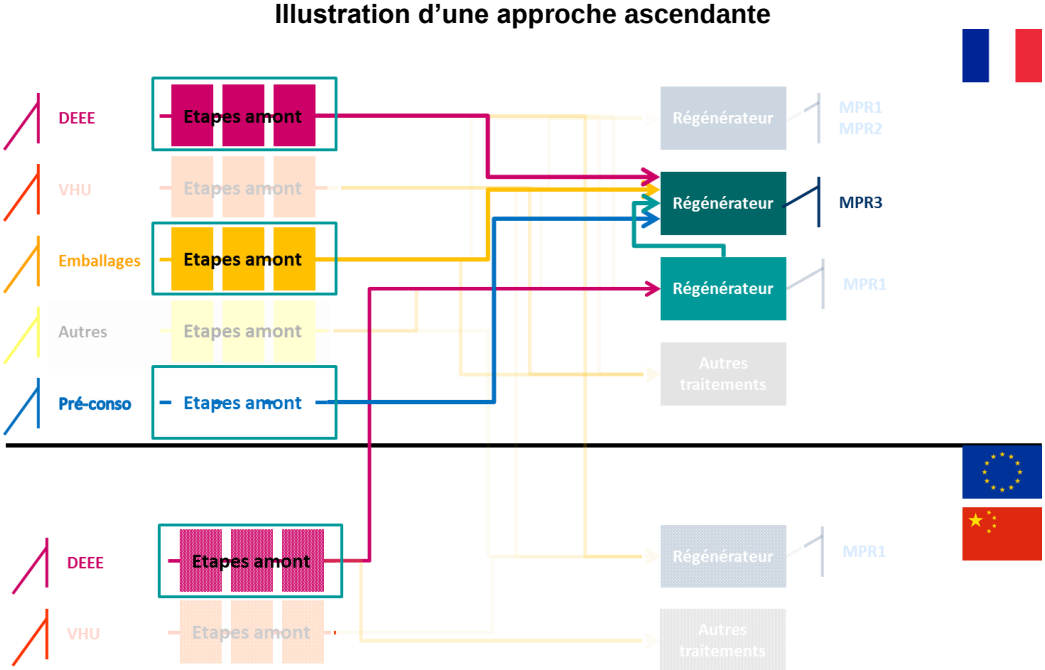


Illustration d'une approche ascendante



E.1 PRESENTATION DES TRAVAUX BIBLIOGRAPHIQUES SELECTIONNES

Les tableaux ci-dessous proposent une consolidation synthétique de la portée des ressources sélectionnées en termes de :

- Type de MPR plastiques : polymères étudiés et leur format lorsque celui-ci est spécifié
- Zone géographique de production des MPR plastiques
- Origine sectorielle, en précisant s'il s'agit de déchets pré-consommation et/ou post-consommation, et origine géographique des gisements de déchets plastiques

		SRP	Franklin	Federec	Kägi & Haupt	Shen	Wäger	
Type de MPR étudiées								
PET	Paillettes	✓	✓	✓	✓ (4)	✓		
	Granulés	✓(1)	✓FG	✓(1)	✓FG	✓ NFG		
PP	Broyés	✓(2)					✓(2)	
	Granulés		✓		✓(5)			
PS	Broyés	✓(2)					✓(2)	
	Granulés				✓(5)			
PEHD	Paillettes	✓	✓					
	Granulés	✓	✓	✓	✓			
PEBD	Paillettes							
	Granulés	✓(3)						
Autres	Broyés	PVC (2)					ABS (2)	
	Granulés							
Zone géographique de production des MPR								
PET		FR	US, CA, MX	FR, EU	CH	CN, EU	AT	
PP			US, CA					
PS								
PEHD			US	FR, EU	CH			
PEBD								
Autres								

FG/NFG : Food Grade (contact alimentaire) / Non Food Grade

(1) Ne précise pas s'il s'agit de granulés aptes au contact alimentaire. Dans le cas du SRP, on peut toutefois supposer qu'il s'agit de granulés FG car les producteurs du granulé de PET recyclé en France produisent des granulés contact alimentaire.
(2) Ne précise pas s'il s'agit de broyés ou de granulés.
(3) Deux éco-profils granulés PEBD sont publiés, l'un concerne spécifiquement le PEBD recyclé à partir de films agricoles.
(4) Kägi & Haupt distinguent un granulé « amorphe » et un granulé « food grade » ; les données ont été collectées auprès des deux usines suisses dont l'une produit du PET paillette et l'autre du PET granulé apte au contact alimentaire. Nous anticipons potentiellement une confusion entre paillette et amorphe d'une part et grade bouteille et contact alimentaire d'autre part (NDLR : nous allons contacter les auteurs de la publication pour éclaircir ce point et un autre point sur la consommation d'énergie).
(5) Kägi & Haupt présentent une modélisation pour le PEHD recyclé à partir d'emballages ménagers et il est ensuite supposé que cette modélisation est identique dans le cas du PS et du PP.

TABLEAU 8 : CARACTERISTIQUES CLES DES RESSOURCES ETUDIEES : TYPE DE MPR ET LEUR ZONE GEOGRAPHIQUE DE PRODUCTION

		SRP	Franklin	Federec	Kägi & Haupt	Shen	Wäger	
Origine sectorielle des gisements traités								
PET	Pré-Con							
	Post-Con	✓ Emb.	✓Emb	✓Emb	✓Emb	✓Emb		
PP	Pré-Con	NP (1)						
	Post-Con		✓ Emb		(3)		✓D3E	
PS	Pré-Con	✓						
	Post-Con				(3)		✓D3E	
PEHD	Pré-Con	NP (1)						
	Post-Con		✓Emb	✓Emb	✓Emb			
PEBD	Pré-Con	NP (2)						
	Post-Con							
Autres	Pré-Con	NP (1)						
	Post-Con						✓D3E	
Origine géographique des gisements traités								
PET		NP (4)	US	FR		CN, EU		
PP			US				AT	
PS							AT	
PEHD			US	FR				
PEBD								
Autres							AT	

✓ Information donnée par les auteurs des travaux
✓ Interprétation Bleu Safran

(1) NP (Non précisé)
(2) Deux ICV PEBD granulés sont publiés dont l'un correspond à un PEBD produit spécifiquement à partir de films agricoles (donc post-consommation) ; pour l'autre ICV, aucune précision n'est donnée sur l'origine du gisement
(3) Kägi & Haupt présentent une modélisation pour le PEHD recyclé à partir d'emballages ménagers et il est ensuite supposé que cette modélisation est identique dans le cas du PS et du PP mais sans préciser à partir de quel gisement.
(4) NP (Non Précisé) : L'origine géographique des gisements traités par les régénérateurs n'est pas précisée. Un mix France, Europe et autres zones géographiques est plausible.

TABLEAU 9 : CARACTERISTIQUES CLES DES RESSOURCES ETUDIEES : ORIGINES SECTORIELLE ET GEOGRAPHIQUE

E.2 ANALYSE DETAILLEE

Outre une présentation des objectifs des travaux, de leur périmètre (polymères recyclés, origine des déchets, étapes prises en compte) et de leurs représentativités géographique et temporelle, une analyse détaillée de certaines publications a été conduite avec pour objectif :

- D'identifier et de décrire les **données pouvant être exploitables** pour d'autres études
- D'exposer les **choix méthodologiques** opérés par les auteurs, pour les étapes amont à la régénération d'une part et pour l'étape de régénération d'autre part, concernant :
  - les éventuels co-produits et des enjeux d'affectation et de comptabilisation que cela peut poser
  - les déchets résultant de l'entrant écartés lors des étapes successives de la chaine du recyclage
  - les consommations et les émissions au sens large (déchets, rejets et émissions) des procédés mis en œuvre
  - le cas échéant, l'équivalence de fonctionnalité considérée entre les MPR plastiques et les plastiques vierges
- De **formuler les points d'attention que nous avons jugés utiles pour les lecteurs**, ceux-ci pouvant porter sur des précautions à considérer pour la réexploitation des travaux, sur des informations utiles mais non précisées, sur des limites identifiées dans les travaux, etc.

Les sections suivantes présentent, selon un même format de restitution, les analyses détaillées qui ont ainsi été réalisées.

E.2.1 TRAVAUX DU SRP

Eco-profils et ICV du SRP
Titre et référence de la publication

Liste des éco-profils établis par le SRP (date de publication) et disponibles en octobre 2019 :

- ECO-PROFIL des MPR R-PS Industriel (décembre 2018)
- ECO-PROFIL des MPR R-PVC (janvier 2017)
- ECO-PROFIL des MPR R PEBD Granulés agricole (janvier 2017)
- ECO-PROFIL des MPR R PEBD Granulés (décembre 2017)
- ECO-PROFIL des MPR R PEHD Granulés (janvier 2017)
- ECO-PROFIL des MPR R PEHD Paillette (janvier 2017)
- ECO-PROFIL des MPR R PET Granulés (janvier 2017)
- ECO-PROFIL des MPR R PET Paillettes (janvier 2017)
- ECO-PROFIL des MPR R PP (janvier 2017)

Téléchargement des éco-profils, des ICV (pdf du format excel) et de la note « principes méthodologiques de l'étude – Mars 2017 »

http://www.srp-recyclage-plastiques.org/index.php/donnees-recyclage/icv-des-mpr.html

Dernière consultation le 21 octobre 2019.

Des informations complémentaires ont été obtenues lors d'entretiens avec Henri Lecouls conduits entre décembre 2019 et janvier 2020.

Objectifs des travaux

Approche descendante ☑ Approche ascendante

L'objectif du SRP est d'établir des ICV (en flux élémentaires) et des fiches Eco-profils des principales MPR plastiques produites par les membres du SRP qui peuvent être utilisées en France. Ces travaux ont fait l'objet d'une revue critique par quatre experts indépendants.

L'unité de référence correspond à un kg de MPR plastique, prête à l'emploi, emballée et chargée, sortie usine du régénérateur.

Ces travaux ont vocation à être actualisés par le SRP, en particulier en cas de changement notable.

Eco-profils et ICV du SRP

Sur son site internet, le SRP précise que :

- « *les membres du SRP estiment représenter environ 70 % de la capacité de régénération des déchets de matières plastiques en France pour l'ensemble des MPR qu'ils produisent. Cette valeur moyenne cache des disparités importantes entre MPR (20 à 95%)* » [NDLR : l'identité des membres du SRP ayant participé à chacun des ICV est donné ; en revanche, la capacité qu'ils représentent et sa représentativité au regard de la capacité totale de régénération de la MPR en France n'est pas précisée]
- seuls les régénérateurs, membres du SRP et leurs clients utilisateurs des MPR peuvent se prévaloir de ces livrables et les exploiter sans réserves. Pour les tiers, toute exploitation de ces livrables, même partielle, ne peut se faire sans l'accord préalable du SRP et sans mentionner la source.

Les résultats de ces travaux ont été intégrés dans la base Impacts de l'ADEME (accès aux résultats d'impacts pour les indicateurs retenus pour l'affichage environnemental en France).

Périmètre des travaux

Polymères concernés

☑ PET (1) ☑ PP (2) ☑ PS (2) ☑ PEHD (4) ☑ PEBD (3) ☑ Autres (5)

(1) PET paillettes et PET granulés. Ne précise pas s'il s'agit de granulés aptes au contact alimentaire. Dans le cas du SRP, on peut toutefois supposer qu'il s'agit de granulés food grade car les producteurs de granulés de PET recyclé en France produisent des granulés contact alimentaire

(2) Le SRP nous a précisé que ces profils correspondent à un mix broyés et granulés (ce mix n'est pas mentionné dans les éco-profils)

(3) PEBD granulés. Deux éco-profils granulés PEBD sont publiés, l'un concerne spécifiquement le PEBD recyclé à partir de films agricoles

(4) PEHD paillettes et granulés

(5) PVC, le SRP nous a précisé que l'éco-profil correspond à un mix de différents formats de PCV (ex : broyés, granulés). Ce mix n'est pas mentionné dans fiche éco-profil.

Secteurs d'activité à l'origine des déchets et type de déchets

☑ Déchets post-consommation ☑ Déchets pré-consommation

Emballages
VHU
DEEE
Autres

Le SRP précise que, de manière générale, les MPR produites par ses adhérents sont élaborées à partir de déchets de toutes origines : ménages et activités économiques.

Toutefois, les éco-profils mis à disposition par le SRP ne détaillent pas l'origine des déchets reçus par les régénérateurs ayant participé à l'élaboration des ICV. En particulier les informations ci-dessous ne sont pas rendues publiques :

- Distinction et proportion relative des déchets post-consommation et des déchets pré-consommation (déchets industriels)
- Secteurs d'activité ou filières REP à l'origine des déchets

Dans le cas particulier du PS, le SRP précise qu'il s'agit de PS industriel, c'est à dire produit à partir de déchets industriels pré-consommation d'après notre compréhension.

Dans le cas du PEBD, plusieurs ICV sont disponibles dont l'un se réfère à du PEBD agricole et se réfère au recyclage de films agricoles post-consommation.

Eco-profils et ICV du SRP

Dans le cas du PET, le SRP nous a confirmé lors d'un entretien téléphonique que les déchets entrants correspondent pour une très large proportion à des emballages ménagers et plus particulièrement à des bouteilles.

Lors des échanges avec le SRP, il nous a été précisé que trois catégories de déchets ont été distinguées par le SRP lors de la collecte des données :

1) Déchets d'emballages
2) Déchets agricoles
3) Déchets industriels

La catégorie des déchets industriels désigne des déchets qui arrivent chez les régénérateurs depuis un site industriel (par opposition avec des déchets arrivant depuis un centre de tri ménager ou depuis la filière agricole). Cette catégorie peut dans les faits couvrir des déchets d'origines diverses et notamment :

- Chutes industrielles de production et ratés de fabrication ;
- Déchets d'emballages issus des activités économiques ;
- Déchets issus du traitement des VHU ;
- Déchets issus du traitement des DEEE.

Etapes de la chaine du recyclage prises en compte

Pour chaque éco-profil, le SRP indique que les étapes prises en compte concernent « *la collecte des déchets, leur tri, leur transport et toutes les opérations spécifiques de la régénération des déchets plastiques (lavage, broyage, densification, micronisation, granulation, compoundage*) *nécessaire à la production)* »

Cette description reste générique, une description spécifique des étapes prises en compte pour chacun des ICV n'est rendue publique.

Les échanges avec le SRP ont été l'occasion de mieux comprendre en ce qui a été considéré. Ainsi, nous comprenons que le périmètre de comptabilisation des étapes amont à l'entrée en régénération est différent entre les déchets d'emballages ménagers et les autres déchets.

- Déchets d'emballages ménagers : le périmètre de comptabilisation couvre le périmètre allant de la collecte du déchet d'emballage auprès des ménages jusqu'à l'arrivée sur les sites des régénérateurs.
- Autres déchets (y compris déchets post-consommateurs hors Emballages ménagers) : le périmètre de comptabilisation intègre une étape de chargement des camions dans l'usine de provenance approvisionnant le régénérateur, les emballages éventuels de transport (ex : big-bag), le transport entre cet opérateur en amont du régénérateur et le régénérateur ; en revanche, le périmètre de comptabilisation n'intègre pas les étapes situées plus en amont.
- Cas particulier des paillettes PET exploitées par les producteurs de granules PET : lorsque des paillettes PET produites par un autre régénérateur sont utilisées par les régénérateurs de PET granules comme co-intrants avec les déchets de bouteilles PET, l'intégralité des étapes amont de production de ces paillettes ont bien été comptabilisées dans l'ICV du R-PET granulés (à savoir collecte et tri des bouteilles PET, transport entre les centres de tri et les producteurs de paillettes PET, production des paillettes PET et transport des paillettes vers les producteurs de PET granules).

Représentativité géographique, temporelle

Provenance géographique des déchets plastiques

La note méthodologique ainsi que les éco-profils n'apportent pas de précision en ce qui concerne la provenance géographique des déchets utilisés pour la production des MPR plastiques.

A notre connaissance, certains régénérateurs de plastiques installés en France s'approvisionnent en déchets générés en France mais également en Europe, voire dans le reste du monde.

Eco-profils et ICV du SRP

Sur ce sujet, le Bilan National du Recyclage 2005-2014 publié par l'ADEME en mai 2017 indique d'ailleurs que 111 kt de déchets plastiques sont importés en France (pour 517 kt de MPR plastiques produites en France).

Localisation géographique de l'étape de régénération

Les régénérateurs ayant participé à la construction des ICV sont des adhérents du SRP dont les installations sont en France. Un point important, qui a été précisé avec le SRP lors de nos échanges, est que tous les adhérents du SRP produisant une même MPR plastique ont participé à la collecte des données.

Représentativité temporelle

Les eco-profils du SRP s'appuient sur des données d'activité relatives à l'année 2015 (2017 dans le cas du PS industriel). Le SRP précise que leur durée de validité est de 5 ans, sauf changement notable, à compter de leur publication.

Les données d'arrière-plan sont principalement issues d'ecoinvent version 3.2 (2015).

Données exploitables pour d'autres études

Le SRP met à disposition sur son site internet les ICV établis (liste des flux élémentaires sous format pdf), ceux-ci étant utilisables par des tiers sous certaines conditions (cf. rubrique objectifs).

Ces ICV agrègent directement les étapes de régénération et les étapes amont à la régénération qui ont été prises en compte : le détail des ICV étape par étape n'est pas fourni via le site internet mais est disponible dans le dossier de travail du SRP.

Etapes amont à la régénération

Données exploitables pour d'autres études

Le SRP ne publie pas, sur son site internet, d'ICV portant spécifiquement sur les étapes amont à l'entrée en régénération. Ce détail a toutefois pu être transmis par le SRP dans le cadre de demandes spécifiques (étude ADEME portant sur le Bilan National du Recyclage par exemple). Par ailleurs, les données d'activité permettant de décrire les étapes amont à la régénération ne sont pas accessibles dans la documentation disponible sur le site internet du SRP.

Mode d'obtention des données « métier »

Pour les déchets d'emballages ménagers, les données relatives aux étapes amont à la régénération ont été établies par CITEO et mises à disposition du SRP.

Pour les autres origines de déchets post-consommation ou pré-consommation, le SRP indique que les données relatives à l'approvisionnement depuis les sites situés juste en amont des régénérateurs ont été demandées aux régénérateurs de plastiques.

Choix méthodologiques et autres points clefs

- Co-produits

La note méthodologique précise que pour les déchets d'emballages plastiques issus des emballages ménagers collectés sélectivement, une règle d'affectation massique au prorata des masses de matières triées (papier, plastiques, ...) a été appliquée. L'occurrence ou non d'une problématique d'allocation, ainsi que, le cas échéant, son mode de résolution pour les autres flux de déchets plastiques traités (par exemple pour des déchets plastiques qui auraient été produits à partir de DEEE ou de VHU) par les régénérateurs n'est pas précisée.

- Déchets résultant de l'input

La documentation accessible publiquement ne détaille pas précisément les choix de comptabilisation des déchets résultants de l'entrant (par exemple, refus de tri de collecte sélective des emballages

Eco-profils et ICV du SRP

ménagers ou plastiques avec RFB issus de la séparation des plastiques en mélange produits à partir de DEEE) et sur leur affectation ou non aux ICV des MPR plastiques.

- Consommations et émissions

La documentation accessible publiquement ne détaille pas précisément ce qui est pris en compte pour chacune des étapes de la gestion amont.

Remarques / point d'attention

Comme précédemment mentionné, le périmètre de comptabilisation des étapes amont à l'entrée en régénération est différent entre les déchets d'emballages ménagers et les autres origines des déchets plastiques. Nous comprenons de nos échanges avec le SRP que les choix de périmètre pourront être réexaminés en cas d'actualisation des éco-profils.

Etape de régénération

Données exploitables pour d'autres études

Les ICV élaborés et diffusés par le site internet du SRP agrègent l'ensemble des étapes prises en compte : les données d'activité ou les ICV propres à l'étape de régénération ne sont pas mis à disposition de manière publique.

Toutefois, les éco-profils publiés présentent la quantité de matières premières secondaires utilisée pour produire les MPR ; cette donnée est exprimée en kg par kg de MPR[8].

Utilisation de matières secondaires pour produire 1kg de MPR	
PET paillettes	1,42 kg
PET granulés	1,28 kg
PEHD paillettes	1,24 kg
PEHD granulés	1,30 kg
PEBD granulés	1,15 kg
PEBD granulés agricoles	2,83 kg
PP	1,02 kg
PS industriel	1,28 kg
PVC	1,09 kg

Le lecteur notera que ces valeurs s'échelonnent sur une plage étendue allant de 1,02 kg dans le cas du PP à 2,83 kg dans le cas des granulés PEBD agricoles.

Sur le principe :

1) Des valeurs de matières secondaires par unité de MPR produite proches de 1 devraient refléter un déchet entrant dans lequel peu d'indésirables, d'autres matériaux ou d'humidité sont présents ; ceci pourrait par exemple être le cas de déchets industriels pré-consommation. Dans ce cas, les enjeux de comptabilisation des déchets issus du tri/séparation du flux entrant et les enjeux d'allocation avec les co-produits devraient être limités.
2) Des valeurs de matières secondaires par unité de MPR produites éloignées de 1 devraient refléter un déchet entrant dans lequel la résine ciblée est présente en mélange avec des indésirables ou d'autres matériaux ou encore un déchet très humide ; ceci est certainement le cas des déchets de films agricoles souillés par de la terre, des débris divers et très humides.

[8] Après vérification auprès du SRP, cette donnée correspond à la quantité de déchets bruts entrant en régénération pour produire 1 kg de MPR en sortie. Dans le cas particulier du PET granules, l'entrant sous forme de PET paillettes provenant d'autres sites de régénération est comptabilisé dans cette ligne « Utilisation de matières secondaires ».

Eco-profils et ICV du SRP

Dans ce cas, les enjeux de comptabilisation des déchets issus du tri/séparation du flux entrant et les enjeux d'allocation avec les co-produits sont potentiellement importants.

Cette grandeur mérite toutefois d'être rapprochée d'autres dimensions pour être correctement et précisément interprétée. En effet, d'autres aspects peuvent amener à une distorsion de ces valeurs :

- Compoundage conduisant à introduire des proportions significatives de charge. Nous comprenons toutefois que la seule MPR concernée est le R-PP, certains régénérateurs produisant des R-PP talc en procédant à un ajout de talc lors de la production des granulés
- Difficulté possible de neutralisation des effets de stocks (stocks de déchets entrants et stocks de produits sortants) lors de la collecte des données, sachant toutefois que le SRP nous a précisé que les bilans entrée/sortie des régénérateurs bouclent tous à 10 % près (90 % - 110 %).

Mode d'obtention des données « métier »

Les données ont été collectées par questionnaire auprès des régénérateurs. Chaque éco-profil indique la liste des régénérateurs ayant participé à la collecte des données. Des données moyennes pondérées ont ensuite été établies.

Choix méthodologiques et autres points clefs

- Co-produits

Deux catégories de co-produits sont distinguées :

- Les co-produits plastiques
- Les autres co-produits dont les co-produits métalliques

Des règles différentes sont appliquées pour ces deux catégories.

Dans le cas des co-produits plastiques destinés à être recyclés chez un autre régénérateur (ex : bouchon PE/PP sur des bouteilles PET) : la note méthodologique précise que les étapes ultérieures de gestion de ces co-produits ne sont pas prises en compte (et aucun bénéfice résultant de leur recyclage).

La note méthodologique ne précise pas les règles suivies pour la résolution de la problématique d'allocation entre la résine ciblée et ces co-produits. Lors de nos échanges avec le SRP, il nous a été précisé que les consommations et les émissions de la régénération sont intégralement allouées aux MPR(s) plastiques produite(s) par le régénérateur. A titre d'illustration, aucune consommation/émission d'un régénérateur produisant du R-PET n'est allouée aux bouchons PE/PP, présents dans les déchets de bouteilles, qui sont extraits puis expédiés vers d'autres régénérateurs.

Dans le cas des autres co-produits, notamment métalliques, la note méthodologique mentionne que les étapes de gestion ultérieure sont prises en compte ainsi que les bénéfices associés ; dans le cas de co-produits métalliques ferreux, les bénéfices associés au recyclage de ces déchets ferreux ont été alloués à l'ICV de la MPR plastique. Ce cas se rencontre notamment pour la MPR R-PET granulés et pour la MPR R-PVC.

- Déchets résultant de l'input

Concernant les déchets, la note méthodologique précise que la gestion des déchets après sortie des sites de régénération est prise en compte jusqu'à leur élimination. La note précise également que les bénéfices de la valorisation énergétique :

- Sont pris en compte en cas de déchets sortis du statut de déchet (CSR ou combustibles « propres ») ;
- Ne sont pas pris en compte en cas de déchets « vrais ».

Sur cette dernière précision, il convient de noter que la distinction effectuée entre les déchets « vrais » et les autres déchets ne s'accompagne pas de critères véritablement opérants (aucun CSR ne sort du statut déchet au sens réglementaire du terme en Europe). En revanche, les éco-profils publiés permettent de connaitre dans chacun des cas les quantités de déchets pour lesquelles une

Eco-profils et ICV du SRP

valorisation énergétique a été prise en compte (cf. rubrique Flux sortants/Matériaux destinés à la récupération d'énergie).

Il est à noter qu'il n'est pas fait de distinction en termes de comptabilisation entre les déchets qui résultent de la séparation des impuretés / indésirables présents dans le gisement entrant et les autres déchets éventuellement produits par le procédé.

- Consommations et émissions

Les consommations et émissions prises en compte couvrent un spectre complet :

- Consommations d'énergies et de consommables des procédés ainsi que les prélèvements d'eau ;
- Emissions dans l'air et dans l'eau ;
- Emballages utilisés en vue du conditionnement des MPR produites pour leur livraison ultérieure ;
- Infrastructures.

Concernant les émissions dans l'air et dans l'eau qui ont été prises en compte, la note méthodologique et les éco-profils ne permettent en revanche pas de savoir quels sont précisément les paramètres/composés pris en compte.

Remarques / point d'attention

Certaines valeurs relatives à la quantité de matières secondaires utilisées pour produire 1 kg de MPR retiennent notre attention.

Les valeurs observées dans le cas du PP (1,02 kg/kg MPR) et dans le cas du PVC (1,09 kg/kg de MPR) sont basses ; cela pourrait potentiellement s'expliquer par un gisement de déchets particulièrement propres, par exemple parce qu'il provient de déchets industriels pré-consommation ou, dans le cas particulier du PP, par le fait qu'une partie du PP recyclé produit correspond à du PP talc. Des éléments plus précis relatifs à la nature des gisements traités par les opérateurs ayant participé à la construction des ICV auraient certainement permis de lever ces interrogations.

La gamme de valeurs observées dans le cas du PET recyclé (1,42 pour les paillettes ou 1,28 pour le granulé) paraît raisonnable. En effet, si l'on cherche à décrire la composition d'une balle de déchets de bouteilles PET, on pourra s'apercevoir que le PET représente de l'ordre de 70 % à 80 % de l'entrant pour des balles répondant aux spécifications attendues par les régénérateurs[9]; ceci conduit à une quantité de matières secondaires de 1,25 à 1,43 kg/kg MPR en supposant que le procédé ne conduit à aucune perte de PET. En revanche, la hiérarchie observée entre le cas du PET paillettes et le cas du PET granulés semble contre-intuitive : la production de PET granulés passe pas les mêmes étapes de production que le PET paillettes puis par des étapes spécifiques additionnelles ; or ces étapes additionnelles peuvent conduire à des pertes, notamment à l'étape d'extrusion (galettes de filtration). Une source d'explication, confirmée avec le SRP, réside dans le fait qu'une partie des matières secondaires utilisées consistent non pas dans des déchets de bouteilles mais déjà dans des paillettes. Des indications plus précises sur la nature des gisements traités par les opérateurs ayant participé à la construction des ICV pourraient permettre de lever ce type d'interrogation.

Etapes de mise en œuvre des MPR plastiques

Non concerné. Les ICV du SRP sont établis pour des MPR plastiques, prêtes à l'emploi, emballées et chargées, sortie usine du régénérateur et n'incluent pas d'étapes de mise en œuvre par les utilisateurs.

Applications / ratio de substitution entre plastique vierge et MPR

Dans chacun des éco-profils publiés, le SRP effectue une comparaison entre les impacts d'un kg de MPR et les impacts d'un kg de résine vierge : les résultats de cette comparaison sont accentués dans

[9] En considérant 12 % d'humidité/impuretés, 5 % à 10 % de PE/PP correspondant aux bouchons et 3 % à 5 % de matériaux divers correspondants aux étiquettes, soit une fourchette de l'ordre de 20 % à 30 % de matériaux autres que du PET.

Eco-profils et ICV du SRP

le cas des émissions de gaz à effet de serre et dans le cas de la consommation d'énergie non renouvelable.

Une remarque précise toutefois que ces comparaisons sont fournies à titre d'information et ne préjugent pas du taux réel de substitution retenu par l'utilisateur de la MPR.

Autres remarques

Les éco-profils publiés par le SRP constituent une initiative intéressante qui mérite d'être saluée pour les raisons suivantes :

- Une méthode harmonisée a été mise en œuvre et a fait l'objet de travaux de revue critique ;
- Les ICV couvrent des résines recyclées pour lesquelles peu de données existent (PP, PS, PEBD, et PVC).

Toutefois, ces travaux appellent plusieurs commentaires.

Les résultats publiés ne peuvent pas être exploités pour approcher / pour faciliter le travail de modélisation des plastiques recyclés dans d'autres pays : entre autres spécificités qui ne peuvent pas être modifiées par l'utilisateur, il y a celle qui concerne le mix électrique.

Une documentation plus approfondie de certains aspects des travaux (gisements de déchets traités par les opérateurs ayant participé à l'élaboration des ICV, prise en compte des étapes de gestion amont, règles d'allocation sur les co-produits...) nous apparait nécessaire :

- Afin de favoriser une exploitation correcte des résultats par les utilisateurs en fonction des contextes d'utilisation (objectif, périmètre des travaux en termes d'origine des déchets et en termes d'étapes prises en compte) ;
- Afin de désamorcer les questions qui peuvent être pointées en observant certains résultats particuliers.

E.2.2 TRAVAUX DU FRANKLIN

Travaux de Franklin

Titre et références de la publication

Franklin Associates. Life cycle impacts for postconsumer recycled resins : PET, HDPE, and PP. Submitted to The Association of Plastic Recyclers. December 2018. 49 p.

Téléchargement : https://plasticsrecycling.org/images/apr/2018-APR-Recycled-Resin-Report.pdf. Consulté le 27/10/19.

Travaux antérieurs :

Franklin Associates. Life Cycle Inventory of 100% Postconsumer HDPE and PET Recycled Resin from Postconsumer Containers and Packaging. Conducted by Franklin Associates, a Division of ERG for ACC Plastics Division, for APR, NAPCOR, and PETRA. January 2011. 74 p.

Téléchargement : https://plastics.americanchemistry.com/Education-Resources/Publications/Life-Cycle-Inventory-of-Postconsumer-HDPE-and-PET-Recycled-Resin.pdf Consulté le 27/10/19.

Objectifs des travaux

☑ Approche descendante ☐ Approche ascendante

L'objectif des travaux est de développer le profil environnemental de trois résines recyclées (PET, PEHD et PP) produites à partir de déchets de post-consommation. Cette étude constitue une actualisation du même type de travaux, datant de 2011, qui avaient été conduits sur le PET et le PEHD recyclés à partir de déchets d'emballages.

Travaux de Franklin

Le rapport intègre également la présentation et l'interprétation de résultats d'impacts environnementaux associés aux résines recyclées pour les indicateurs suivants :

- Consommation d'énergie
- Consommation d'eau
- Production de déchets solides
- Potentiel de réchauffement climatique
- Acidification
- Eutrophisation
- Oxydation photochimique

La quantification des impacts environnementaux est conduite selon deux règles méthodologiques :

- Méthode désignée par « Cut-off » : dans cette méthode, les impacts environnementaux associés à la résine recyclée sont les impacts environnementaux de la collecte, du tri, du transport et de la régénération des résines. Aucune allocation d'impact de la production initiale de la résine vierge n'est considérée.

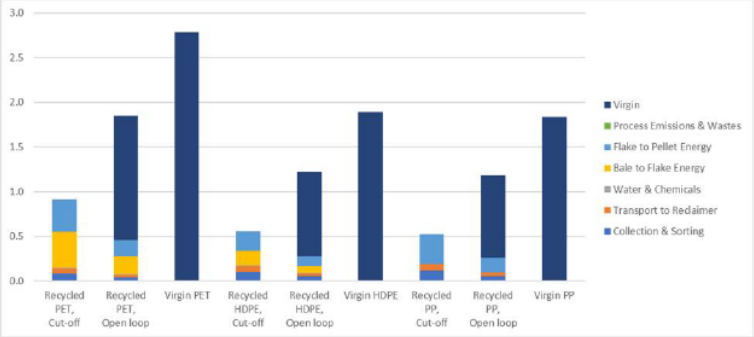


Figure 3-6. Global Warming Potential Results for Recycled and Virgin Resins (kg CO_2 eq/kg resin)

- Méthode désignée par « Open-Loop » : dans cette méthode, la résine recyclée se voit attribuer la moitié des impacts de la collecte, du tri, du transport et de la régénération des résines et la moitié des impacts de la production initiale de la résine vierge.

Ces deux profils sont comparés au profil de la résine vierge.

Périmètre des travaux

Polymères concernés

☑ PET ☑ PP ☐ PS ☑ PEHD ☐ PEBD ☐ Autres

Les trois résines recyclées sont étudiées jusqu'au stade des granulés. Dans le cas du PET et du PEHD, les données publiées permettent de différencier les consommations et émissions relatives à l'étape de production des paillettes et les consommations et émissions relatives à l'étape de production des granulés à partir des paillettes.

Secteurs d'activité à l'origine des déchets et type de déchets

☑ Déchets post-consommation ☐ Déchets pré-consommation

Emballages
VHU
DEEE
Autres

Les résines recyclées étudiées sont produites à partir de déchets d'emballages.

Etapes de la chaine du recyclage prises en compte

Les étapes prises en compte dans les frontières du système sont :

- La collecte ;
- Le tri en centre de tri (et le surtri pour une partie du flux) ;

Travaux de Franklin

- Le transport entre le centre de tri et les régénérateurs ;
- La régénération.

Représentativité géographique, temporelle

Provenance géographique des déchets plastiques

Les déchets d'emballages plastiques pris en compte par ces travaux sont produits et collectés aux USA. Il n'est en revanche pas précisé si la collecte est représentative de l'ensemble des USA ou s'il s'agit de conditions de collecte spécifiques à un ou plusieurs états.

Localisation géographique de l'étape de régénération

Les profils établis pour les résines recyclées sont revendiqués comme étant représentatifs de la zone Nord-Américaine.

Les régénérateurs ayant participé aux travaux et pris en compte pour la construction des éco-profils sont localisés :

- Pour le PET : au Canada, à Mexico et aux USA.
- Pour le PEHD : aux USA
- Pour le PP : au Canada et aux USA

Le mix électrique de chacun des pays est pris en compte au prorata des tonnages traités par chacun des opérateurs et de leur localisation.

Représentativité temporelle

La période de représentativité n'est pas formellement explicitée ; il est mentionné que les données sont représentatives des pratiques actuelles en sachant que l'étude a été publiée en 2018.

Etapes amont à la régénération

Données exploitables pour d'autres études

Les conditions et modalités de collecte sont spécifiques à la zone géographique concernée : l'exploitation des données de l'étude concernant cette étape ne serait pas pertinente pour d'autres zones, notamment la France.

Des données de consommation énergétique sont fournies pour le tri en centre de tri : la consommation énergétique par tonne triée apparaît relativement peu élevée. Les auteurs signalent que le tri peut se faire dans des centres de tri dont le niveau de mécanisation est variable allant du tri manuel au tri très automatisé ; le détail par type de centre de tri et la proportion de chaque type de centre n'est pas précisé.

Des distances de transport entre les centres de tri et les régénérateurs sont fournies : elles sont spécifiques à ce contexte et ne sont pas pertinentes pour d'autres contextes.

Mode d'obtention des données « métier »

Collecte : les données ont été établies à partir de sources bibliographiques.

Tri / surtri : les données relatives à l'étape de tri ont été établies en collectant des données auprès de quatre centres de tri. Les données de surtri ont été établies en collectant des données auprès d'un centre de surtri unique (elles ne sont pas publiées pour des raisons de confidentialité).

Transport entre le centre de tri et les régénérateurs : la distance de transport semble avoir été fournie par les régénérateurs ; aucune autre donnée n'est fournie (gabarit des camions, taux de chargement,..)

Choix méthodologiques et autres points clefs

- Co-produits

Collecte : la collecte est faite en mélange entre plusieurs types d'emballages plastiques et avec d'autres matériaux. L'allocation à cette étape n'est pas précisément explicitée ; toutefois, il est mentionné dans une section dédiée aux allocations, qu'une allocation massique a généralement été conduite.

Travaux de Franklin

Tri : le tri permet de séparer différents matériaux entre eux. Les consommations et émissions du tri en centre de tri ont été allouées massiquement entre les différents matériaux triés en sortie de centre de tri.

- Déchets résultant de l'input

Tri : un taux de refus de 9 % (0,1 kg pour 1,1 kg entrant) est pris en compte au niveau du centre de tri. La comptabilisation de ce flux est peu explicite : dans la section transversale dédiée aux allocations, nous comprenons que ces déchets sont pris en compte et alloués massiquement entre les différents matériaux triés en sortie de centre de tri. En revanche, aucune information n'est donnée sur la composition et la gestion effective de ces déchets après leur sortie du centre de tri.

- Consommations et émissions

Aucune autre émission et aucun autre rejet autre que ceux associés aux consommations d'énergie des étapes de collecte, tri et transport ne sont pris en compte dans les travaux.

Remarques / point d'attention

Collecte : seul le transport est pris en compte dans l'étape de collecte. La dotation (bacs ou sacs) n'est pas prise en compte. Aucune opération de lavage (bacs ou camions de collecte) n'est considérée.

Etape de régénération

Données exploitables pour d'autres études

Les données de consommations et d'émissions relatives à la régénération du PET, PEHD et PP élaborées et publiées dans le cadre de ces travaux semblent pouvoir être exploitées dans d'autres contextes où ces mêmes résines seraient recyclées à partir de déchets d'emballages plastiques triés.

Dans le cas du PET et du PEHD, les données permettent de distinguer les deux sous-étapes :

- De production des paillettes propres à partir des déchets entrants ;
- De production des granulés à partir des paillettes.

Mode d'obtention des données « métier »

Régénération du PET : données collectées auprès de plusieurs régénérateurs produisant 190 kt de paillettes PET et 150 kt de granulés PET aptes au contact alimentaire[10].

Régénération du PEHD : données collectées auprès de plusieurs régénérateurs produisant un peu plus de 200 kt de paillettes PEHD et près de 195 kt de granulés PEHD.

Régénération du PP : données collectées auprès de trois régénérateurs produisant environ 65 kt de granulés PP.

Choix méthodologiques et autres points clefs

- Co-produits

D'autres matériaux (métaux, autres résines) que la résine principale (PET, PEHD, PP) sont extraits du gisement entrant en régénération et sont destinés à un recyclage ultérieur. Ces matériaux représentent :

- 14 % du gisement entrant dans le cas du PET
- Moins de 1 % du gisement entrant dans le cas du PEHD
- Moins de 1 % du gisement entrant dans le cas du PP

[10] La formulation employée dans les travaux reste ambigüe : on ne sait pas s'il faut comprendre que i/ les régénérateurs ont produit 190 kt de PET paillettes dont une partie a été convertie en granulés, ceux-ci représentant 150 kt ou au contraire que les régénérateurs ont produit et commercialisés d'une part 190 kt de PET paillettes et d'autre part 150 kt de PET granulés. La même remarque s'applique au cas du PEHD.

Travaux de Franklin

Les consommations et les émissions de la régénération sont intégralement allouées à la résine principale recyclée (PET, PEHD, PP).

Les déchets générés du fait de la séparation des impuretés / indésirables présents dans le gisement entrant sont alloués massiquement entre la résine principale recyclée et les autres co-produits.

- Déchets résultant de l'input

Les déchets générés du fait de la séparation des impuretés / indésirables présents dans le gisement entrant sont de :

- 15 % dans le cas de la régénération du PET (0,18 t pour 1,18 t entrant)
- 17 % dans le cas de la régénération du PEHD (0,19 t pour 1,19 t entrant)
- 15 % dans le cas de la régénération du PP (0,17 t pour 1,17 t entrant)

Ces déchets sont alloués massiquement entre la résine principale et les différents co-produits ; la quantification des déchets générés du fait de la séparation des impuretés / indésirables présents dans le gisement entrant est donc de :

- PET : 0,18 t/t de PET recyclé
- PEHD : 0,19 t/t de PEHD recyclé
- PP : 0,17 t/t de PP recyclé

Nous comprenons que la gestion de ces déchets est prise en compte dans l'évaluation; En revanche, aucune information n'est donnée sur la composition et la gestion effective de ces déchets après leur sortie des sites de régénération.

La question des pertes de la résine principale au cours de la régénération (pertes lors des étapes de tri mais également au cours de l'extrusion) n'est pas abordée.

- Consommations et émissions

Les consommations et émissions du procédé de régénération sont intégralement allouées à la résine principale recyclée.

D'autres déchets que ceux résultant de la séparation des impuretés / indésirables présents dans le gisement entrant sont comptabilisés : leur quantité est secondaire par rapport à celles des déchets provenant des impuretés / indésirables. Aucune information n'est donnée sur l'origine précise de ces déchets, leur composition et leur gestion après leur sortie des sites de régénération.

Les émissions dans l'air se réduisent à la prise en compte d'émissions de particules dans le cas de la régénération du PET ; aucune émission dans l'air n'est comptabilisée pour le PEHD et le PP. Le rapport n'aborde pas la question des émissions de COV. Des rejets dans l'eau sont comptabilisés via quatre paramètres : DBO, DCO, MES et Matières solides dissoutes.

Différents consommables utilisés pour le lavage, la séparation par flottaison et le traitement des eaux sont mentionnés. Dans le cas particulier du PET, de l'azote est pris en compte pour l'étape permettant de passer des paillettes aux granulés aptes au contact alimentaire.

		PET en kWh/t PET recyclé	PEHD en kWh/t PEHD recyclé	PP en kWh/t PP recyclé
Déchets entrant => paillettes (1)	Electricité	340	190	530
	Gaz naturel	771	115	288
	Autres (diesel, GPL, …)	≈ 55	≈ 20	≈ 15
	Total	**≈ 1 165**	**≈ 325**	**≈ 835**
Paillettes => granulés	Electricité	480	330	
	Gaz naturel	391		
	Autres (diesel, GPL, …)	≈ 5		
	Total	**≈ 875**	**≈ 330**	
Total		**≈ 2 040**	**≈ 655**	**≈ 835**

(1) Dans le cas du PP, le détail entre la production de paillettes et la production de granulés à partir des paillettes n'est pas fournie. Ces consommations d'énergie couvrent le périmètre allant des déchets entrant en régénération jusqu'à la production de granulés

Travaux de Franklin

Le tableau ci-dessus synthétise la consommation d'énergie finale prise en compte. La consommation d'énergie fait intervenir divers entrants (électricité, gaz naturel, diesel, GPL, propane). Il est probable que le diesel, le GPL et le propane correspondent à la consommation d'énergie des engins de manutention.

Remarques / point d'attention

Les emballages et solutions de conditionnement éventuels des résines recyclées en vue de leur expédition vers les utilisateurs ne semblent pas pris en compte : le sujet n'est pas abordé dans le corps du rapport et les données

Applications / ratio de substitution entre plastique vierge et MPR

La question des applications ultérieures des résines recyclées n'est pas abordée dans ces travaux.

La question de la substitution entre les résines recyclées et les résines vierges n'est pas explicitement traitée. En revanche, les résultats d'impacts environnementaux d'un kilogramme de chacune des résines recyclées sont comparés aux impacts environnementaux de la production d'un kilogramme de chacune des résines vierges

Autres remarques

Dans le cas du PET ainsi que du PEHD, le rapport précise que les régénérateurs peuvent recevoir des résines d'ores et déjà préparées sous forme de paillettes : la proportion concernée est inférieure à 3 % de l'entrant dans le cas du PEHD ; elle n'est pas précisée dans le cas du PET. Le rapport n'indique pas si les régénérateurs de PP peuvent également recevoir des broyés de PP.

Les données de régénération proposées comme applicables aux déchets d'emballages ont été collectées auprès de régénérateurs recevant en entrée des déchets d'emballages et pour partie des paillettes. Or, les consommations et émissions associées à la régénération pourraient être différentes dans le cas d'un gisement entrant composé de déchets d'emballages et dans le cas d'un gisement entrant d'ores et déjà composé de paillettes. Une discussion aurait méritée d'être conduite sur l'applicabilité des données collectées au cas d'une régénération d'un gisement exclusivement composé de déchets d'emballages.

E.2.3 TRAVAUX DE KÄGI & HAUPT

Travaux de Kägi & Haupt

Titre et références de la publication

Haupt M., Kägi T., Hellweg S. Life cycle inventories of waste management processes. Data in Brief. Volume 19, August 2018, Pages 1441-1457

Téléchargement : https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.05.067. Consulté le 28/10/19.

Travaux associés :

Kägi T et al. Life Cycle Inventories for Swiss Recycling Processes. Technical Report. Part Carbotech: Recycling of Cardboard, Glass, PE, PET, Tinplate. Conducted by Carbotech for Federal Office for the Environment FOEN. January 2017. 57 p.

Téléchargement : https://carbotech.ch/cms2/wp-content/uploads/Technical_Report_V1.0.pdf. Consulté le 28/10/19.

Haupt M., Kägi T., Hellweg S. Modular life cycle assessment of municipal solid waste management. Waste Management, Volume 79, September 2018, Pages 815-827.

Téléchargement : https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.03.035

Objectifs des travaux

☑ Approche descendante ☐ Approche ascendante

Travaux de Kägi & Haupt

L'objectif des travaux est de développer le profil environnemental associé au recyclage de différents matériaux dont des déchets d'emballages plastiques (PET, PEHD, PP et PS). Les données sont établies pour le cas de la Suisse mais les inventaires de régénération sont également proposés de manière adaptés pour l'échelle européenne.

La publication de 2018, à laquelle est associé un fichier excel contenant des inventaires de type Unit exploitant des données ecoinvent, est basée sur les travaux de 2017 initialement réalisés par Carbotech pour l'Office Fédéral de l'Environnement.

Nous attirons toutefois l'attention du lecteur sur le fait qu'il existe des différences entre les données d'inventaire telles qu'associées à la publication de 2018 via le fichier excel et les données d'inventaires telles que présentées dans le rapport 2017 ; l'origine de ces différences n'est pas explicitée.

Périmètre des travaux

Polymères concernés

☑ PET ☑ PP ☑ PS ☑ PEHD ☐ PEBD ☐ Autres

Les données sont véritablement établies pour le cas du recyclage des déchets de bouteilles PET et des déchets de bouteilles PEHD. La régénération des déchets de bouteille PEHD est ensuite supposée pouvoir représenter la régénération de déchets PP et de déchets PS.

Les différentes résines sont étudiées jusqu'au stade de production du granulé recyclé.

Dans le cas particulier du PET, les travaux distinguent un granulé « amorphe » et un granulé « food grade ». Toutefois, les données ont été collectées auprès des deux usines suisses dont, après investigation de notre part, l'une semble produire du PET paillette et l'autre du PET granulé apte au contact alimentaire. Nous anticipons potentiellement une confusion entre paillette et amorphe d'une part et grade bouteille et contact alimentaire d'autre part (NDLR : les auteurs seront contactés pour essayer de lever cette ambigüité).

Dans le cas du PEHD, un inventaire de production d'huile légère à partir des déchets de bouteilles PEHD est également proposé.

Secteurs d'activité à l'origine des déchets et type de déchets

☑ Déchets post-consommation ☐ Déchets pré-consommation

Emballages
VHU
DEEE
Autres

Pour le cas du PET et du PEHD, le recyclage étudié concerne exclusivement des déchets d'emballages et plus particulièrement des déchets de bouteilles plastiques (bouteilles PET et bouteilles PEHD).

Pour le cas du PS et du PP, les travaux comportent une certaine ambiguïté : il est en effet mentionné que les données construites à partir du recyclage du PEHD peuvent être appliquées à ces résines, mais sans spécifier le type de gisement concerné. On ne sait donc pas si cette applicabilité vaut, selon les auteurs, pour des gisements de bouteilles (mais qui n'existent pas dans le cas du PS), pour des gisements d'emballages ou pour d'autres gisements (potentiellement importants pour ces deux résines).

Etapes de la chaine du recyclage prises en compte

Les étapes prises en compte dans les frontières du système sont :

- La collecte ;
- Le tri en centre de tri ;
- Le transport entre le centre de tri et les régénérateurs ;

Travaux de Kägi & Haupt

- La régénération.

Des propositions sont également faites pour modéliser la substitution à des résines vierges.

Représentativité géographique, temporelle

Provenance géographique des déchets plastiques

Les déchets d'emballages plastiques pris en compte par ces travaux sont produits et collectés en Suisse. Pour l'étape de régénération des adaptations sont proposées pour représenter cette étape à une échelle européenne.

Localisation géographique de l'étape de régénération

Dans le cas du PET, les données semblent avoir été collectées à partir des deux usines suisses procédant à la régénération des déchets de bouteilles PET.

Dans le cas du PEHD, aucune information n'est donnée sur la localisation des régénérateurs.

Représentativité temporelle

Dans la publication de 2018, aucune information n'est donnée sur la représentativité temporelle des inventaires qui sont proposés. Dans le rapport d'origine de 2017, la période de collecte des données est précisée et correspond à l'année 2014 pour toutes les étapes intervenant dans le recyclage du PET et dans le recyclage du PEHD pour la Suisse. La période citée peut en revanche être antérieure (2010) pour les adaptations des inventaires au cas européen.

Etapes amont à la régénération

Données exploitables pour d'autres études

Les données de collecte prennent en compte les contenants (bacs et sacs) ainsi que l'étape de collecte à proprement parler.

Les conditions et modalités de collecte sont spécifiques à la zone géographique concernée : l'exploitation des données de l'étude concernant cette étape ne serait pas pertinente pour d'autres zones, notamment la France.

Cette remarque s'applique plus particulièrement encore au cas des bouteilles PET : en effet, contrairement à la France, les bouteilles boisson en PET font l'objet d'une collecte dédiée en Suisse[11].

Des données sont fournies pour la modélisation du tri en centre de tri dans le cas des bouteilles PET d'une part et dans le cas des bouteilles plastiques en mélange (PEHD, PP, PET, PEBD) d'autre part. Les aspects pris en compte pour cette étape ne sont pas explicités mais compte tenu des intitulés des entrants, il semblerait que les données prennent en compte : la consommation d'électricité pour le fonctionnement des sites, la consommation des engins de manutention, la consommation des liens métalliques pour les balles. Dans les données 2017, une quantité de déchets orientés en incinération est associée aux inventaires de tri, ce qui n'est pas le cas dans les données 2018. Dans le cas des données 2018 relatives au tri des bouteilles PET, des effluents traités en station d'épuration sont associés au tri des bouteilles PET (NDLR : nous ne savons pas s'il s'agit d'une erreur, la question sera posée aux auteurs).

Des distances de transport entre les centres de tri et les régénérateurs sont prises en compte dans la modélisation ; les modalités et distances de transport relatives à cette étape ne sont pas explicitées et sont agrégées avec l'étape de collecte.

Mode d'obtention des données « métier »

[11] Le système de collecte pour recyclage des emballages boissons PET est organisé par l'association PRS PET-Recycling Schweiz dont les membres sont de grands metteurs sur le marché de bouteilles boissons en PET (Coca-Cola, Danone, Migro, Coop, Nestlé Waters…). Cette association se positionne activement en faveur du recyclage du PET des bouteilles boisson en boucle fermée : rPET - Le nec plus ultra des matériaux recyclés accessible sur https://www.petrecycling.ch/fr/home (consulté le 28/10/19)

Travaux de Kägi & Haupt

Collecte : les données relatives à la collecte des bouteilles PET en Suisse ont été établies à partir d'informations fournies par PRS qui organise le système de collecte pour recyclage des déchets de bouteilles PET boisson. Les données relatives à la collecte des bouteilles PEHD en Suisse ont été approximées par les données relatives à la collecte des bouteilles PET en Suisse. Les données relatives à la collecte des bouteilles PEHD en Europe ont quant à elles été construites à partir des données USA publiées dans le rapport Franklin de 2011 (NDLR : des informations incohérentes sont fournies sur la collecte des bouteilles PEHD ; un modèle de collecte suisse et un modèle de collecte européen sont effectivement fournis dans le rapport de 2017 ; dans les données 2018, trois modèles distincts de collecte sont donnés pour la Suisse mais aucun pour l'Europe ; une question sera posée aux auteurs sur ce sujet).

Tri : dans le cas du PET, le rapport de 2017 précise que les données de tri des déchets de bouteilles PET ont été établies en collectant des données auprès de trois des cinq centres de tri impliqués dans le tri de ces déchets d'emballages en suisse ; dans le cas du PEHD, les documents indiquent que les données ont été collectées auprès de centres impliqués dans le tri des bouteilles PEHD mais sans plus de précisions sur le nombre ou la représentativité des centres.

Transport entre le centre de tri et les régénérateurs : les modalités et distances de transport entre les centres de tri et les régénérateurs semblent également avoir été fournies par PRS dans le cas des déchets de bouteilles PET collectées en Suisse ; dans le cas des bouteilles PEHD, la source des données semble être la même que pour l'étape de collecte (extrapolation du cas PET pour la Suisse et extrapolation de données USA pour le modèle Europe (NDLR : les mêmes incohérences sont relevées pour cette étape que pour l'étape de collecte).

Choix méthodologiques et autres points clefs

- Co-produits

Collecte et tri des bouteilles PET : la collecte des déchets de bouteilles PET en Suisse est une collecte dédiée ; il ne devrait donc pas y avoir de co-produits destinés au recyclage qui sont collectés et triés en même temps que les déchets de bouteilles PET[12].

Collecte et tri des bouteilles PEHD : la collecte des déchets de bouteilles PEHD en Suisse est approximée par la collecte des bouteilles PET, la question de l'allocation de l'étape de collecte entre les bouteilles PEHD et d'autres emballages avec lesquelles elles seraient collectées en mélange n'est donc pas abordée. Concernant l'étape de tri, aucune précision n'est apportée sur des co-produits éventuels à l'étape du centre de tri ; le rapport de 2017 précise quant à lui qu'il n'y a pas d'allocation ; cette précision semble quelque peu étrange dans la mesure où en Suisse la collecte des bouteilles PEHD se fait en mélange avec d'autres résines et d'autres matériaux[13].

- Déchets résultant de l'input

Tri des déchets de bouteilles PET : un taux de refus de 8,3 % (83 kg pour 1 tonne de déchets entrant en centre de tri) est quantifié dans le rapport de 2017 ; ce taux est de 15 % (150 kg pour 1 tonne de déchets entrant en centre de tri) dans l'inventaire associé à la publication de 2018. Aucune justification n'est apportée quant à cette évolution.

Tri des déchets de bouteilles PEHD : un taux de refus de 9,05 % (90,5 kg pour 1 tonne de déchets entrant en centre de tri) est quantifié dans le rapport de 2017 ; ce taux semble être de 6 % (60 kg pour 1 tonne de déchets entrant en centre de tri) dans l'inventaire associé à la publication de 2018. Dans les données 2018, des taux de refus sont également proposés pour les autres résines collectés en mélange avec le PEHD : le taux de refus proposé est de 46 % pour le PEBD, 10 % pour le PET,

[12] A noter toutefois que, dans le cadre d'une conférence organisée par l'OFEV en 2017, une des présentations mentionne que PRS serait le collecteur le plus important de déchets plastiques des ménages avec 3600 t de déchets plastiques ménagers collectés du fait d'erreurs de tri (pour 50000 t de déchets de bouteilles PET collectés). Cf. Thomas Pohl, Vue d'ensemble des systèmes de collecte Suisses. Hochschule für Technik Rapperswil HSR. Disponible en téléchargement : https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/dechets/manifestations/tagung-kunststoffabfaelle-aus-haushalten-wohin-geht-die-reise.html. Consulté le 28/10/19.

[13] Cf. La présentation citée ci-dessus relative à la Vue d'ensemble des systèmes de collecte suisse : le graphique de la page 10 montre que les objets en PEHD ne représentent qu'une partie du flux collecté sélectivement (30 % environ et 60 % environ du flux faisant effectivement l'objet d'une valorisation matière).

Travaux de Kägi & Haupt

23 % pour le PP. Aucune justification ni raisonnement n'est apportée en soutien à ces différentes quantifications.

Compte tenu du formalisme adopté pour la présentation des inventaires dans le rapport de 2017 d'une part et dans le fichier excel accompagnant la publication 2018 d'autre part, nous comprenons que :

- La gestion ultérieure des refus par incinération était allouée au tri des plastiques dans les travaux de 2017 ;
- La gestion ultérieure des refus ne semble plus allouée au tri des plastiques dans les travaux de 2018.

Il s'agit ici d'une supposition de Bleu Safran car le sujet n'est pas explicité dans les documents (rapport 2017 ou publication 2018).

- Consommations et émissions

Comme mentionné précédemment, la collecte prend en compte les contenants de collecte (bacs et sacs) en plus du transport. Le tri en centre de tri semble tenir compte de la consommation d'énergie pour le fonctionnement des lignes de tri et des engins de manutention, les liens métalliques pour former les balles et les infrastructures.

Ces précisions sont des suppositions de Bleu Safran fondées sur le formalisme des inventaires et la connaissance métier ; en réalité, les aspects pris en compte ne sont pas explicités dans les travaux.

Remarques / point d'attention

Aucune opération de lavage (bacs ou camions de collecte) n'est considérée.

Etape de régénération

Données exploitables pour d'autres études

Les données de consommations et d'émissions relatives à la régénération du PET et du PEHD publiées dans le cadre de ces travaux semblent pouvoir être exploitées dans d'autres contextes où ces mêmes résines seraient recyclées à partir de déchets de bouteilles plastiques triées.

Dans le cas du PET, les données permettent de distinguer deux cas de figure :

- De production de granulés amorphes (NDLR : comme mentionné précédemment, nous allons vérifier auprès des auteurs s'il s'agit de granulés amorphes ou de paillettes PET) à partir des déchets de bouteilles PET triées.
- De production des granulés grade bouteille à partir des déchets de bouteilles PET triées.

Les données de régénération des bouteilles PEHD sont proposées pour modéliser la régénération du PP et du PS. De l'avis de Bleu Safran, les conditions d'applicabilité des données portant sur la régénération des bouteilles PEHD au cas du PP et du PS n'ont pas été examinées ; sauf en cas, d'approximation extrêmement grossière possible compte tenu de l'objectif et du périmètre des travaux, nous ne recommandons pas cette extrapolation.

Mode d'obtention des données « métier »

Régénération du PET : la visibilité sur les conditions d'obtention des données de régénération du PET n'est pas pleinement satisfaisante. Le rapport de 2017 précise que les données ont été collectées auprès de tous les régénérateurs (pour mémoire, il existe deux régénérateurs de PET en Suisse) ; la publication de 2018 précise quant à elle que les données ont été collectées via une communication personnelle de la part du directeur de PRS.

Régénération du PEHD : concernant la régénération du PEHD, le rapport de 2017 précise que les données ont été collectées auprès d'un site de régénération ; la publication de 2018 précise quant à elle qu'il s'agit d'une communication personnelle de la part d'un interlocuteur qui, après recherches, s'avère être le directeur d'Inno Recycling AG, cette société ayant effectivement une activité de régénération sous la dénomination Inno Plastics (PEHD, PEBD et PP).

Régénération du PP et du PS : aucune donnée collectée ; les données PEHD sont simplement supposées être applicables au cas du PP et du PS.

Travaux de Kägi & Haupt

Production d'huile légère à partir d'emballages PEHD : les données sont issues d'un pilote de laboratoire. Ce cas n'est pas détaillé dans la suite de cette fiche.

Choix méthodologiques et autres points clefs

- Co-produits

Co-produits lors de la régénération du PET : les considérations faites sur cette question sont différentes dans le cadre du rapport de 2017 et dans le cadre des inventaires associés à la publication 2018 :

- **Rapport 2017** : les déchets de bouchon en PEHD sont considérés comme un co-produit du PET recyclé. Les consommations et les émissions sont allouées à 99,5 % eu PET recyclé et à 0,05 % aux déchets de bouchons ; cette règle s'applique dans le cas des granulés de PET amorphe et dans le cas des granulés de PET aptes au contact alimentaire.
- **Publication 2018** : dans le cas des granulés de PET amorphe, 60 kg de déchets de bouchons PEHD et 10 kg de métaux (il n'est pas précisé s'il s'agit des liens des balles ou d'autres éléments associés aux bouteilles) sont considérés pour 1 tonne de déchets de bouteilles PET en entrée, celle-ci correspondant à 880 kg de PET amorphe recyclé en sortie ; aucune recommandation n'est formulée sur l'allocation qui pourrait être conduite. Dans le cas des granulés PET aptes au contact alimentaire, 70 kg de déchets PEHD bouchons, 15 kg de déchets de métaux et 190 kg de PET amorphe sont considérés pour 1 tonne de déchets de bouteilles PET en entrée, celle-ci correspondant à 680 kg de granulés PET grade bouteille recyclé produits en sortie. Aucune recommandation n'est formulée par les auteurs en ce qui concerne la résolution de la problématique d'allocation entre les co-produits.

Co-produits lors de la régénération du PEHD : aucun co-produit n'est considéré dans le cas de la régénération du PEHD ; ceci vaut pour le rapport 2017 et dans le cadre des inventaires associés à la publication 2018. Sur ce point, on peut s'étonner de l'absence de co-produits métalliques similaires au cas de la régénération des bouteilles PET, notamment parce que des liens métalliques sont également utilisés (et pris en compte au niveau du centre de tri) pour constituer les balles de PEHD.

- Déchets résultant de l'input

Régénération du PET : les considérations faites sur cette question sont différentes dans le cadre du rapport de 2017 et dans le cadre des inventaires associés à la publication 2018 :

- **Rapport 2017** : les déchets générés du fait de la séparation des impuretés / indésirables présents dans le gisement entrant ne sont pas explicités. En revanche, la lecture des donnés d'inventaire montre une quantité de déchets de 63 kg par tonne de granulé de PET amorphe produit ; la composition de ces déchets n'est pas précisée mais ils sont considérés comme orientés en incinération et ce traitement est alloué au recyclage du PET. De même, la lecture des données d'inventaire montre une quantité de déchets de 102 kg par tonne de granulé de PET grade bouteille produit ; la composition de ces déchets n'est pas précisée mais ils sont considérés comme orientés en incinération et ce traitement est alloué au recyclage du PET. Il est à noter que dans le cas du PET amorphe et dans celui du PET grade bouteille, il n'est pas formellement précisé si les quantités de déchets indiqués sont le résultat de l'allocation entre co-produits (on peut toutefois le supposer).
- **Publication 2018** : dans le cas des granulés de PET amorphe, 50 kg de déchets générés du fait de la séparation des impuretés / indésirables sont mentionnés pour 1 tonne de déchets de bouteille PET en entrée celle-ci correspondant à 880 kg de PET amorphe recyclé en sortie ; il est en outre précisé que ces déchets, dont la composition n'est pas indiquée, sont orientés en four cimentier. Dans le cas des granulés PET grade bouteille, 45 kg de déchets générés du fait de la séparation des impuretés / indésirables sont mentionnés pour 1 tonne de déchets de bouteille PET en entrée celle-ci correspondant à 880 kg de PET amorphe recyclé en sortie ; de même que pour le PET amorphe, il est précisé que ces déchets, dont la composition n'est pas donnée, sont orientés en four cimentier.

Régénération du PEHD : les considérations faites sur cette question sont différentes dans le cadre du rapport de 2017 et dans le cadre des inventaires associés à la publication 2018 :

Travaux de Kägi & Haupt

- **Rapport 2017** : les déchets générés du fait de la séparation des impuretés / indésirables présents dans le gisement entrant ne sont pas explicités ; en revanche, la lecture des donnés d'inventaire montre une quantité de déchets de 70 kg par tonne de granulé de PEHD produit ; ces déchets sont constitués à 80 % environ de déchets de papiers (les autres matériaux n'étant pas précisés) et sont orientés en incinération (ce traitement étant alloué au recyclage du PEHD).
- **Publication 2018** : une valeur de 150 kg de déchets générés du fait de la séparation des impuretés / indésirables sont mentionnés pour 1 tonne de déchets de bouteille PEHD en entrée celle-ci correspondant à 850 kg de granules PEHD recyclé en sortie. Il est par ailleurs précisé que ces déchets, dont la composition n'est pas donnée, sont orientés en incinération.

La question des pertes de la résine principale au cours de la régénération (pertes lors des étapes de tri mais également au cours de l'extrusion) n'est pas abordée.

- Consommations et émissions

Les consommations et émissions du procédé de régénération sont :

- Sont alloués entre les co-produits du PET recyclé et ne font pas l'objet de problématique d'allocation pour ce qui est du PEHD recyclé dans le cadre du rapport 2017.
- Font l'objet d'une problématique d'allocation qui est explicitée et qui reste à résoudre par l'utilisateur des données pour le PET recyclé comme pour le PEHD recyclé dans le cadre de la publication 2018.

Aucun autre déchet solide que ceux résultant de la séparation des impuretés / indésirables présents dans le gisement entrant ne semblent être comptabilisés dans les inventaires.

Aucune émission dans l'air n'est prise en compte ; le rapport 2017 comme la publication 2018 n'évoquent ni émissions de particules, ni émissions de COV.

Des rejets dans l'eau sont comptabilisés via la DCO et la prise en compte d'un flux orienté en station d'épuration.

Différents consommables utilisés pour le lavage, la séparation par flottaison et le traitement des eaux sont mentionnés. Dans le cas particulier des granulés PET grade bouteille, on n'observe pas de consommation d'azote.

		PET en kWh/t déchets entrant PET AM	PET en kWh/t déchets entrants PET GB	PEHD en kWh/t déchets entrants
Déchets entrant => granulés	Electricité	370	298	698
	Gaz naturel	70	120	185
	Chaleur autre que gaz	1 700	502	-
Total		**≈ 2 140**	**≈ 920**	**≈ 883**

PET AM : PET amorphe
PET GB : PET grade bouteille

Le tableau ci-dessus synthétise la consommation d'énergie finale prise en compte dans le cadre de la publication 2018 : attention, contrairement au cas des travaux Franklin, ces données sont exprimées par tonne de déchets entrant dans le process de régénération et non par tonne de plastique recyclée produite. Les enjeux potentiels de l'allocation sont potentiellement très importants si l'on cherche à quantifier la consommation d'énergie par tonne de résine recyclée en sortie (NDLR : une illustration didactique des différents choix possibles sera conduite dans une section dédiée).

La consommation d'énergie fait intervenir trois types d'entrant (électricité, chaleur produite à partir de gaz et chaleur produite à partir d'une autre source que le gaz) ; il n'est pas possible de savoir si la consommation des engins de manutention est prise en compte.

Remarques / point d'attention

Les emballages et solutions de conditionnement éventuels des résines recyclées en vue de leur expédition vers les utilisateurs ne semblent pas pris en compte : le sujet n'est pas abordé dans le corps du rapport et les données

Travaux de Kägi & Haupt

Applications / ratio de substitution entre plastique vierge et MPR

La question des applications ultérieures des résines recyclées n'est pas abordée dans ces travaux.

La question de la substitution entre les résines recyclées et les résines vierges n'est pas traitée dans le cadre du rapport de 2017. En revanche, des valeurs de substitution aux résines vierges sont proposées dans le cadre de la publication de 2018 :

- Une valeur de substitution de 1 pour 1 est proposée pour les granulés de PET grade bouteille recyclés ;
- Une valeur de substitution de 1 pour 0,95 est proposée pour les granulés de PET amorphe recyclés ; toutefois, le fichier excel en lien avec la publication de 2018, mentionne une valeur de 1 pour 1 et considère une substitution à du PET vierge amorphe.

Plusieurs valeurs de substitution sont considérées pour les granulés de PEHD recyclés produits. Ces considérations variant en fonction de la qualité supposée des granulés recyclés[14]. Trois niveaux de qualité sont distingués :

- Haute qualité : la substitution est de 1 pour 0,9
- Moyenne qualité : la substitution est de 1 pour 0,7
- Basse qualité : la substitution ne se fait plus par rapport à une résine vierge mais pour 50 % par rapport à du bois et pour 50 % par rapport à du béton

Comme dans le cas du PET recyclé, le fichier excel en lien avec la publication 2018, n'est pas cohérent avec les informations données dans le corps du texte.

Autres remarques

La différence de consommation énergétique entre la régénération d'une tonne de déchets de bouteille PET pour produire des granulés de PET amorphe d'une part et pour produire des granulés de PET grade bouteille d'autre part est très importante (facteur 2) ; par ailleurs, la hiérarchie observée nous questionne. Une interrogation sera adressée aux auteurs des travaux afin d'éclaircir ce constat (coquille éditoriale dans les données, éléments d'explication exogènes aux procédés eux-mêmes…)

E.2.4 Travaux de Shen L. et al.

Shen L. et al.

Titre et référence de la publication

Shen, Li & Worrell, Ernst & Patel, Martin. (2010). Open-loop recycling: A LCA case study of PET bottle-to-fibre recycling. Resources, Conservation and Recycling. 55. 34-52. 10.1016/j.resconrec.2010.06.014.

Objectifs des travaux

Approche descendante ☑ Approche ascendante

Cette étude porte sur le recyclage de déchets de bouteilles PET post-consommation en vue de produire du PET recyclé utilisé dans des applications textiles. Différents procédés de recyclage sont étudiés, dont :

- un procédé mécanique, permettant la production de fibres de PET recyclé discontinues (staple fibre) à partir de paillettes

[14] La notion de qualité des granulés de PEHD recyclé n'est pas définie ; aucune spécification technique ne permet de qualifier / quantifier cette caractéristique.

Shen L. et al.

- un procédé semi-mécanique, permettant la production de fibres de PET recyclé continues (filament) à partir de granules. Les auteurs considèrent qu'il s'agit d'un procédé semi-mécanique car la production du filament nécessite l'ajout d'éthylène glycol.
- deux procédés de recyclage chimique, permettant la production de fibres de PET recyclé continues (filament) : un procédé chimique par glycolyse et un procédé de méthanolyse avec retour au monomère.

L'objectif principal de ces travaux est de positionner les impacts environnementaux de la production de fibre issue de PET recyclé comparativement à de la fibre PET vierge.

En outre, les auteurs ont investigué différents choix méthodologiques explorant les enjeux d'allocation entre différents cycles de vie successifs[15].

La publication présente des résultats d'impacts établis pour les catégories midpoint de la méthode CML 2 baseline 2001 et de l'IPCC 2007.

L'unité fonctionnelle pour cette publication est « 1 tonne de fibre PET»

Périmètre des travaux

Polymères concernés

☑ PET PP PS PEHD PEBD Autres

Cette étude porte uniquement sur le PET avec des procédés permettant de produire de la fibre discontinue (staple) ou continue (filament), les procédés de recyclage et les applications n'étant pas les mêmes pour ces deux types de fibres.

Secteurs d'activité à l'origine des déchets et type de déchets

☑ Déchets post-consommation Déchets pré-consommation

Emballages
VHU
DEEE
Autres

L'étude porte sur des déchets d'emballages de type bouteilles.

Etapes de la chaine du recyclage prises en compte

Depuis la collecte et le tri des bouteilles de PET post-consommation, en incluant la production de paillettes ou de granules de PET recyclé (selon procédé) puis la production de fibres en PET recyclé (discontinues ou continues).

Représentativité géographique, temporelle

Provenance géographique des déchets plastiques

Cette information est peu développée, nous comprenons toutefois que les auteurs considèrent un approvisionnement de proximité des sites de régénération.

Localisation géographique de l'étape de régénération

En Europe (pays non précisé) en ce qui concerne le procédé de recyclage mécanique.

A Taiwan, pour les trois autres procédés de recyclage

Représentativité temporelle

[15] Ces questions méthodologiques ne sont pas développées dans le cadre de la présente étude. Le lecteur pourra prendre connaissance de l'étude SCORE-LCA « Boucles matières et boucles produit et ACV »

Shen L. et al.

Les données d'activité collectées sont relatives à l'année 2008.

Les données d'arrière-plan ainsi que les données relatives à la production de PET vierge sont antérieures à l'année 2008.

Etapes amont à la régénération de paillettes ou granules

Données exploitables pour d'autres études

Aucune donnée pour les étapes de collecte et tri (étapes négligées)

Mode d'obtention des données « métier »

Collecte de données auprès de régénérateurs en ce qui concerne la distance de transport des balles de bouteilles PET jusqu'aux sites de régénération.

Choix méthodologiques et autres points clefs

- Co-produits

Sans objet, car étapes négligées

- Déchets résultant de l'input

Sans objet, car étapes négligées

- Consommations et émissions

Sans objet, car étapes négligées

Remarques / point d'attention

Les auteurs ont fait l'hypothèse que les impacts environnementaux des étapes amont (collecte des bouteilles PET post-consommation, tri et mise en balles) devaient être très faibles en comparaison des impacts environnementaux associés aux étapes ultérieures de la chaine du recyclage, sans pour autant apporter d'éléments poussés de justification.

Ainsi, ils supposent que la seule étape amont à la régénération impliquant des impacts environnementaux significatifs était l'étape de transport des balles de bouteilles depuis les centres de tri jusqu'aux sites de régénération.

Le choix de négliger les étapes de collecte des bouteilles PET post-consommation ainsi que l'étape de tri pour l'obtention de balles de bouteilles PET constitue un point de fragilité pour ces travaux de comparaison entre fibre PET vierge et fibre PET recyclé.

Etape de régénération sous forme de paillettes ou de granulés (procédés mécaniques)

Données exploitables pour d'autres études

Quantités en entrée et en sortie des procédés de production de paillettes et granulés :

Etape	Entrée	Sorties
Production de paillettes de PET (procédés mécanisé et semi-mécanisé)	1,33-1,34 kg de PET sous formes de balles de bouteilles	1 kg de paillettes de PET + 0,09 à 0,14 kg de co-produits + 0,19 à 0,25 kg de déchets
Production de granulés en PET recyclé (procédé semi-mécanisé)	1,07 kg de paillettes PET	1,03 kg de granulés PET

Shen L. et al.

Mode d'obtention des données « métier »

Collecte de données auprès d'un industriel pour trois des procédés étudiés : recyclage mécanique (Wellman International, Europe de l'Ouest), recyclage semi-mécanique (Long John Group, Taïwan), glycolyse pour obtention d'oligomères (Far Eastern New Century Co, Taïwan).

Pour la méthanolyse avec retour au monomère, des données bibliographiques et des hypothèses ont été utilisées par les auteurs.

Ces données « métier » ne sont pas publiées, à l'exception des quantités en entrée et en sortie des procédés étudiés.

Les sections suivantes portent sur les procédés de recyclage mécanique uniquement.

Choix méthodologiques et autres points clefs

- Co-produits

Pour la production de paillettes en PET recyclé, les autres co-produits orientés vers un recyclage sont les suivants : métaux, papier, étiquettes en PVC, étiquettes en PEBD, bouchons en PEHD.

Les auteurs indiquent appliquer une allocation économique entre les co-produits du procédé de production des paillettes, sur la base des prix de vente transmis par le régénérateur. Toutefois, la publication ne précise pas de manière explicite quels sont les postes concernés par cette règle d'affectation.

Pour le cas étudié, le choix d'une allocation économique conduit à affecter moins d'impacts environnementaux aux co-produits qu'une allocation massique (5-6% contre 6-11%).

Pour la production de granules PET à partir de paillettes, il n'y a pas de co-produit à prendre en compte.

- Déchets résultant de l'input

Il s'agit de déchets extraits du flux entrant et envoyés soit en enfouissement, soit en incinération pour déchets municipaux. Pour les déchets dont la combustion permet la production de chaleur ou d'électricité, les auteurs ont eu recours à une expansion des frontières du système en définissant l'efficacité énergétique de l'incinération et le profil de l'électricité et de la chaleur évitée.

Bien que cela ne soit pas écrit explicitement, nous supposons que les impacts et les éventuels bénéfices environnementaux associés à la gestion des déchets résultant de l'input ont été affectés aux différents co-produits sur la base d'une allocation économique.

Par ailleurs, les auteurs restituent un indicateur de « material efficiency » qui correspond au ratio suivant : quantité de PET paillettes obtenues en sortie de process / quantité de balles de bouteilles PET entrant en process. On notera toutefois que ce ratio est centré sur le produit principal (PET) et ne rend pas compte des autres co-produits orientés vers un recyclage matière.

- Consommations et émissions

Pour la production de paillettes, bien que cela ne soit pas écrit explicitement, nous supposons que les impacts associés aux énergies et autres consommables ont été affectés aux différents co-produits sur la base d'une allocation économique.

Pour les déchets générés par le procédé (traitement des eaux de lavage), une approche identique à celle décrite pour les déchets résultant de l'input a été mise en œuvre.

Remarques / point d'attention

La question des pertes de la résine principale (PET) aux cours des étapes de régénération n'est pas abordée dans cette publication.

Des données rendues accessibles dans cette publication ne permettent pas de savoir si des émissions vers l'air – lors des étapes de production des paillettes et des granules de PET – ont été prises en compte ou non (ex : poussières, composés organiques volatils)

Shen L. et al.

Etapes de mise en œuvre des MPR plastiques

Données exploitables pour d'autres études

Production de fibres discontinues (staple) directement à partir de paillettes de PET recyclé

Les étapes suivantes sont mises en œuvre par Wellman selon cette publication : réception des paillettes / séchage / Extrusion à l'état fondu / Filtration / Filage / Finition

Production de fibres continues (filament) à partir de granules de PET recyclé

Les étapes suivantes sont mises en œuvre pas Long John Group selon cette publication : réception des granules de PET recyclé / Filage à chaud / Finition

Quantités en entrée et en sortie des procédés de production de fibres en PET recyclé :

Etape	Entrée	Sorties
Production de fibres PET discontinues (staple)	1,01 kg de paillettes de PER	1 kg de fibres PET discontinues
Production de fibres PET continues (filament)	1,03 kg de granulés de PET	1 kg de fibres continues en PET

Mode d'obtention des données « métier »

Cf. rubrique pour l'étape de régénération

Applications / ratio de substitution entre plastique vierge et MPR

Les auteurs ont considéré une équivalence de fonctionnalité des fibres recyclées et des fibres vierges, celle-ci étant intimement liée à la qualité des fibres obtenues. Ceci constitue une hypothèse selon les auteurs, leurs arguments étant les suivants :

- Dans le cas du recyclage mécanique et du recyclage semi-mécanique, la fibre recyclée peut atteindre la même qualité que la fibre vierge dès lors que le flux de déchets collecté est bien constitué de bouteilles PET et que les étapes amont sont en capacité de réaliser un tri satisfaisant et de retirer les impuretés.
- Il existe de multiples applications pour la fibre polyester et il sera toujours possible de trouver des applications appropriées utilisant de la fibre recyclé ou de la fibre vierge.

E.2.5 TRAVAUX DE WÄGER P. ET AL.

Wäger P. et al

Titre et référence de la publication

Patrick A. Wäger, Roland Hischier, Life cycle assessment of post-consumer plastics production from waste electrical and electronic equipment (WEEE) treatment residues in a Central European plastics recycling plant, Science of The Total Environment, Volume 529, 2015, Pages 158-167, ISSN 0048-9697, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.05.043

Objectifs des travaux

☑ Approche descendante ☑ Approche ascendante

Cette publication porte sur le traitement de plastiques issus d'équipements électriques et électroniques arrivés en fin de vie et s'appuie sur le cas spécifique d'un important producteur de plastiques recyclés européen mettant en œuvre une technologie de pointe pour traiter des résidus issus de DEEE constitués en majorité de plastiques ainsi que de métaux.

Les auteurs s'intéressent ainsi à deux perspectives d'analyse pertinentes pour les parties prenantes suivantes :

Wäger P. et al

- « *Customers providing the residues feedstock for the recycling plant* » : une perspective « gestion en fin de vie de déchets » des résidus plastiques/métaux est adoptée afin de comparer une gestion reposant sur l'envoi de ces résidus chez un régénérateur de plastiques à un autre mode de gestion de ces résidus (envoi en UIOM). L'unité fonctionnelle pour cette perspective est : 1 tonne de résidus de DEEE riches en plastiques
- « *Customers purchasing the post-consumer recycled plastics* » : une perspective « production de plastiques recyclés » dans l'objectif de comparer la production de plastiques vierges et de plastiques recyclés est développée. L'unité fonctionnelle pour cette perspective est : 1 tonne d'un mix de plastiques recyclés défini

La publication présente des comparaisons de résultats d'impacts établis pour les catégories endpoint et midpoint de la méthode ReCiPe et sous une forme relative uniquement (%).

La présente fiche porte sur la perspective la plus pertinente pour la présente étude, à savoir la perspective « production de plastiques recyclés » qui est présentée comme prenant en compte l'ensemble de la chaine de traitement pour les deux types de plastiques (recyclés / vierges).

Les auteurs précisent que de leur point de vue des travaux complémentaires mériteraient d'être menés sur la question du devenir des substances dangereuses présentes dans certains plastiques d'équipements électriques et électroniques, en particulier leur devenir via les fractions sortantes de l'étape de régénération.

Périmètre des travaux

Polymères concernés

PET ☑ PP ☑ PS PEHD PEBD ☑ Autres

Cette étude porte sur la production d'un mix de PP, PS et ABS recyclés issus du traitement mécanisé de DEEE. Ces trois polymères correspondent aux polymères ciblés par le régénérateur.

Les autres polymères pouvant être présents dans le flux entrant en régénération ne sont pas extraits en vue d'un recyclage.

Les résultats présentés dans cette publication ne sont pas différenciés par polymère.

Secteurs d'activité à l'origine des déchets et type de déchets

☑ Déchets post-consommation Déchets pré-consommation

Emballages
VHU
DEEE
Autres

Etapes de la chaine du recyclage prises en compte

Les étapes amont à l'envoi des résidus riches en plastiques en régénération qui ont été considérées dans cette publication sont a priori les suivantes :

- Une étape de collecte puis de traitement des équipements électriques et électroniques contenant des plastiques
- le transport d'une fraction riche en plastiques et en métaux ferreux et non ferreux jusque chez le régénérateur (distance de 250 km)

Selon notre compréhension, aucune étape additionnelle de séparation métaux/plastiques ou encore de tri des plastiques avec et sans retardateurs de flamme n'a été considérée (cette séparation constitue une exigence réglementaire en France mais pas nécessairement dans les autres pays européens).

Bien que cela ne soit pas explicitement précisé, nous comprenons que les MPR plastiques se présentent exclusivement sous forme de granules.

Wäger P. et al

Représentativité géographique, temporelle

Provenance géographique des déchets plastiques

Les déchets réceptionnés par le régénérateur de plastiques correspondent à une fraction riche en plastiques, issue du traitement de DEEE et en provenance de toute l'Europe.

Localisation géographique de l'étape de régénération

La régénération permettant la production des MPR plastiques est localisée en Autriche chez MGG.

Représentativité temporelle

Etapes amont à la régénération

Données exploitables pour d'autres études

Non concerné, aucune donnée d'activité spécifique n'a été collectée.

Mode d'obtention des données « métier »

Il n'y a pas eu de collecte de données spécifiques pour les étapes amont. Pour ces travaux, les auteurs ont utilisé comme proxy un inventaire générique existant dans ecoinvent v2.2 : "disposal, industrial devices, to WEEE treatment (CH)", cet inventaire s'appuyant pour partie sur des données datant de 2005. Cet inventaire prend un compte un mix de traitement des DEEE (traitement manuel et traitement mécanisé) et considère, pour l'étape de collecte des DEEE, des données représentatives de la Suisse. Par ailleurs, des hypothèses sont considérées par exemple en ce qui concerne les émissions de métaux vers l'air.

Choix méthodologiques et autres points clefs

- Co-produits

Les auteurs précisent que les étapes de collecte/séparation des DEEE ont été affectées à la production de plastiques recyclés sur la base d'une allocation économique entre les différentes fractions sortantes du traitement des DEEE, c'est-à-dire entre la fraction riche en plastiques et en métaux envoyée chez le régénérateur de plastiques et les autres fractions sortantes. Toutefois, la publication n'apporte pas d'information détaillée sur les modalités de calcul des coefficients d'affectation économique.

- Déchets résultant de l'input

Des « déchets résultant de l'input » peuvent être générés à différentes étapes de la chaine de traitement des DEEE, en particulier lorsqu'un tri des résidus constitués de plastiques en mélange est réalisé afin de séparer les plastiques sans RFB (teneur en brome < seuil réglementaire) des plastiques bromés qui devront être orientés vers une voie d'élimination adaptée à la réglementation.

La publication ne précise pas si la gestion/élimination des déchets résultant de l'input générés en amont de la régénération est affectée ou non aux flux sortants ayant une valeur économique, ou si un autre choix méthodologique a été fait. En revanche, les étapes amont ayant été modélisées via l'inventaire ecoinvent « disposal, industrial devices, to WEEE treatment (CH) », la documentation consultée montre que cet inventaire inclut l'envoi en incinération de type UIOM des résidus de broyage. Deux aspects méritent ainsi d'être soulignés :

- Les résidus de broyage contiennent une forte proportion de plastiques et constituent d'ailleurs la fraction sortante principale pour les plastiques contenus dans les équipements (ce qui diffère donc d'une gestion conduisant à orienter principalement les plastiques vers un régénérateur)
- Pour certains indicateurs comme la contribution au changement climatique, la gestion en UIOM des résidus de broyage (majorité de plastiques) est le principal contributeur aux impacts de l'étape de traitement mécanisé des DEEE.

Wäger P. et al

- Consommations et émissions

La publication n'apporte pas de précision sur la nature des consommations et des émissions prises en compte pour les étapes amont, notamment en relation avec la nature des étapes et leur localisation géographique. Ces informations, basées sur un inventaire existant dans ecoinvent v2.2, sont toutefois accessibles dans la documentation ecoinvent [16].

Remarques / point d'attention

L'analyse des informations publiquement accessibles concernant la prise en compte des étapes amont à l'étape de régénération amène à plusieurs remarques :

- Compte tenu du choix d'utiliser un inventaire générique existant comme proxy plutôt que ces données spécifiques :
  - Les DEEE sont considérés comme étant en partie dépollués et traités manuellement, ce qui peut ne pas être représentatif des modes de traitement mis en œuvre pour obtenir les fractions riches en métaux et plastiques envoyées chez le régénérateur étudié ;
  - Lors de l'étape de dépollution/traitement, les plastiques sont considérés comme principalement orientés vers les résidus de broyage envoyés en incinération (les impacts de cette gestion étant inclus dans l'inventaire de cette étape) et non vers une fraction sortante orientée vers un régénérateur de plastiques. La gestion de ces plastiques est donc affectée à toutes les fractions sortantes, y compris les fractions métalliques ;
  - La modélisation réalisée ne vise pas à être représentative de la diversité des approvisionnements possibles chez le régénérateur (en termes de provenance géographique par exemple).
- une affectation économique de l'étape de collecte des DEEE et l'étape de dépollution/traitement des équipements en fin de vie entre les sortants de cette étape peut conduire à affecter majoritairement les impacts en jeu aux fractions riches en métaux (métaux ferreux, mélange de métaux non ferreux, cuivre, cartes électroniques…)

On note que le graphique de résultats montrant les contributions respectives des différentes étapes du système aux impacts midpoint (figure 4) met en évidence une contribution limitée des étapes amont (appelées « WEEE treatment »), à l'exception notable des indicateurs d'écotoxicité.

De notre point de vue, il existe une possibilité pour que la modélisation des étapes amont soit relativement simplifiée.

Etape de régénération sous forme de granulés

Données exploitables pour d'autres études

Aucune, car les données d'activité recueillies après du régénérateur ne sont pas publiées.

Mode d'obtention des données « métier »

Collecte de données d'activité réalisée auprès d'un opérateur, à savoir MGG situé en Autriche.

Choix méthodologiques et autres points clefs

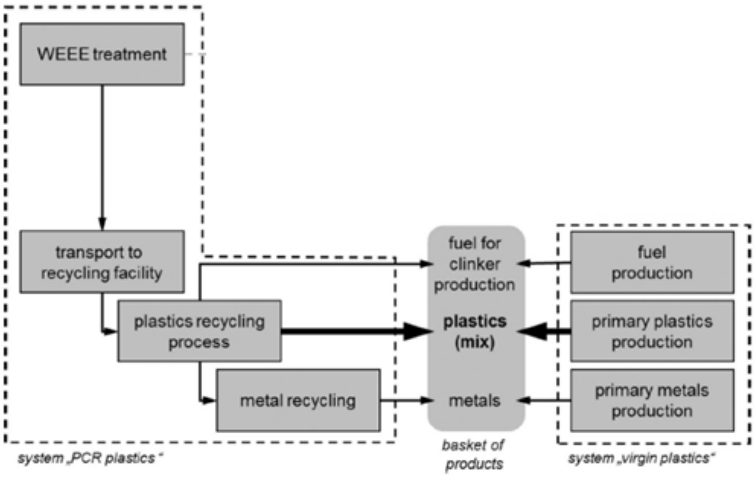
- Co-produits

Compte tenu de la nature du flux entrant, à savoir des résidus broyés contenant majoritairement des plastiques mais également des métaux, les autres sortants du procédé destinés au recyclage sont des métaux : de l'acier, de l'aluminium et du cuivre selon cette publication.

[16] Hischier R., Classen M., Lehmann M. and Scharnhorst W. (2007) Life cycle inventories of Electric and Electronic Equipment: Production, Use and Disposal. ecoinvent report N°18.

Wäger P. et al

Dans cette étude, les auteurs ont procédé à une extension des frontières du système en définissant un panier de produits (« basket of products ») rattaché à l'unité fonctionnelle, à savoir la production d'une tonne d'un mix donné de PP, PS et ABS recyclés.



Extrait de la figure 1, page 161

Ainsi, ce panier de produits inclut les métaux présents dans les résidus entrants (acier, aluminium et cuivre) et, outre les impacts du régénérateur de plastiques, les impacts des étapes de recyclage des métaux secondaires sont rattachés à l'unité fonctionnelle « produire une tonne d'un mix donné de plastiques recyclés ». La publication indique que des inventaires génériques présents dans ecoinvent v2.2 et représentatifs de l'Europe ont été utilisés pour modéliser la production des métaux secondaires[17].

Pour le système alternatif étudié, à savoir le système « plastiques vierges » conduisant à la production d'une tonne d'un mix donné de plastiques, l'extension des frontières du système conduit à inclure la production de métaux primaires à proportion des métaux secondaires obtenus en sortie de l'unité de régénération. Leur production a également été modélisée avec des inventaires présents dans ecoinvent v2.2.

- Déchets résultant de l'input

Lors du traitement chez le régénérateur de plastiques, des matériaux indésirables non recyclables sont écartés (ex : bois, verre, mousses…) ainsi que les plastiques non ciblés par le régénérateur (plastiques chargés, polymères non ciblés).

Dans cette publication, les auteurs ont considéré que déchets résultant de l'input, principalement constitués de plastiques non ciblés par le process, sont valorisés en cimenterie, en remplacement de combustibles fossiles conventionnels.

Les auteurs ne disposant pas d'inventaires adaptés pour modéliser la combustion de ces plastiques en cimenterie (absence de coefficients de transfert pour les métaux et pour le brome entre les différentes sorties d'une cimenterie), l'étape de combustion en cimenterie n'est pas prise en compte. Par ailleurs, il n'est pas fait mention d'une étape de préparation des déchets en vue d'obtenir un CSR répondant aux spécifications des cimentiers.

Compte tenu de la méthode d'extension des frontières du système mise en œuvre, le système alternatif « plastiques vierges » intègre donc des étapes de production de combustibles conventionnels, selon un mix 50% fuel lourd / 50% charbon.

- Consommations et émissions

[17] Voir "supplementary data" : "Datasets "aluminium, secondary, from old scrap, at plant", "copper, secondary, at refinery", and "steel, electric, un- and low-alloyed, at plant" from ecoinvent v2.2 are used. In all three ecoinvent datasets, the input flow of the secondary metal has been deleted (in order to model the further treatment steps only)

Wäger P. et al

La publication apporte des précisions limitées sur :

- les types de consommations énergétiques et les autres consommables de l'installation de régénération. Ainsi, la nature des consommations modélisées est précisée (ex : électricité, gaz naturel, eau, noir de carbone, produits chimiques organiques) mais aucune donnée quantifiée n'est rendue publique.
- les déchets pouvant être produits par le procédé de régénération (ex : boues générées par les tris densimétriques utilisant des densités différentes de 1)

En ce qui concerne les émissions vers l'environnement, les auteurs précisent que la modélisation par défaut ne considère pas d'émissions de brome, de métaux lourds ou de composés organiques volatils lors de l'étape de régénération en raison d'un manque de données accessibles auprès du régénérateur. Il n'est pas davantage fait mention d'émissions de poussières non métalliques.

Remarques / point d'attention

Le choix d'une extension des frontières du système pour évaluer la production de plastiques recyclés à partir de résidus broyés résultant d'un traitement mécanisé des DEEE conduit à inclure dans l'évaluation les métaux initialement présents dans les résidus entrant en régénération ainsi que les plastiques non ciblés par le régénérateur.

Ainsi, l'unité fonctionnelle étudiée porte sur la production d'une tonne d'un mix plastiques donné, mais le flux de référence intègre, au-delà des plastiques recyclés, des quantités de plastiques non cibles (bénéfices associés à leur utilisation en tant que CSR en cimenterie) et des quantités de métaux (impacts de leur recyclage et bénéfices associés à la substitution matière). Ainsi, le bilan est établi pour l'ensemble de ces matériaux mais les résultats sont ramenés aux seules quantités de plastiques recyclés produits.

Les résultats obtenus par les auteurs pour les indicateurs midpoint et endpoint montrent la contribution importante des métaux dans le système « plastiques recyclés » et dans le système « plastiques vierges » et de la production de combustibles fossiles destinés à la production de ciment pour le système « plastiques vierges ». Voir figure ci-après extraite de la publication.

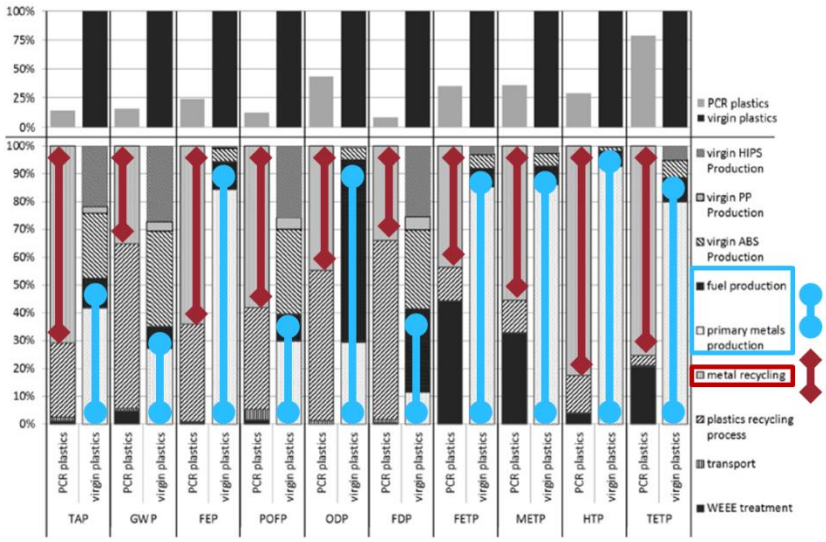


Fig. 4. **Environmental impacts associated with the production of 1 tonne of plastics from post-consumer recycling (PCR plastics) and primary production (virgin plastics)** (upper part: total values, relative to the option with the higher impacts; lower part: split into the individual process steps for each option).

Shown are the ReCiPe mid-point indicators terrestrial acidification potential (TAP), global warming potential (GWP), freshwater eutrophication potential (FEP), photochemical oxidant formation potential (POFP), ozone depletion potential (ODP), fossil depletion potential (FDP), freshwater ecotoxicity potential (FETP), marine ecotoxicity potential (METP), human toxicity potential (HTP), and terrestrial ecotoxicity potential (TETP).

La mise en œuvre d'une telle approche conduit à des résultats très dépendants de :

- la nature et de la proportion de métaux présents dans les résidus de traitement des DEEE orientée chez un régénérateur de plastiques, celles-ci étant fonction des étapes précédentes de traitement des DEEE. Par exemple, si la séparation métaux/plastiques est mieux faite en amont, le régénérateur de plastiques recevra un mix moins riche en métaux, ce qui dégradera le différentiel d'impacts en faveur du système « production d'un mix de plastiques recyclés ».

Wäger P. et al

- la proportion, de la nature des plastiques non ciblés (enjeux liés au PCI, à la composition élémentaire des plastiques concernés (cf. présence d'halogènes, de charges, etc.)) ainsi que de leur gestion effective.

  A notre connaissance, les plastiques non ciblés peuvent représenter une proportion significative des résidus entrants en régénération (plusieurs dizaines de pourcents) et ne sont pas systématiquement orientés vers des modes de valorisation énergétique performants telle que la production de CSR pour les cimentiers. En fonction de la présence ou non de substances soumises à restriction (ex : retardateurs de flamme), ils peuvent également être orientés en enfouissement ou en incinération de type UIOM, voire en UIDD, ce qui conduirait à d'autres résultats que ceux obtenus en considérant une valorisation sous forme de CSR en cimenterie.

Etapes de mise en œuvre des MPR plastiques

Non concerné. Cette publication n'inclut pas la prise en compte d'étapes de mise en œuvre des granules de plastiques recyclés ou des granules de plastiques vierges.

Applications / ratio de substitution entre plastique vierge et MPR

Les auteurs ont considéré un ratio de substitution de 1 pour 1 entre les plastiques recyclés et les plastiques vierges.

Toutefois, ils précisent également que les caractéristiques techniques des plastiques recyclés produits ne correspondent pas exactement à celles des plastiques vierges. En conséquence, les plastiques recyclés peuvent remplacer les plastiques vierges dans les cas d'application où leurs spécifications techniques sont conformes aux spécifications du client, ou peuvent être modifiées grâce à des additifs (tels que des modifiants choc) pour répondre aux spécifications souhaitées.

E.3 POINTS CLES A RETENIR

Cette revue de la littérature a permis de mettre en évidence un certain nombre d'enjeux quant aux pratiques actuelles en termes de modélisation ACV du recyclage des plastiques.

Des étapes amont à la régénération parfois sous-estimées

Selon les études, la prise en compte des étapes de gestion depuis la collecte jusqu'à l'entrée en régénération peut se révéler insuffisamment explicitée et documentée, voire être conduite de manière simpliste. Dans certains cas, ces étapes amont à la régénération sont mêmes exclues car supposées être négligeables.

Or, dans le cadre de filières de gestion de déchets post-consommateur, la contribution environnementale des étapes amont à l'entrée en régénération doit être considérée comme significative en comparaison des étapes de régénération et doit à ce titre être analysée et quantifiée avec le même soin que ces dernières étapes.

Une granularité variable des travaux visant à établir des ICV de plastiques recyclés

Les travaux qui visent à établir le profil environnemental de plastiques recyclés appréhendent la nature des plastiques recyclés de manière variable :

- Certains précisent le type de format qui est couvert (ex: paillettes, broyés, granulés).
- D'autres établissent des profils couvant la diversité des formats produits aux bornes d'un régénérateur ou d'un groupe de régénérateurs sans par ailleurs documenter le mix de formats qui est ainsi couvert.

Ce point est à considérer au regard du fait que l'utilisation d'un plastique recyclé peut être tributaire de son format (et plus généralement de l'ensemble de ses caractéristiques). Le passage d'un format à un autre, par exemple la transformation de paillettes plastiques sous forme granulés ou sous forme granulés aptes au contact alimentaire, nécessite la mise en œuvre d'étapes dont la contribution au profil environnemental peut être significative.

Comptabilisation de la gestion ultérieure des flux sortants des étapes de gestion autres que le flux contenant les plastiques cibles

Sauf cas d'exception, les étapes amont à la régénération produisent différents flux sortants, ceux-ci étant tous des flux de déchets. Un des flux peut être considéré comme le flux cible qui contient la ou les résines cibles ; il est destiné à poursuivre son cheminement dans la succession d'étapes nécessaires en vue du recyclage des résines cibles. Les autres flux sortant (flux non cibles) vont quant à eux poursuivre une gestion qui leur est propre, en fonction de leur composition et de leurs caractéristiques, des objectifs de valorisation et de dépollution/traitement auxquels ils doivent répondre.

Les règles suivies par les auteurs en termes de comptabilisation de la gestion ultérieure de ces flux sortants autres que le flux cible sont rarement explicitées de manière très claire. On peut toutefois observer une variabilité de pratiques.

Certains auteurs comptabilisent la gestion ultérieure des flux non cibles, que ces flux soient destinés *in fine* à un traitement ou à des opérations de valorisation. Les opérations de valorisation peuvent être comptabilisées en suivant les règles d'extension des frontières du système : des bénéfices de substitution énergétique (par exemple, dans le cas d'une valorisation d'un flux non cible sous forme de CSR dans des installations à performances énergétiques élevées) ou matière (par exemple, dans le cas d'une fraction riche en métaux qui peuvent faire l'objet d'un recyclage) sont alors affectés au recyclage des plastiques cibles ou à la production de plastique recyclé.

D'autres auteurs procèdent plutôt en considérant les flux non cibles qui sortent d'une étape donnée comme des co-produits du flux cible ; les impacts de cette étape sont alors répartis entre les différents co-produits dont le flux non cible.

En fonction des objectifs des travaux, ces différentes orientations méthodologiques peuvent ou non être justifiées. Dans tous les cas, il faut être conscient du fait que leur influence sur les résultats peut s'avérer notable, notamment dans le cas du recyclage de plastiques de déchets post-consommation de produits complexes.

Affectation des charges d'une étape de gestion entre les différents « co-produits »

Lorsque les divers flux sortants d'une étape sont considérés comme autant de co-produits, la littérature montre que les auteurs peuvent adopter des règles variables quant à l'affectation de ces charges entre les co-produits :

- Certains affectent l'intégralité des charges au seul flux cible ; les autres co-produits ne reçoivent alors aucune charge du fait de l'étape considérée.
- D'autres auteurs procèdent à une affectation des charges entre les co-produits ; certains procèdent par affectation massique ; d'autres par affectation économique.

On relève également qu'au sein d'une même étude, les règles d'affectation suivies peuvent différer selon les « postes » de charge considérés (ex : consommations énergétiques, gestion des déchets) ou selon le type de co-produit.

Les données d'activité relatives aux émissions/rejets des procédés ne sont pas toujours explicitées

Cela peut révéler un risque de prise en compte inadéquate de certains rejets, par exemple des émissions de poussières, de composés organiques volatils ou encore de micro-plastiques.

F. RECOMMANDATIONS EN MATIERE DE TRANSPARENCE ET DE MISE EN ŒUVRE METHODOLOGIQUE

Les précédentes sections ont permis de mettre en évidence que plusieurs enjeux méthodologiques peuvent exister lorsque l'on souhaite conduire des travaux d'évaluation environnementale en lien avec le recyclage des plastiques.

Cette section est quant à elle plutôt dédiée à des recommandations et discussions relatives à la mise en œuvre méthodologique.

Une première partie de la section relève véritablement du champ des recommandations (i.e. recommandations de Bleu Safran) ; elle est consacrée à la question de la traçabilité et de la transparence de travaux d'évaluation environnementale portant sur la question du recyclage des plastiques. Dans cette perspective, nous avons établi une « fiche » qui recense et structure les aspects qui méritent d'être documentés et restitués lorsque des résultats d'évaluation environnementale portant sur le recyclage des plastiques sont diffusés. Cette fiche s'organise en quatre catégories de rubriques :

- Rubriques A | Portée de l'évaluation
- Rubrique B | ACV attributionnelle / ACV conséquentielle / Autre
- Rubrique C | Périmètre
- Rubriques D | Règles méthodologiques de comptabilisation et d'affectation

Une seconde partie permet d'apporter des explications complémentaires et d'éclairer les enjeux sous-jacents des rubriques qui doivent selon nous être documentées. Certaines options méthodologiques sont discutées en lien avec des objectifs et contextes d'évaluation environnementale différents. Notre point de vue (i.e. le point de vue de Bleu Safran) est parfois présenté dans cette partie.

F.1 FICHE D'IDENTITE ET D'ORIENTATIONS METHODOLOGIQUES : NOS RECOMMANDATIONS

Cette fiche expose à notre sens l'ensemble des aspects qui méritent d'être documentés et diffusés en accompagnement des résultats d'une évaluation environnementale en lien avec le recyclage des plastiques, a fortiori si ces résultats consistent dans un ICV ayant vocation à être exploité par des tiers.

A | Portée de l'évaluation

A1 | Identification/caractérisation du plastique cible

Le plastique cible est le plastique qui est retraité en MPR par l'opération de recyclage.

La caractérisation du plastique cible doit indiquer :

- Le polymère
- Les couleurs si pertinent (ex : PET clair / PET foncé)
- Les charges ou additifs si pertinent (ex : PP non chargé ou faiblement chargé c'est-à-dire restant dans une gamme de densité < 1)
- Toutes autres caractéristiques qui conduiraient à la définition d'une cible plus limitée que la cible définie par les trois caractéristiques précédentes (ex : plastique n'ayant pas été en contact avec des substances dangereuses ou plastique n'ayant pas été en contact avec de l'huile ou du vinaigre[18]).

A2 | Identification/caractérisation de la MPR

La caractérisation de la MPR obtenue à l'issue du recyclage doit indiquer :

- Le polymère (PP) ou le mélange de polymères (ABS/PC).
- Le format physique (le mix de formats dans le cas où plusieurs formats sont couverts) : broyés, paillettes, poudre, granulés, autres (à préciser).
- La couleur : transparent, bleuté, gris, noir, blanc, couleurs en mélange, autres (à préciser).
- L'aptitude au contact alimentaire.
- La nature et le taux de charge éventuel (ex : PP chargé talc à 40 %).
- Toutes autres caractéristiques qui conduiraient à une utilisation différente de la MPR que l'utilisation qui pourrait être envisagée à partir des quatre caractéristiques précédentes (ex : valeur IZOD[19], valeur MFI[20]….)

Dans le cas où plusieurs MPR seraient couvertes par les travaux, cette rubrique doit être dupliquée pour chacune des MPR.

A3 | Type d'approche

Dans le cas d'une approche descendante, les déchets contenant le plastique cible étudié constituent le point de départ de la description du système de recyclage étudié. La description de ce système se fait de proche en proche de l'amont vers l'aval jusqu'à la MPR produite par les régénérateurs.

Dans le cas d'une approche ascendante, les régénérateurs du plastique cible étudié, voire la MPR telle que définie précédemment, constituent le point de départ de la description du système de recyclage étudié. La description se fait de proche en proche de l'aval vers l'amont jusqu'à l'origine des déchets contenant le plastique cible.

---

[18] Sur l'exclusion des bouteilles ayant contenu de l'huile ou du vinaigre de la cible PET voir par exemple https://www.petrecycling.ch/fr/collecter/que-collecter, dernière consultation le 01/07/2020. Cette exclusion ne s'applique pas pour la filière française de recyclage du PET.

[19] IZOD est une méthode d'évaluation de la résistance aux chocs des plastiques

[20] MFI pour Melt Flox index ou indice de fluidité. Il renseigne sur l'extrudabilité ou l'injectabilité de la matière plastique

Il doit être précisé si le système de recyclage étudié est décrit selon :

- ☐ une approche **descendante**
- ☐ une approche **ascendante**

A4 | Identification/caractérisation des déchets contenant le plastique cible étudié

Il s'agit ici de préciser les catégories de déchets contenant le plastique cible qui sont concernés par les travaux :

- ☐ **Déchets post-consommateurs d'origine ménagère ou industrielle :**
  - ☐ Déchets d'emballages et le cas échéant sous-catégorie éventuelles (ex : déchets de bouteilles et flacons)
  - ☐ Déchets de DEEE et le cas échéant sous-catégorie éventuelles (ex : GEM F, PAM)
  - ☐ Déchets de VHU
  - ☐ Déchets du bâtiment
  - ☐ Déchets agricoles
- ☐ **Déchets pré-consommateurs :**
  - ☐ Chutes de production (préciser le secteur)
  - ☐ Produits déclassés (préciser le secteur)

Dans le cas d'une **approche descendante**, la ou les catégorie(s) de déchets contenant le plastique cible constituent le point de départ.

Dans le cas d'une **approche ascendante**, la ou les catégorie(s) de déchets contenant le plastique cible constituent le point d'arrivée.

A5 | Représentativité géographique

Dans le **cas d'une approche descendante** où le plastique cible contenu dans les déchets produits dans un pays donné peut être in fine régénéré dans des pays différents, il convient de préciser :

- ☐ Origine géographique des déchets
- ☐ Localisation(s) géographique(s) des régénérateurs

Dans le **cas d'une approche ascendante** où le(s) régénérateur(s) localisés dans un pays donné peuvent recevoir des déchets contenant le plastique cible qui proviennent de différents pays, il convient de préciser :

- ☐ Localisation géographique des régénérateurs
- ☐ Origine(s) géographique(s) des déchets

A6 | Unité de référence

Lorsque l'évaluation est rapportée à une unité de référence (kg par exemple), cette unité doit être précisée sans ambiguïté. Il s'agit notamment d'indiquer si cette unité se réfère :

- ☐ A la MPR produite
- ☐ Aux déchets

Si l'unité se réfère à la MPR et que plusieurs MPR sont couvertes par les travaux alors que l'évaluation n'est pas déclinée pour chacune des MPR, il convient de préciser la composition du mix MPR auquel se réfère l'unité.

Cet aspect doit être traité en cohérence avec la rubrique A2.

Par exemple, dans le cas d'une étude portant sur le recyclage du PET clair qui couvre à la fois le cas de la régénération sous forme de paillettes rPET et le cas de la régénération sous forme granulés rPET aptes au contact alimentaire, il peut être envisagé :

- soit de calculer des résultats par kg de rPET paillettes d'une part et par kg de rPET granules d'autre part

- soit de calculer des résultats par kg de mix rPET paillettes et rPET granules

Dans cette seconde option, il est alors attendu que soit précisé la proportion de rPET paillettes et celle de rPET granules dans ce mix.

Si l'unité se réfère aux déchets et que plusieurs catégories de déchets sont couvertes par les travaux alors que l'évaluation n'est pas déclinée pour chacune des catégories de déchets, il convient de préciser la composition du mix déchets auquel se réfère l'unité.

Cet aspect doit être traité en cohérence avec la rubrique A4.

De plus, si l'unité se réfère aux déchets, il est alors nécessaire d'identifier en quel point de la chaîne de gestion cette unité est mesurée :

- ☐ Déchets entrant en régénération
- ☐ Déchets collectés
- ☐ Autre point (à préciser)

Par exemple, dans le cas d'une étude portant sur le recyclage du PET clair dont les résultats seraient rapportés à la tonne de déchets de bouteilles PET, il est alors attendu de préciser s'il s'agit de la tonne de balles de déchets de bouteilles PET entrant en régénération, s'il s'agit de la tonne de déchets de bouteilles PET entrant dans le centre de tri, voire même de la tonne de déchets de bouteilles PET produites par les consommateurs.

B | ACV attributionnelle / ACV Conséquentielle / Autre

Il doit être précisé si les travaux d'évaluation sont conduits selon une approche :

- ☐ ACV Attributionnelle
- ☐ ACV Conséquentielle
- ☐ Autre (à préciser)

En dehors des évaluations de type ACV, d'autres méthodes d'évaluation peuvent être envisagées telles que des méthodes dédiées à des approches organisation (par exemple OEF ou Bilan GES).

C | Périmètre

En considérant un périmètre qui couvre l'intégralité des étapes depuis la collecte des déchets jusqu'à la production de la MPR, en intégrant les étapes de traitement, de préparation ainsi que toutes les étapes de transport intermédiaire, il doit être précisé :

- ☐ Les étapes prises en compte dans l'évaluation
- ☐ Les étapes exclues de l'évaluation

Chaque catégorie de déchets répond à une succession d'étapes spécifiques entre la collecte et la régénération (ex : pour du PP, la succession d'étapes entre la collecte des déchets contenant cette résine cible et la production de MPR est différente dans le cas des emballages, des VHU ou du PAM des DEEE).

Par ailleurs cette succession d'étapes peut également varier en fonction des pays.

La description des étapes prises en compte et celles qui sont exclues se doit d'être déclinée pour chacune des catégories de déchets et en fonction de l'origine géographique de ces catégories de déchets.

D | Règles méthodologiques de comptabilisation et d'affectation

A l'exclusion des étapes de collecte et transport qui peuvent être plus simples, chacune des étapes qui interviennent dans la gestion d'un déchet vers le recyclage se caractérise par le fait qu'elles opèrent une transformation des flux; en effet, ces étapes présentent :

- Un ou plusieurs flux de déchets en entrée, dont l'un au moins contient du plastique cible ;
- Un ou plusieurs flux de déchets en sortie qui sont différents, en termes de dénomination et de composition, des flux en entrée ; chacun des flux sortant fait l'objet d'une gestion

spécifique ultérieure qui peut ou non aboutir à des opérations de recyclage, valorisation ou élimination sur tout ou partie des différents constituants de ces flux.

– Un ou plusieurs des flux sortant contient du plastique cible.

Par exemple, un centre de tri des déchets d'emballages ménagers reçoit en entrée, en fonction du schéma de collecte, des flux de type BCMPJ, BCMP, BMP ; il produit en sortie des flux de balles d'emballage acier, d'emballage aluminium, de bouteilles PET clair, etc, ainsi que des refus de tri ; les premiers flux sont gérés en vue d'un recyclage ultérieur alors que les refus de tri sont plutôt destinés à de la valorisation énergétique ou géré en stockage.

Pour la clarté ultérieure du propos, le ou les flux sortant contenant du plastique cible qui sont ensuite gérés en vue du recyclage de ce plastique cible sont désignés comme le(les) **flux cibles**. Lors de la dernière étape – celle de régénération – le flux cible coïncide avec le flux de MPR produite.

Par exemple, dans le cadre d'un centre de tri des déchets d'emballages, les balles PET clair sortant du centre de tri constituent le flux cible dans le cadre d'une évaluation portant sur le recyclage du PET clair.

D1 | Comptabilisation des impacts et bénéfices de la gestion ultérieure des flux non cibles

Les travaux doivent se positionner sur les règles de comptabilisation des impacts et bénéfices de la gestion ultérieure des différents flux sortants d'une étape. Il conviendra plus précisément d'aborder la gestion ultérieure des flux non cibles en distinguant le cas des autres constituants que le plastique cible et celle de la part de plastique cible qui entre dans la constitution de ces flux (part de plastique cible perdue pour le recyclage).

D11 | Gestion ultérieure des flux non cibles - autres constituants que le plastique cible

Les impacts de la gestion ultérieure des autres constituants que le plastique cible qui se trouvent en sortie d'étape dans les flux non cibles est-elle prise en compte dans le cadre de l'évaluation ?

- ☐ Non
- ☐ Oui si ces constituants font *in fine* l'objet d'une élimination
- ☐ Oui si ces constituants font *in fine* l'objet d'un traitement autre que du recyclage
- ☐ Oui
- ☐ Autres règles (à préciser)

La règle de comptabilisation doit être justifiée au regard des objectifs de l'évaluation.

Dans le cas d'une comptabilisation de la gestion de constituants qui feraient *in fine* l'objet d'un recyclage ou d'une valorisation énergétique, les travaux devront préciser si des bénéfices de substitution matière ou énergétique sont pris en compte.

Dans le cas d'un centre de tri des déchets d'emballages, les impacts et bénéfices de la gestion, en vue de leur valorisation énergétique et de leur stockage, des indésirables contenus dans les refus sont-ils pris en compte dans l'évaluation du recyclage du PEHD ?

Dans le cas d'un centre de tri des déchets d'emballages, les impacts et bénéfices de la gestion des emballages aluminium et acier en vue de leur recyclage sont-ils pris en compte dans l'évaluation du recyclage du PET ?

Dans le cas de la régénération de PVC, les impacts et bénéfices de la gestion en vue de leur recyclage des pièces ou des débris métalliques qui sont extraits au cours des étapes de tri préliminaire sont-ils pris en compte dans l'évaluation du recyclage du PVC ?

Dans le cas d'une étape de tri entre les plastiques qui contiennent des RFB et des plastiques qui ne contiennent pas de RFB, les impacts de la gestion des plastiques avec RFB en vue de leur élimination sont-ils pris en compte dans l'évaluation du recyclage du PP ?

Dans le cas du traitement de rang 1 des GEM F, les impacts de la gestion ultérieure des gaz réfrigérants en vue de leur élimination sont-ils pris en compte dans l'évaluation du recyclage du PS ?

D12 | Gestion ultérieure des flux non cibles – plastique cible

Les impacts et bénéfices de la gestion ultérieure de la part de plastique cible qui se retrouve en sortie d'étape dans un flux qui n'est pas géré en vue du recyclage ultérieur de ce plastique cible est-elle prise en compte dans le cadre de l'évaluation ?

- ☐ Non
- ☐ Oui si cette part fait in fine l'objet d'une élimination
- ☐ Oui
- ☐ Autres règles (à préciser)

La règle de comptabilisation doit être justifiée au regard des objectifs de l'évaluation.

Dans le cas d'une comptabilisation de la gestion de la part de plastique cible qui ferait l'objet d'une valorisation énergétique, les travaux devront préciser si des bénéfices de substitution énergétique sont pris en compte.

Dans le cas d'un centre de tri des déchets d'emballages, les impacts et bénéfices de la gestion du PET clair des bouteilles qui ne sont pas captées et se retrouvent dans les refus sont-ils pris en compte dans l'évaluation du recyclage du PET clair ?

Dans le cas d'une étape d'extrusion lors de la régénération du PP, les impacts et bénéfices de gestion du PP cible qui est perdu dans les purges d'extrusion sont-ils pris en compte dans l'évaluation du recyclage du PP ?

Dans le cas du traitement de rang 1 d'un GEM F, les impacts et bénéfices du PS cible qui se retrouve sous forme d'impuretés dans des fractions qui ne sont pas destinées au recyclage du PS cible (ex : flux métalliques, mousse PUR) sont-ils pris en compte dans le cadre de l'évaluation du recyclage du PS ?

Compatibilité avec le point de calcul du taux de recyclage R2

Si les résultats de l'évaluation ont vocation à être exploités dans des référentiels qui articulent ces résultats avec un taux de recyclage R2, il convient d'indiquer explicitement la compatibilité entre la règle de comptabilisation du plastique cible perdu dans les flux non cibles et le point de calcul du taux de recyclage R2 :

- ☐ Les résultats de l'évaluation n'ont pas vocation à être exploités avec un taux de recyclage R2
- ☐ Les impacts de gestion ultérieure du plastique cible perdu ne sont pas pris en compte dans l'évaluation : les résultats de l'évaluation sont compatibles avec un taux de recyclage R2 calculé en sortie de régénération (point MPR produite)
- ☐ Les impacts de gestion ultérieure du plastique cible perdu ne sont pas pris en compte à l'exception de ceux perdus lors des opérations de régénération : les résultats de l'évaluation sont compatibles avec un taux de recyclage calculé en entrée de régénération R2
- ☐ Les impacts de la gestion ultérieure du plastique cible perdu sont pris en compte à toutes les étapes depuis le geste de tri initial jusqu'au plastique cible perdu lors des étapes de régénération : les résultats de l'évaluation couvrent l'intégralité de la gestion en fin de vie du plastique cible ; le taux de recyclage R2 est déjà implicitement intégré aux résultats.
- ☐ Autres règles (à préciser)

Si la gestion ultérieure des pertes de PET clair à l'étape de régénération a été prise en compte dans l'évaluation alors les résultats de l'évaluation environnementale sont compatibles avec un taux de recyclage calculé en entrée de régénération. Si ces résultats étaient combinés avec un taux de recyclage calculé en sortie de régénération, on aurait un double comptage de la gestion de ces pertes : celles-ci seraient en effet prises en compte

dans l'évaluation elle-même et dans le terme complémentaire du taux de recyclage (1-R2).

Pour la clarté de formulation des attentes suivantes :

- Les impacts et bénéfices de gestion des autres constituants des flux non cibles qui sont comptabilisés dans l'évaluation sont considérés comme entrant dans le poste des **charges** de cette étape.
- Les impacts et bénéfices de gestion de la part de plastique cible perdue à cette étape pour le recyclage qui sont comptabilisés dans l'évaluation sont considérés comme entrant dans le poste des **charges** de cette étape.
- Le(les) flux cibles ainsi que la part des flux non cibles dont les impacts et bénéfices de gestion ultérieure ne sont pas comptabilisés en charges de l'étape sont désignés comme étant les **co-produits** de l'étape.

D2 | Affectation des charges entre les co-produits

Les charges de l'étape intègrent :

1) Les charges associées aux flux entrants dans l'étape ;
2) L'ensemble des consommations (énergétiques, consommables, eau…) ;
3) Les émissions et les rejets dans l'eau, dans l'air ainsi que les déchets spécifiques de l'étape (par exemple, condensats générés lors de l'extrusion, charbons actifs usagés, déchets d'emballages de réactifs…) ;
4) Les charges précédemment définies, c'est-à-dire les impacts et bénéfices de gestion des autres constituants et les impacts et bénéfices de gestion de la part de plastique cible perdue à cette étape, que le modélisateur a choisi de comptabiliser.

Les travaux doivent se positionner sur les règles d'affectation des charges entre les co-produits.

Pour chacune des quatre catégories de charge, les travaux doivent préciser si les charges sont :

- ☐ Intégralement affectées aux autres co-produits que le(s) flux cible(s)
- ☐ Intégralement affectées au(x) flux cible(s)
- ☐ Répartis entre les différents co-produits, qu'il s'agisse de flux cible(s) ou des flux non cibles

Dans le cas d'une répartition des charges entre co-produits, les travaux doivent préciser le mode d'affectation qui est mis en œuvre :

- ☐ Affectation massique
- ☐ Affectation volumique
- ☐ Affectation économique
- ☐ Affectation fondé sur des considérations physico-chimiques
- ☐ Autres principes d'affectation (à préciser)

Les règles d'affectation des différentes catégories de charge doivent être justifiées au regard des objectifs de l'évaluation.

Dans le cas d'un centre de tri des déchets d'emballages et en considérant que tous les flux sortant sont des co-produits, y compris les refus, les impacts associés aux flux entrants (les impacts de la collecte et du transfert) doivent-ils être intégralement affectés aux balles d'emballages PET clair dans le cadre d'une évaluation du recyclage du PET clair ? Affectés de manière volumique entre le flux cible de balles PET clair et les autres flux sortants ?

Dans le cadre d'une évaluation du recyclage du PS, la consommation de charbon actif à l'étape de traitement de rang 1 des GEM F doit-elle être répartie entre tous les co-produits sortants sachant que cette consommation est dédiée, dans le fonctionnement du process, aux gaz d'expansion et au gaz réfrigérant ?

Dans le cadre d'une évaluation du recyclage du PVC, la consommation énergétique du régénérateur doit-elle être intégralement affectée à la MPR poudre de PVC ou doit-elle être répartie entre cette MPR et les débris métalliques qui sont extraits au cours du process ?

F.2 DISCUSSION & RECOMMANDATIONS

F.2.1 RUBRIQUES A | PORTEE DE L'EVALUATION

Ces rubriques visent tout d'abord à répondre à des exigences de transparence sur la portée effective des travaux d'évaluation.

Par ailleurs, dans la perspective où l'évaluation qui est conduite a vocation à être exploitée par d'autres utilisateurs que la personne ayant réalisé les travaux, ces rubriques sont essentielles en vue d'un usage adéquat des résultats de l'évaluation.

Plastique cible

Par exemple, l'élaboration d'un ICV sur le recyclage du PET clair pourra (sous réserve des autres conditions d'applicabilité) être exploité dans des travaux portant sur des bouteilles en PET clair ; en revanche, sa pertinence à s'appliquer sur des bouteilles en PET foncé devra être évaluée ; de même quant à sa pertinence d'application à des bouteilles PET toutes teintes confondues.

MPR

Par exemple, un utilisateur qui souhaiterait modéliser l'incorporation de PET recyclé dans une barquette alimentaire doit s'assurer que l'ICV de production de rPET recyclé qu'il envisage d'utiliser se réfère bien à du rPET granules aptes au contact alimentaire. Si cet ICV porte en fait sur du rPET paillettes, ou sur du rPET granules non aptes au contact alimentaire ou encore sur un mix de plusieurs formes de rPET, l'ICV n'est alors pas applicable ou en tous cas pas pleinement pertinent et il introduit une incertitude dans ces travaux.

De même, si un utilisateur souhaite modéliser l'incorporation de PP recyclé dans une pièce en PP qui est fabriquée par injection à partir de granulés, il doit s'assurer que l'ICV du rPP qu'il envisage d'exploiter se présente bien sous forme de granulés ; au contraire, si l'ICV du rPP représente un rPP broyé, il pourra éventuellement avoir recours à une approximation en modélisant par ses propres moyens une étape spécifique d'extrusion éventuelle.

La caractérisation précise des MPR est également un aspect important du point de vue du modélisateur/du producteur des données si les travaux conduits ont vocation à être régulièrement actualisés.

En effet, pour un plastique cible donné, plusieurs types de MPR peuvent être produits. Du point de vue,du process de régénération, certains types de MPR vont devoir passer par des opérations spécifiques avec leurs impacts en propre : par exemple, les granulés rPET passent par une étape d'extrusion alors que ce n'est pas le cas des paillettes rPET ; les granulés rPET aptes au contact alimentaire passent par une étape de décontamination alors que ce n'est pas le cas de granulés rPET non aptes au contact alimentaire ; un rPS à haut niveau de pureté en PS nécessite de passer par des étapes de séchage et de surtri demandeuses en énergie s'il est produit à partir de broyés rPS contenant également des broyés de résines proches en densité (ABS par exemple). Partant d'un même déchet et d'une même résine cible, les résultats de l'évaluation environnementale sont différents d'une MPR à l'autre : l'ICV de recyclage du rPET paillettes est différent de l'ICV de recyclage du rPET granules contact alimentaire, etc…

Si les catégories de MPR couvertes par une évaluation ne sont pas précisément caractérisées, le modélisateur risque de subir les évolutions de ces catégories (en termes de nature de catégories et en termes de proportion entre ces catégories) entre deux actualisations de son travail. Ainsi, toutes choses étant égales par ailleurs, l'évaluation environnementale du rPET est mécaniquement différente si ce rPET se réfère à un mix 70 % paillettes rPET et 30 % granulés rPET ou s'il se réfère à un mix 20 % paillettes rPET et 80 % granulés rPET, le second cas étant plus consommateur d'énergie ; il est alors plus confortable pour un modélisateur de pouvoir expliquer que si la consommation d'énergie entre deux actualisations de son travail a augmenté, cette augmentation n'est pas due à une dégradation des performances de la régénération mais à une évolution du mix des produits.

La caractérisation précise des MPR est enfin un aspect important dans un cadre concurrentiel, par exemple si les résultats d'évaluation environnementale de différentes MPR sont comparés. En effet, en l'absence de précision, il est alors aisé pour un producteur de MPR ou un groupe de producteur de MPR de revendiquer de meilleurs résultats qu'un autre producteur ou qu'un autre groupe si les MPR, bien que se rapportant au même plastique cible sont de nature différentes. Partant des même déchets d'emballages,

la production de rPET paillettes consomme moins d'énergie finale que la production de rPET granules contact alimentaire ; si les évaluations respectives de ces produits ne précisent pas clairement le type de rPET, le groupe produisant du rPET paillettes se trouvera en mesure de revendiquer une consommation d'énergie bien moindre que le groupe produisant du rPET granules.

Type d'approche

Cette rubrique est sans doute moins importante dans la perspective d'une utilisation ultérieure des résultats par un tiers.

Elle donne toutefois une indication indirecte sur les zones du périmètre étudié qui doivent normalement bénéficier d'une visibilité optimale – la ou les étapes les plus en amont dans le cas d'une approche descendante, et les étapes de régénération les plus en aval, dans le cas d'une approche ascendante – et les zones du périmètre étudié qui sont au contraire plus incertaines – la ou les étapes les plus en aval, c'est-à-dire les étapes de régénération - dans le cas d'une approche descendante et inversement dans le cas d'une approche ascendante.

Cette rubrique permet en quelque sorte d'éclairer la façon dont le périmètre des travaux (Rubrique B) a pu être couvert et le type de difficultés qui ont pu être rencontrées dans cet exercice.

Déchets

Les sections du rapport consacrées au recyclage des plastiques des emballages, des VHU, des DEEE montrent que la gestion d'un plastique donné en vue de son recyclage suit une succession d'étapes très différentes en fonction de ces catégories, voire en fonction de sous-catégories de ces déchets.

La conséquence directe de cette observation est que les résultats de l'évaluation environnementale du recyclage d'un plastique cible à partir d'une catégorie de déchets donnée (ex : PP des emballages) sont nécessairement différents de l'évaluation environnementale du recyclage de ce même plastique cible à partir d'une autre catégorie de déchets (ex : PP des PAM).

Aussi, un utilisateur qui souhaiterait pouvoir exploiter l'ICV de recyclage d'un plastique cible (ex : PP) donné pour modéliser la proportion du plastique cible de son produit (ex : PP dans une perceuse) qui est orienté en recyclage aura besoin de connaitre la ou les catégories de déchets couvertes par cet ICV afin de déterminer si cet ICV est ou non exploitable dans ses travaux.

Représentativité géographique

La représentativité géographique dans une approche descendante permet à un utilisateur de déterminer si le résultat d'une évaluation environnementale donnée est exploitable pour représenter la proportion du plastique cible de son produit qui est orientée en recyclage.

La représentativité géographique dans une approche ascendante permet à un utilisateur de déterminer si le résultat d'une évaluation environnementale donnée est exploitable pour représenter la proportion de MPR qui est introduite dans son produit.

Unité de référence

Dans le cas où les résultats de l'évaluation environnementale sont rapportés à une unité, la caractérisation précise de cette unité est évidemment essentielle en vue d'une exploitation correcte des résultats et en vue de son articulation précise avec les autres composants du modèle dans lequel ce résultat pourrait être exploité.

Par exemple, les résultats de l'écoprofil granulés rPET publié par le SRP en janvier 2017 indique 637 kg Eq. CO_2 / kg de rPET granulés ; ce résultat serait différent s'il était rapporté non pas au kg de MPR mais au kg de balles de déchets PET en entrée de régénérateur, lui-même différent s'il était rapporté au kg de balles de déchets PET en entrée de centre de tri.

Il convient en outre de souligner que la conversion d'un résultat d'évaluation environnementale d'une unité de référence à une autre unité de référence demande une connaissance fine de la chaine de gestion et qu'elle n'est la plupart du temps pas à la portée d'un utilisateur des résultats.

Par exemple, le même écoprofil granulés rPET publié par le SRP en janvier 2017 indique que la quantité de matière secondaire utilisée est de 1,28 kg. Il pourrait ainsi être tentant de procéder à une conversion du premier résultat grâce à cette valeur, soit 498 kg Eq. CO_2 / kg de déchets PET entrant (498 = 637/1,28) puis de considérer que ce résultat s'applique aux balles de déchets d'emballages PET reçues par les régénérateurs. Or, dans le cas du rPET, les régénérateurs qui produisent des granulés rPET reçoivent des balles de déchets d'emballages PET mais également des paillettes rPET produites par d'autres régénérateurs ; ainsi, le 1,28 kg de matière secondaire en entrée est, selon toute probabilité, constituée

pour partie de balles de déchets d'emballages et pour partie de rPET paillettes. Ainsi, si l'on ne connaît pas la proportion de balles de déchets d'emballages PET et de paillettes dans le 1,28 kg de matière secondaire ainsi que le rendement de conversion des déchets d'emballages PET sous forme rPET paillettes, il est impossible de convertir le 637 kg Eq. CO_2 / kg de rPET granulés pour le rapporter au kg de déchets d'emballage en entrée de régénérateur.

F.2.2 RUBRIQUE B | ACV ATTRIBUTIONNELLE / ACV CONSEQUENTIELLE / AUTRE

Cette rubrique est d'ordre méthodologique ; elle vise simplement à renseigner quel type de démarche, attributionnelle ou conséquentielle, est suivie dans le cadre où l'évaluation environnementale consiste dans une ACV.

L'évaluation environnementale qui est conduite peut viser d'autres objectifs que ceux auxquels répond une ACV fonctionnelle. Il peut par exemple s'agir de l'empreinte environnementale (ou empreinte carbone) d'une entreprise ou d'un groupe d'entreprises.

Dans tous les cas, cette rubrique est à mettre en perspective avec un certain nombre des choix qui sont effectués en termes de périmètre (Rubrique C) et en termes de règles de comptabilisation et d'affectation (Rubrique D). Certains de ces choix pouvant s'avérer plus ou moins compatibles avec les exigences de l'ACV attributionnelle, de l'ACV conséquentielle ou d'une autre méthode.

F.2.3 RUBRIQUE C | PERIMETRE

Le périmètre qui est pris en compte dans les travaux d'évaluation environnementale a d'évidence une incidence sur les résultats produits à l'issue de l'évaluation environnementale.

Comme toute étude d'évaluation environnementale, le producteur de l'évaluation reste tout à fait libre des choix qu'il opère concernant le périmètre pris en compte, sous réserve que ces choix soient cohérents avec l'objectif de ces travaux ; celui-ci n'est donc pas nécessairement contraint de couvrir l'intégralité du périmètre allant de la collecte initiale des déchets jusqu'à la MPR du plastique cible et un périmètre partiel peut être pleinement justifié.

A titre d'exemple, un régénérateur peut envisager des travaux d'évaluation qui visent à calculer le Bilan GES de son activité sur un scope 1 (émissions directes) ou sur un scope 2 (émissions directes et émissions indirectes associées aux consommations d'énergie de son activité). Dans un tel contexte, le régénérateur est parfaitement légitime s'il ne cherche pas à couvrir les étapes du périmètre qui se situent en amont de son activité.

En revanche, si le producteur de l'évaluation vise à établir un ICV de recyclage d'une résine cible qui puisse être exploité dans le cadre du PEF alors le périmètre lui est imposé. Un tel ICV devrait en effet satisfaire soit à la définition du terme *Erecycled*, soit à la définition du terme E*recyclingEoL* de la CFF :

- *Erecycled (Erec) : specific emissions and resources consumed (per functional unit) arising from the recycling process of the recycled (reused) material, including collection, sorting and transportation process.*
- *ErecyclingEoL (ErecEoL) : specific emissions and resources consumed (per functional unit) arising from the recycling process at EoL, including collection, sorting and transportation process.*

Il est clair que, dans un tel contexte, l'ensemble du périmètre allant de la collecte initiale des déchets jusqu'à la production de la MPR doit être pris en compte.

D'autres référentiels que le PEF peuvent conduire à d'autres exigences et d'autres pratiques en termes de périmètre. Si l'on examine par exemple le PCR transversal du PEP ecopassport[21], le périmètre à qui est à prendre en compte pour modéliser le recyclage d'un plastique cible en fin de vie débute à l'étape de collecte, intègre les étapes de traitement/préparation et transports intermédiaires et exclu au contraire l'étape de recyclage (régénération) à proprement parler.

[21] Association P.E.P - PROGRAMME PEP ecopassport® - PCR Règles de définition des catégories de produits relatives aux équipements électriques, électroniques et de génie climatique. PCR-ed3-FR-2015 04 02. Annexe C p. 52

Focus

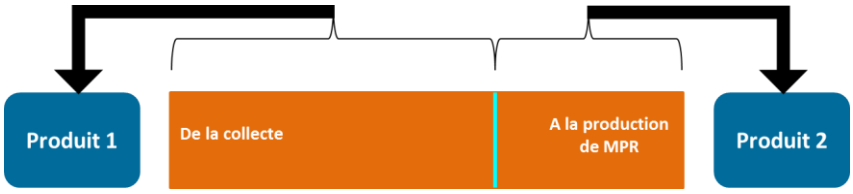
Le recyclage d'un plastique cible assure une double fonction à la frontière de deux cycles de vie successifs :

- Il rend un service de gestion de fin de vie à l'égard du produit fournisseur du plastique cible ;
- Il rend un service de production de matière à l'égard du produit utilisateur de la matière recyclée.

La question récurrente que doivent trancher les référentiels confrontés à la question du recyclage est celle de l'attribution des impacts associés à la succession d'opérations allant de la collecte à la production de MPR entre le cycle de vie fournisseur producteur du déchet à recycler et le cycle de vie utilisateur de la matière recyclée. L'exigence de cette attribution étant

- D'éviter des doubles-comptes ;
- D'éviter l'oubli de certaines étapes.

Selon notre interprétation, les référentiels procèdent, au-delà de leurs spécificités, selon deux logiques de segmentation du périmètre, l'une verticale et l'autre horizontale.



Dans la logique de **segmentation verticale**, dérivée de la « **méthode des stocks** », le périmètre est coupé en un point donné (plus ou moins clairement défini) ; toutes les étapes amont à ce point sont attribuées à la fin de vie du premier produit ; toutes les étapes aval à ce point sont attribuées à la production du second produit.

Dans la logique de **segmentation horizontale**, suivie par exemple dans le cadre de la CFF, l'intégralité du périmètre est comptabilisée puis répartie via une clef d'allocation, en l'occurrence le **facteur A**[22]**.** Les charges et bénéfices associés à l'intégralité de ce périmètre sont attribués à hauteur de (1-A) à la fin de vie du premier produit et à hauteur de A à production du second produit.

Les travaux d'évaluation environnementale relatif au recyclage d'un plastique cible qui viseraient à être exploités dans le cadre de référentiels qui s'inscrivent dans une **logique de segmentation verticale** du périmètre complet **ne requièrent pas nécessairement la prise en compte de l'intégralité du périmètre**.

Les travaux d'évaluation environnementale relatif au recyclage d'un plastique cible qui viseraient à être exploités dans le cadre de référentiels qui s'inscrivent dans une **logique de segmentation horizontale** du périmètre complet **imposent nécessairement la prise en compte de l'intégralité du périmètre**.

[22] Allocation factor of burdens and credits between supplier and user of recycled materials.

F.2.4 RUBRIQUES D | REGLES METHODOLOGIQUES DE COMPTABILISATION ET D'AFFECTATION

F.2.4.1 Rubrique D1 | Comptabilisation des impacts et bénéfices de la gestion ultérieure des flux non cibles

Comptabilisation de la gestion ultérieure des flux non cibles – autres constituants que la cible

Les choix en termes de comptabilisation de la gestion ultérieure des flux non cibles pour la part qui porte sur les autres constituants que le plastique cible est susceptible d'avoir une incidence extrêmement importante sur les résultats produits à l'issue de l'évaluation environnementale. En fonction de la nature de ces autres constituants et en fonction des destinations finales qu'ils atteignent cette influence peut se traduire :

- par une augmentation élevée des impacts ; ce serait par exemple le cas si le modélisateur comptabilise dans l'évaluation du recyclage du PP des PAM les impacts de gestion vers l'incinération de déchets dangereux des plastiques contenant des RFB.
- par une réduction élevée des impacts du fait de bénéfices associés au recyclage (ou à d'autres formes de valorisation) de ces constituants ; ce serait par exemple le cas si le modélisateur comptabilise dans l'évaluation du recyclage du PET, les impacts et les bénéfices qui sont générés par le recyclage des emballages aluminium triés au niveau du centre de tri ou extraits ultérieurement par le régénérateur lorsqu'ils sont présents sous forme d'impuretés dans les balles de déchets PET.

Comme dans le cas des choix qui sont opérés en termes de périmètre, le producteur de l'évaluation reste tout à fait libre des choix qu'il opère en la matière sous réserve que ces choix soient cohérents avec l'objectif de ces travaux. La prise en compte de la gestion ultérieure des autres constituants dans les flux non cibles peut être ou non justifiée.

Dans le cas d'un régénérateur qui conduit des travaux visant à calculer le Bilan GES de son activité, il semble par exemple tout à fait légitime que soient comptabilisés les impacts et bénéfices qui sont associés au recyclage des déchets métalliques présents dans le flux de déchets plastiques entrant.

De même, si l'on se place dans le contexte de l'évaluation environnementale d'une action visant à organiser et mettre en place une filière de recyclage d'un plastique cible pour une catégorie de produits qui était jusque-là dépourvu de cette filière, il n'est pas inimaginable que cette action conduise à modifier la gestion d'autres constituants de cette catégorie de produits, soit en l'améliorant, soit en la dégradant. Dans une telle évaluation, qui relève d'une ACV conséquentielle, il est à notre sens légitime, voire nécessaire, de tenir compte de toutes les conséquences de l'action même si elles ne concernent pas le plastique cible. En d'autres termes les impacts et bénéfices de la gestion ultérieure des autres constituants présents dans les flux non cibles doivent être comptabilisés.

Dans le cadre du PEF, on observe que tous les paramètres clefs de la CFF sont appréhendés à l'échelle des matériaux, par exemple :

> A: *Allocation factor of burdens and credits between supplier and user of recycled* ***materials***
>
> R2: *The proportion of the* ***material*** *in the product that will be recycled (or reused) in a subsequent system. R2 shall therefore take into account the inefficiencies in the collection and recycling (or reuse) processes. R2 shall be measured at the output of the recycling plant*

Les valeurs de A qui doivent être utilisées sont par ailleurs fournies dans le cadre de l'annexe C matériau par matériau.

Les valeurs de R2 doivent quant à elles être de préférence appréhendées à l'échelle du devenir spécifique du matériau dans le cadre du produit étudié. Si ces valeurs ne sont pas disponibles le référentiel demande de se reporter à l'annexe C qui adopte, lorsque les données semblaient disponibles, une logique d'évaluation par matériau/catégorie de produits.

Le même principe d'une logique d'analyse qui se situe a minima à l'échelle des matériaux pourrait être conduite sur les autres facteurs de la CFF. Cette maille d'analyse qui s'applique à l'échelle du produit doit, si l'on souhaite assurer la cohérence des travaux, également s'appliquer à l'échelle des inventaires qui sont exploités dans le contexte de ce référentiel.

En d'autres termes, si un acteur souhaite procéder à l'évaluation du recyclage d'un plastique cible afin que les résultats de ces travaux puissent être exploités dans le cadre d'un référentiel tel que PEF, il est nécessaire qu'il adopte **un principe d'indépendance de la comptabilisation entre matériaux** : aucune gestion ultérieure des autres constituants que le plastique cible dans les flux non cibles ne doit être

comptabilisée. Si ce principe n'est pas respecté, les risques d'incohérence et de double-compte sont notables.

Par exemple, dans le cas d'un produit qui serait constitué de PVC et d'aluminium, la modélisation de la gestion en fin de vie du produit est dans le cadre de la CFF déclinée avec ses paramètres spécifiques :

- D'une part pour la quantité d'aluminium présente dans le produit et notamment en considérant le taux de recyclage de l'aluminium qui s'applique à ce produit.
- D'autre part pour la quantité de PVC dans le produit et notamment en considérant le taux de recyclage du PVC qui s'applique à ce produit.

Si l'ICV de recyclage du PVC a été évalué en intégrant les impacts et bénéfices du recyclage ultérieur des débris aluminium qui sont extraits par les régénérateurs de PVC des déchets qu'ils reçoivent, on a alors un risque élevé de double compte des impacts et bénéfices pour une partie de l'aluminium ; le recyclage de ces débris aluminium étant normalement déjà couvert par le taux de recyclage considéré pour l'aluminium constitutif du produit.

Au-delà du cas particulier du référentiel PEF, il nous semble que ce principe d'indépendance de la comptabilisation entre matériaux peut s'appliquer à tous référentiels qui procèdent, pour les phases de production et de fin de vie, à une logique d'analyse et d'évaluation matériau par matériau.

Au-delà des référentiels d'évaluation, il nous semble par ailleurs plutôt spécieux que des résultats d'évaluation environnementale revendiqués pour un matériau cible donné (par exemple des résultats d'évaluation du recyclage de PP) soient pilotés, ou largement pilotés, par la gestion d'autres matériaux que le matériau cible revendiqué et ce, que la comptabilisation de la gestion de ces matériaux aillent dans le sens d'une amélioration ou d'une dégradation des résultats.

Illustration

L'illustration proposée ci-après concerne des étapes susceptibles d'être conduites chez des régénérateurs de plastiques qui sont en capacité de recevoir et de traiter des déchets constitués de mélanges de plastiques et de métaux. La complexité de ces déchets s'explique tout d'abord par la composition initialement complexe des catégories de produits dont ils sont issus mais également par une séparation limitée[23] des matériaux lors des étapes préalables à l'entrée en régénération.

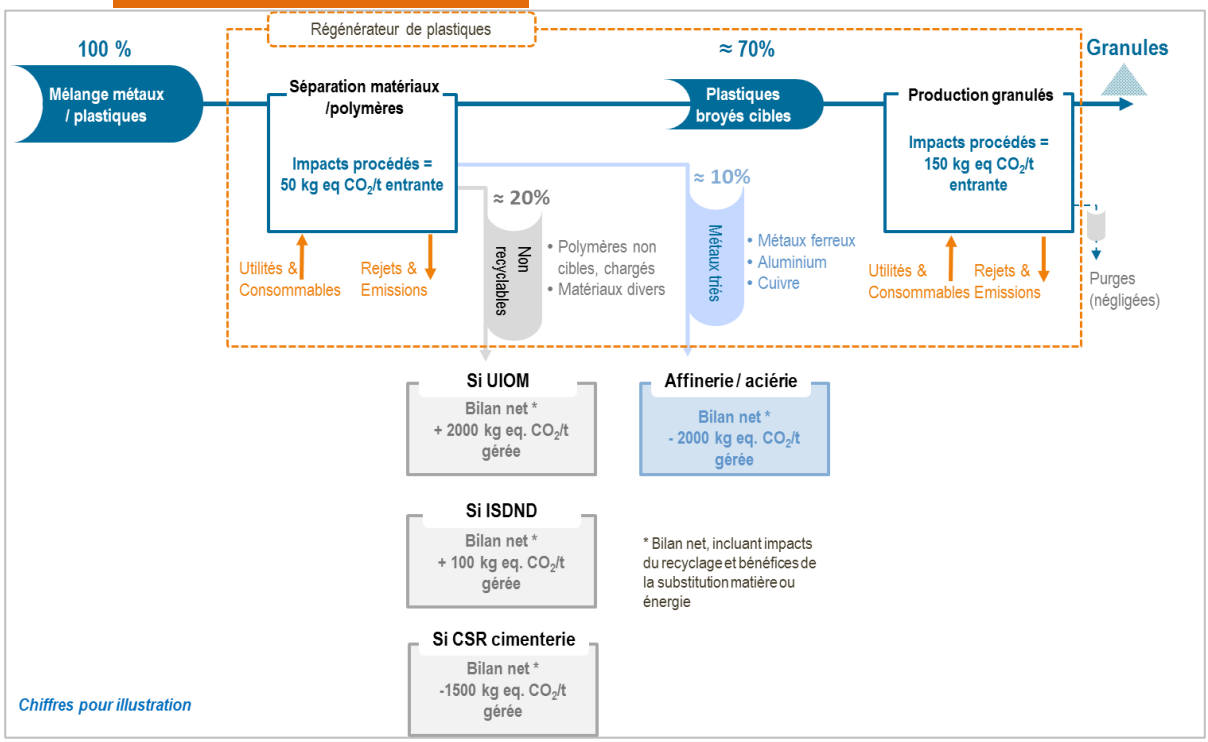
Les régénérateurs de cette illustration reçoivent des déchets contenant les plastiques cibles qui les intéressent mais également d'autres matériaux, et notamment :

- Des métaux. C'est le cas pour des filières de fin de vie des VHU, des équipements électriques et électroniques mais également du bâtiment par exemple (ex : flux de fenêtres en fin de vie issu de la déconstruction de bâtiments)
- Des plastiques non recyclables car non cibles, car trop chargés (ex : PP fortement chargé en matières minérales)
- D'autres matériaux (ex : textiles, bois, verre, etc.)

Pour les besoins de cette illustration, le schéma ci-après se centre sur les impacts en termes de contribution à l'effet de serre et sur les étapes conduites par le régénérateur de plastiques (les étapes « amont » sont hors champ de cet exemple), en exploitant des données illustratives mais plausibles.

[23] Non pas que les opérateurs ne savent pas faire ; il s'agit le plus souvent d'une question d'organisation entre les acteurs du déchet, notamment au regard de logiques de massification qui peuvent prévaloir pour qu'une opération donnée devienne intéressante/rentable.

Illustration



Cet exemple permet d'illustrer plusieurs aspects qui peuvent être rencontrés sur le terrain :

- **Flux 1** : les mélanges plastiques/métaux contiennent une proportion significative de métaux (par exemple, métaux ferreux, aluminium, cuivre) qui seront extraits en vue d'un recyclage par le régénérateur (flux non cibles). Ce flux représente environ 10 % du tonnage entrant.
- **Flux 2** : les mélanges plastiques/métaux contiennent une proportion significative de plastiques non cibles, de plastiques cibles trop chargés, voire des matériaux d'une toute autre nature, et qui ne sont pas recyclables en l'état actuel des conditions techno-économiques. Ces différents matériaux non cibles sont extraits par le régénérateur et gérés comme des refus de tri (flux non cibles). Ce flux de refus de tri représente environ 20 % du tonnage entrant et présente un PCI élevé ; selon les régénérateurs et le contexte local, il peut être orienté vers différents modes de traitement :
    - Une élimination en centre d'enfouissement (sous réserve du respect des contraintes réglementaires, notamment sur les teneurs en substances à risque)
    - Un traitement en incinérateur avec valorisation énergétique de l'énergie produite (substitution électricité et/ou chaleur) ou un traitement en incinérateur sans valorisation énergétique
    - Un envoi chez un préparateur chargé de produire un CSR utilisable en cimenterie (substitution à du charbon et/ou du coke de pétrole par exemple)
- **Flux 3** : les plastiques broyés et triés par polymère (niveau de pureté « polymère » compatible dans une extrusion) sont ensuite soumis à des étapes d'extrusion/granulation afin de produire des granulés de plastiques recyclés. Ces étapes sont spécifiques aux plastiques et ne concernent pas les autres matériaux extraits préalablement.

Dans le cas où l'on souhaite établir les émissions GES associées à la production des granules de plastiques cibles recyclés, on est alors inévitablement confrontés à des questions de comptabilisation et d'affectation sur l'étape de séparation entre les plastiques cibles et les autres matériaux.

Les calculs proposés ci-après illustrent (toutes les combinaisons possibles ne sont pas traitées) l'incidence des choix méthodologiques de comptabilisation et d'affectation sur le bilan « contribution à l'effet de serre » pouvant être établi pour les granulés de plastiques produits. L'influence des filières de gestion des flux autres que les plastiques recyclés sont également mis en évidence.

Illustration

Option 1 :

- Comptabilisation : aucun impact de gestion des 3 types de flux sortants n'est comptabilisé ; les 3 flux ont le statut de coproduits.
- Affectation : les charges de l'étape de séparation sont affectées massiquement entre les 3 flux.

Le bilan GES de l'étape de séparation pour le flux 3 (flux cible) est donc de 50 kg Eq. CO2/t flux 3. Le bilan GES associé à la production des plastiques cibles recyclés est donc de 50 + 150 = 200 kg Eq. CO2/t de MPR.

Option 2 :

- Comptabilisation : aucun impact de gestion des 3 types de flux sortants n'est comptabilisé ; les 3 flux ont le statut de coproduits
- Affectation : les charges de l'étape de séparation sont intégralement affectées au flux 3 (flux cible)

Le bilan GES de l'étape de séparation pour le flux 3 (flux cible) est donc de 50 / 0,7 = 71 kg Eq. CO2/t flux 3. Le bilan GES associé à la production des plastiques cibles recyclés est donc de 71 + 150 = 221 kg Eq. CO2/t de MPR.

Option 3 :

- Comptabilisation : les impacts de gestion ultérieure du flux 2 sont comptabilisés ; seuls les flux 1 et 3 ont le statut de coproduits
- Affectation : les charges de l'étape de séparation affectés massiquement au flux 1 et au flux 3 (flux cible)

Charges GES de l'étape de séparation :

- Si flux 2 en UIOM : 400 kg Eq. CO2 + 50 kg Eq. CO2 = 450 kg Eq. CO2
- Si flux 2 en ISDND : 20 kg Eq. CO2 + 50 kg Eq. CO2 = 70 kg Eq. CO2
- Si flux 2 en CSR : -300 kg Eq. CO2 + 50 kg Eq. CO2 = - 250 kg Eq. CO2

Bilan GES de l'étape de séparation pour le flux 3 suite à l'affectation massique :

- Si flux 2 en UIOM : 450/80*70 = 394 kg Eq. CO2/t flux 3
- Si flux 2 en ISDND : 70/80*70 = 61 kg Eq. CO2/t flux 3
- Si flux 2 en CSR : - 250/80*70 = -219 kg Eq. CO2/t flux 3

Le bilan GES associé à la production des plastiques cibles recyclés est donc de :

- Si flux 2 en UIOM : 394 +150 = 544 kg Eq. CO2/t MPR
- Si flux 2 en ISDND : 61 +150 = 211 kg Eq. CO2/t MPR
- Si flux 2 en CSR : -219 +150 = -69 kg Eq. CO2/t MPR

Option 4 :

- Comptabilisation : les impacts de gestion ultérieure du flux 1 et du flux 2 sont comptabilisés ; seul le flux 3 a le statut de coproduit
- Affectation : les charges de l'étape de séparation sont nécessairement affectées au flux 3 (flux cible).

Charges GES de l'étape de séparation :

- Si flux 2 en UIOM : 400 kg Eq. CO2 + 50 kg Eq. CO2 - 200 kg Eq. CO2 = 250 kg Eq. CO2
- Si flux 2 en ISDND : 20 kg Eq. CO2 + 50 kg Eq. CO2 - 200 kg Eq. CO2 = -130 kg Eq. CO2
- Si flux 2 en CSR : -300 kg Eq. CO2 + 50 kg Eq. CO2 -200 kg Eq. CO2 = - 450 kg Eq. CO2

Bilan GES de l'étape de séparation pour le flux 3 :

- Si flux 2 en UIOM : 250/70*100 = 357 kg Eq. CO2/t flux 3
- Si flux 2 en ISDND : -130/70*100 = - 186 kg Eq. CO2/t flux 3
- Si flux 2 en CSR : - 450/70*100 = - 643 kg Eq. CO2/t flux 3

Illustration

Le bilan GES associé à la production des plastiques cibles recyclés est donc de :

- Si flux 2 en UIOM : 357 +150 = 507 kg Eq. CO2/t MPR
- Si flux 2 en ISDND : -186 +150 = -36 kg Eq. CO2/t MPR
- Si flux 2 en CSR : - 643 +150 = - 493 kg Eq. CO2/t MPR

On observe à travers cette illustration que le bilan GES associé à la production d'une tonne de MPR peut varier de manière notable (les combinaisons présentées ici ne couvrant d'ailleurs pas les cas les plus extrêmes) :

- Avec une gestion du flux 2 en ISDND, les résultats varient de -36 kg Eq. CO2/t MPR à 221 kg Eq. CO2/t MPR
- Avec une gestion du flux 2 en UIOM, les résultats varient de 200 kg Eq. CO2/t MPR à 544 kg Eq. CO2/t MPR
- Avec une gestion du flux 2 en CSR, les résultats varient de - 493 kg Eq. CO2/t MPR à 221 kg Eq. CO2/t MPR

Ces résultats mettent également en avant le fait qu'en cas de comptabilisation de la gestion ultérieure des flux non cibles, celle-ci peut présenter une influence nettement plus importante que celle des procédés directement impliqués dans la chaine de recyclage. On note par exemple, qu'une division par deux (25 kg Eq. CO2/t au lieu de 50 kg Eq. CO2/t) ou une multiplication par deux (100 kg Eq. CO2/t au lieu de 50 kg Eq. CO2/t) des émissions GES de la séparation aurait nettement moins d'influence sur les résultats que le fait de choisir entre une orientation du flux 2 en UIOM ou en CSR.

Comptabilisation de la gestion ultérieure des flux non cibles – part de plastique cible

De même que pour les choix qui concernaient les autres constituants que la cible, les choix de comptabilisation du plastique cible qui est perdu via les flux non cibles est susceptible d'avoir une incidence extrêmement importante sur les résultats produits à l'issue de l'évaluation environnementale. En fonction de la quantité de plastique cible perdu au cours des étapes et en fonction des destinations finales qu'ils atteignent cette influence peut se traduire :

- par une augmentation élevée des impacts ; ce pourrait par exemple être le cas si le modélisateur comptabilise dans l'évaluation du recyclage du PP des PAM les impacts de gestion vers l'incinération du PP qui a été perdu à divers stades de la gestion.
- par une réduction élevée des impacts du fait de bénéfices qui seraient associés à une valorisation performante du plastique cible perdu pour le recyclage ; ce pourrait par exemple être le cas si le modélisateur comptabilise dans l'évaluation du recyclage du PP des PAM les impacts de gestion vers une valorisation CSR en substitution à du coke ou du charbon du PP qui a été perdu à divers stades de la gestion.

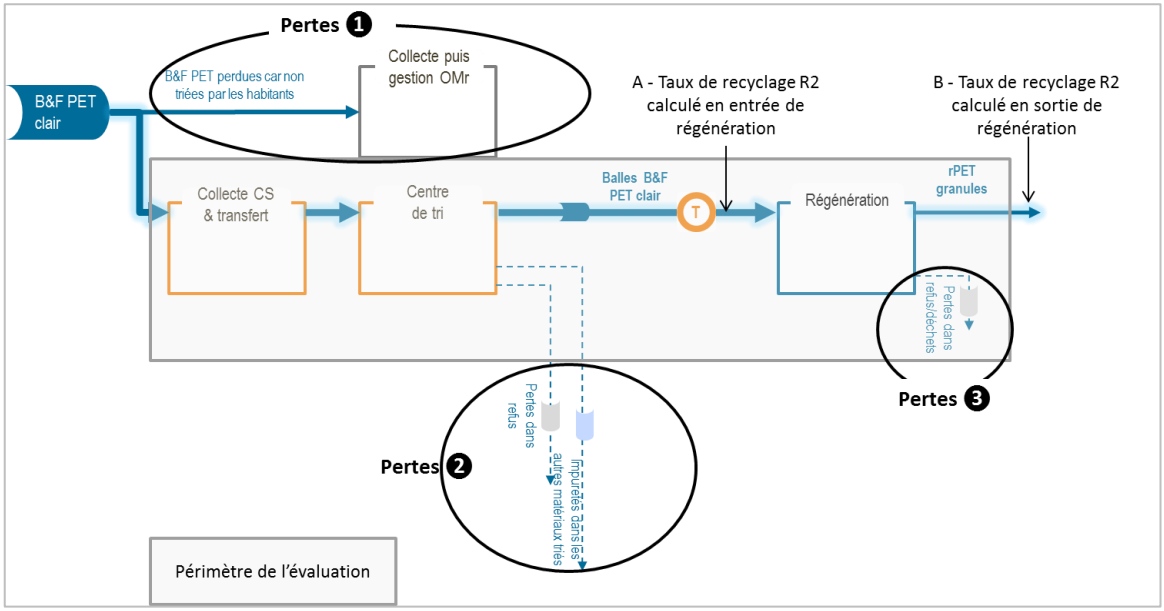
Comme pour le point précédent, il n'y a pas de règle qui s'impose dans l'absolu quant à cette comptabilisation. Tout dépend des objectifs des travaux, ce qui peut être légitime dans un contexte donné ne l'est pas nécessairement dans un autre contexte.

Comme précédemment, on peut évoquer le fait que cette comptabilisation serait par exemple appropriée dans le cadre d'une ACV conséquentielle portant sur une action d'organisation d'une nouvelle filière de recyclage et qu'elle serait également justifiée dans le cadre d'une étude de type OEF ou de type Bilan GES organisation.

Si les résultats de l'évaluation ont vocation à être exploités dans des référentiels qui articulent ces résultats avec un taux de recyclage R2 – ce qui est notamment dans le cas du PEF, la question qui se pose alors est celle de la compatibilité entre :

- les résultats obtenus en appliquant un principe de comptabilisation sur les impacts de gestion du plastique cible perdu ;
- le point de calcul du taux de recyclage R2 qui sera appliqué aux résultats de cette évaluation.

L'enjeu de cette compatibilité est de s'assurer d'une part qu'il n'y a pas de doubles-comptes des impacts de gestion du plastique cible perdu et d'autre part que tous les impacts de gestion du plastique cible perdu sont bien pris en compte, soit via le terme (1-R2) complémentaire à R2, soit dans l'évaluation du recyclage du plastique cible.



La figure ci-dessus présente un schéma simplifié de la gestion des bouteilles et flacons en PET clair dans lequel une partie de ces bouteilles est recyclée pour produire des granulés de rPET clair.

Le plastique cible est le PET clair et on observe trois niveaux de pertes de ce plastique cible :

- Pertes ❶ du fait du geste de tri des consommateurs ;
- Pertes ❷ au niveau du centre de tri : quelques bouteilles ne sont pas captées dans le flux cible et se retrouvent dans les refus ou dans les autres flux d'emballages triés pour recyclage ;
- Pertes ❸ de PET au niveau du régénérateur : lors des étapes de tri/broyage/lavage ainsi que dans les purges lors de l'extrusion.

L'évaluation environnementale du recyclage du PET clair sous forme de granulés de rPET clair prend en compte les impacts de gestion du PET clair qui est perdu au niveau du régénérateur, c'est-à-dire les impacts de gestion des pertes ❸. Cette évaluation est désignée par (ErecEoL with ❸), le « with ❸ » venant simplement rappeler que les impacts de gestion des pertes ❸ ont été pris en compte dans cet inventaire.

Pour un taux de recyclage R2 calculé en amont du régénérateur, soit la situation A sur la figure, on a : R2 = 1 - Pertes ❶ - Pertes ❷, ce qui donne (1-R2) = Pertes ❶ + Pertes ❷.

Pour un taux de recyclage R2 calculé en aval du régénérateur, soit la situation B sur la figure, on a : R2 = 1 - Pertes ❶ - Pertes ❷ - Pertes ❸, ce qui donne (1-R2) = Pertes ❶ + Pertes ❷ + Pertes ❸.

Dans le cadre d'un calcul portant sur la gestion en fin de vie du PET clair des bouteilles on se retrouverait à appliquer :

$$EEoL = R2 \times ErecEoL + (1-R2) \times ED$$

Avec :

EEoL : impact de gestion en fin de vie du PET clair
ED : impact d'élimination du PET clair
ErecEoL : impact de recyclage du PET clair
R2 : taux de recyclage du PET clair

<u>Situation A avec taux de recyclage R2 calculé en amont du régénérateur :</u>

EEoL = R2 x (ErecEoL with ❸) + (Pertes ❶ + Pertes ❷) x ED

On observe que toutes les pertes de PET sont bien prises en compte et qu'il n'y a pas de double compte des pertes. L'évaluation telle que réalisée est compatible avec un taux de recyclage R2 calculé en entrée de régénération.

Situation B avec taux de recyclage R2 calculé en aval du régénérateur :

EEoL = R2 x (ErecEoL with ❸) + (Pertes ❶ + Pertes ❷ + Pertes ❸) x ED

On observe un double compte des pertes ❸ de PET. L'évaluation telle que réalisée n'est pas compatible avec un taux de recyclage R2 calculé en sortie de régénération.

F.2.4.2 Rubrique D2 | Affectation des charges entre les co-produits

Les charges d'une étape intègrent :

- Les charges qui ont été associées aux flux qui entrent dans cette étape du fait de la prise en compte des étapes précédentes ;
- Les impacts qui sont associés aux diverses consommations (énergies, consommables, eau…) ;
- Les émissions et les rejets dans l'eau, l'air ainsi que les impacts de gestion des déchets spécifiques de l'étape ;
- Les impacts et bénéfices de gestion ultérieure des flux non cibles, pour le plastique cible et pour les autres constituants, que le modélisateur a décidé de prendre en compte dans son évaluation (cf. Rubrique D1).

Les flux cibles et non cibles qui sortent de l'étape et dont les impacts de gestion ultérieure ne sont pas comptabilisés à ce stade sont désignés comme étant les coproduits de l'étape.

En préambule, il convient tout d'abord de relever quelques points de différence entre les évaluations environnementales qui s'appliquent à des étapes de production/fabrication d'un produit et celles qui portent exclusivement sur des étapes de gestion des déchets.

Déchets vs Produits

Du point de vue d'une démarche d'évaluation environnementale

Cas d'une étape produit

Dans le cas d'un produit, une étape de production/fabrication mobilise, comme pour une étape de gestion des déchets, un ou plusieurs flux en entrée. En sortie de l'étape, certains flux ont clairement le statut de produit(s) ou de co-produit(s) et d'autres flux ont le statut de déchets ; la valeur économique de chacun de ces flux est d'ailleurs généralement cohérente avec cette segmentation : les produits constituant un poste de recette alors que les déchets constituent un poste de coût.

Dans le cadre d'une évaluation environnementale portant sur une telle étape, les impacts de la gestion des déchets produits à cette étape sont intégrées aux charges environnementales de l'étape, celles-ci étant ensuite réparties – diverses règles d'affectation étant envisageables – entre les produits et co-produits de l'étape.

Cas d'une étape déchet

Dans le cas d'un déchet, une étape de gestion reçoit en entrée un ou plusieurs flux de déchets et génère en sortie un ou plusieurs flux de déchets ; il n'y a pas (sauf cas d'exception) de produit en sortie d'une étape de gestion des déchets et tous les flux sortants sont des déchets. Une étape de gestion des déchets doit donc plutôt être considérée comme assurant un service.

De plus, notre analyse est que la valeur économique des différents flux sortants d'une étape de gestion des déchets ne constitue en aucun cas un moyen d'identifier le service rendu ou de hiérarchiser les services rendus. Certains flux sortant d'une étape de gestion des déchets constituent un poste de coût, celui-ci pouvant être plus ou moins élevé en fonction du traitement ultérieur, alors que les autres flux sortants de cette même étape constituent au contraire une recette, celle-ci pouvant être plus ou moins élevée en fonction de la valeur des matériaux constituants ces flux. A titre d'exemple, lors du traitement des GEM F, le flux correspondant aux gaz réfrigérants et aux gaz d'expansion qui sont captés constitue un poste de coût, d'autant plus élevé que ces gaz doivent être traités en incinération de déchets dangereux ; à l'inverse, les fractions métalliques qui sont extraites au cours du traitement peuvent constituer un poste de recette. De notre point de vue, il est inapproprié de plaquer les réflexes acquis lors de l'évaluation d'étapes de production/fabrication de produits et de considérer, en se basant sur l'observation de la valeur économique de ces deux flux, que le service rendu par le traitement des GEM F consiste plutôt dans l'extraction des fractions métalliques en vue de leur recyclage[24], sachant que la

[24] A notre sens, cette même observation obère toute possibilité de recourir à une règle d'affectation économique dès lors qu'on se situe sur des étapes de gestion des déchets.

Déchets vs Produits

réglementation impose d'ailleurs comme mission primordiale de certaines filières de fin de vie d'assurer la dépollution et la gestion appropriée d'un point de vue environnemental des « polluants ».

Mais la proposition inverse serait également erronée : outre l'impératif d'extraction et de gestion adéquate des polluants présents, les opérateurs de gestion des déchets visent également à extraire au mieux les flux susceptibles de faire l'objet d'une valorisation ultérieure, à la fois dans une logique de rentabilité économique (baisse des postes de coûts et augmentation des recettes) mais également lorsque des obligations leurs sont imposées dans ce sens (par exemple dans le cas de relations contractuelles avec les éco-organismes, des objectifs sont fixés en matière de taux de recyclage et/ou de valorisation).

En résumé, sauf d'exception, une étape de gestion des déchets n'offre pas de produits en sortie de son activité mais seulement des déchets ; elle rend différents services, à la fois d'extraction de polluants pour les orienter vers un traitement adapté mais également d'extraction des matériaux valorisables pour les orienter vers une valorisation adaptée.

Dans le cas d'étapes de gestion des déchets conduisant à générer des flux sortants ayant le statut de « produits » ainsi que des déchets en sortie de son activité, cette double fonction mérite tout autant d'être considérée.

Dans le cadre d'une évaluation environnementale portant sur une telle étape, le **modélisateur institue par ses choix de comptabilisation** de la gestion ultérieure des flux, les flux ou les portions de flux qui sont considérés comme déchets de l'étape et, par effet miroir, il institue également les flux ou portions de flux qui sont considérés comme les différents produits (coproduits) de l'étape sur lesquels les charges sont à répartir. Faire le choix de comptabiliser dans les charges d'une étape la gestion ultérieure de flux non cibles, revient donc à devoir les répartir entre les différents coproduits qui ont été institués.

Les choix d'affectation des charges de l'étape entre les différents coproduits qui ont été institués sont susceptibles d'avoir une incidence non négligeable sur les résultats produits à l'issue de l'évaluation environnementale.

Par exemple, en imaginant une étape de traitement qui consomme en moyenne 450 kWh par tonne de coproduit sortant et en imaginant que le flux cible représente 10 % de la masse de ces coproduits, l'incidence sur les résultats de l'évaluation peut être notable entre :

- Un cas où les 450 kWh seraient exclusivement affectés au flux cible, ce qui donnerait 4 500 kWh/t de flux cible ;
- Un cas où les 450 kWh seraient exclusivement affectés aux autres flux que le flux cible, ce qui donnerait 0 kWh/t de flux cible ;
- Un cas où les 450 kWh seraient affectés de manière massique entre tous les coproduits dont le flux cible, ce qui donnerait 450 kWh/t de flux cible.

Comme pour le point précédent, il n'y a pas de règle qui s'impose dans l'absolu quant au processus d'affectation qui mérite d'être suivi ; des règles d'affectation qui, d'ailleurs, en fonction de l'objectif des travaux ne sont pas toujours nécessaires.

Ainsi dans le cas d'une étude de type OEF ou de type Bilan GES organisation, les règles d'affectation ne sont pas nécessaires puisque les impacts restent calculés à l'échelle de l'intégralité des activités couvertes par le périmètre d'étude.

De même dans le cas d'une ACV conséquentielle, portant par exemple sur l'action visant à organiser une filière de recyclage d'un plastique cible, l'affectation ne s'impose pas nécessairement non plus.

En revanche, dans le cas où les résultats de l'évaluation doivent nécessairement être rapportés à une unité de référence – ce qui est par exemple le cas si on envisage une exploitation dans le cadre de PEF ou d'autres référentiels qui procèdent à une logique d'analyse et d'évaluation matériau par matériau - alors il devient nécessaire de procéder à une affectation entre les coproduits et donc de statuer sur les règles d'affectation à suivre.

Compte tenu des spécificités d'une étape de gestion des déchets (cf. Encart Déchets vs Produits), pour laquelle aucun flux sortant ne nous semble devoir être privilégié devant les autres afin de saisir le service qui serait rendu par cette étape, notre point de vue serait de considérer que tous les coproduits institués par le modélisateur doivent porter une part des charges environnementales de l'étape. Du fait de ces

mêmes spécificités, toute forme d'affectation économique entre les coproduits nous semble devoir être écartée. Ainsi, dans un tel contexte, les règles d'affectation qui nous semblent envisageables sont :

- L'affectation massique ;
- L'affectation volumique ;
- L'affectation fondée sur des considérations physico-chimiques.

En fonction des étapes, des opérations, voire des charges qui sont en jeu, l'une ou l'autre de ces règles d'affectation pourra potentiellement être plus pertinente que les autres.

Par exemple, dans le cas de l'affectation des charges environnementales qui sont associées à une étape de collecte multimatériaux des emballages ménagers, il a été évoqué dans le chapitre dédié aux cas des emballages que la mise en œuvre d'une affectation volumique nous semblait la plus adéquate ; en revanche, si la collecte des emballages porte sur les non fibreux, c'est-à-dire plutôt un ensemble dominé par les corps creux, l'affectation des charges environnementales pourrait suivre une affectation massique.

Autre exemple : le traitement de rang 1 des GEM F engendre des émissions de gaz réfrigérants ou de gaz d'expansion sous forme de fuites fugitives. Cette charge environnementale peut être mise en relation directe avec l'un des coproduits sortant de cette étape de traitement (le coproduit gaz réfrigérants et gaz d'expansion qui est destiné à l'incinération en déchets dangereux). Dans ce cas, l'affectation doit selon nous être conduite sur la base de considérations physico-chimiques et cette charge environnementale spécifique n'a pas lieu d'être répartie entre les différents coproduits du traitement des GEM F ; elle doit au contraire être exclusivement affectée au flux non cible des gaz réfrigérants et gaz d'expansion.

G. PERSPECTIVES : QUELS SUJETS A APPROFONDIR DANS UNE ETUDE PORTANT SUR LES PROCEDES DE RECYCLAGE CHIMIQUE ET PHYSICO-CHIMIQUE

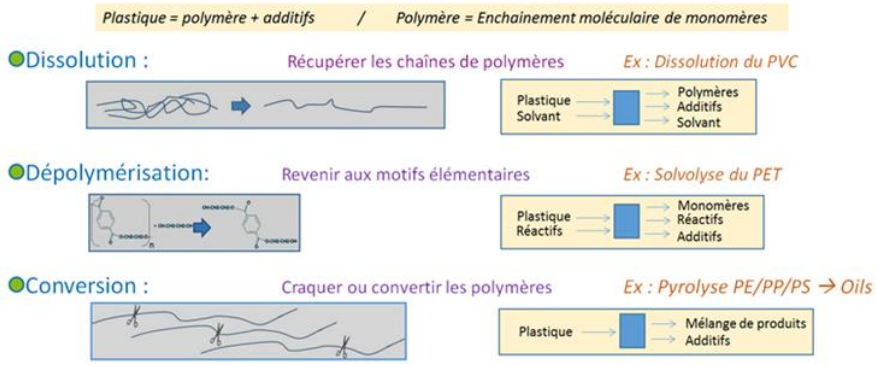
Dans le cadre de cette étude, SCORE LCA a souhaité une ouverture sur le cas des procédés de recyclage chimique des déchets plastiques, avec une première identification de pistes de travail qui pourraient être envisagées dans le cadre de travaux concernant cette famille de procédés.

La présente section restitue cette première ébauche des points clefs - techniques et/ou méthodologiques - qu'il nous semblerait important d'investiguer, de cadrer et de restituer de manière transparente si une évaluation environnementale de type ACV devait être conduite pour une solution de recyclage relevant de cette famille.

Le terme « recyclage chimique » couvre une grande diversité de procédés, l'acception de ce terme pouvant d'ailleurs être plus ou moins large. Ces premières réflexions ont été conduites sur la base d'une acception étendue de cette famille, c'est-à-dire en y intégrant :

- les procédés de « *conversion en monomère ou la production de nouvelles matières premières par modification de la structure chimique des plastiques par cracking, gazéification ou dépolymérisation* »[25]
- les procédés de dissolution sélective qui ne sont pas à proprement parler des procédés de recyclage chimique ; ils constituent toutefois des procédés pertinents à étudier car mettant en œuvre des savoir-faire maitrisés par les industriels de la chimie (ex : dissolution, distillation, filtration…) et permettant d'extraire les polymères des autres constituants des plastiques. Ces derniers procédés sont relativement nouveaux et encore très peu développés.

Le schéma ci-dessous, établi par IFP Energie nouvelle, expose le principe de quelques-unes des technologies de recyclage chimique ou physico-chimique des plastiques.



Source : IFP Energie nouvelle

Afin de mener cette réflexion, nous avons pris connaissance de diverses ressources bibliographiques portant sur le recyclage chimique[26] et avons également bénéficié de l'expertise de Gérard Antonini, Professeur des Universités et expert en thermochimie, et d'Arnaud Parenty, Docteur en chimie et expert en économie circulaire, qui nous ont éclairées sur les aspects techniques de cette grande famille de procédés[27]. Nous les en remercions grandement.

▼ Une palette de solutions possiblement complémentaires au recyclage mécanique

Les procédés de recyclage mécanique ont fait la démonstration de leur intérêt pour certains gisements de déchets. Leur applicabilité et/ou leur intérêt peuvent toutefois se trouver actuellement limités du fait :

- Des exigences qui s'appliquent à la qualité du gisement de déchets entrant à l'étape de régénération : il est en effet nécessaire que le gisement soit riche dans la résine cible et relativement exempt d'impuretés. La conception de certains produits (matériaux complexes par

[25] Définition du recyclage chimique proposée dans l'ISO 15270 : 2008 « Lignes directrices pour la valorisation et le recyclage des déchets plastiques »

[26] Parmi les travaux consultés citons l'étude RECORD n°13-0242/1A sur le recyclage chimique des plastiques et différentes publications préparées à l'occasion des forums organisés par CITEO en 2019 et en 2020 sur le recyclage chimique des plastiques et notamment sur les procédés de pyrolyse, de dissolution et de dépolymérisation.

[27] Ces échanges ont eu lieu en parallèle de la réalisation de cette étude, dans le cadre d'autres travaux menés par Bleu Safran.

exemple) peut constituer un véritable frein à l'atteinte de ces exigences dans le cadre d'étapes de préparation qui restent viables du point de vue économique.

- Des spécifications attendues par les marchés utilisateurs des plastiques recyclés : certaines propriétés mécaniques ou des propriétés essentielles à la mise en œuvre des plastiques peuvent s'avérer difficiles à atteindre du fait des mélanges de grades, de la dégradation possible des chaines de polymères ou de la présence de certaines impuretés résiduelles. La recherche d'une qualité « contact alimentaire » peut également s'avérer une gageure alors même que dans le domaine des emballages, principal secteur utilisateur de plastiques en Europe, on assiste à une augmentation de la demande pour des plastiques recyclés aptes au contact alimentaire ; rappelons qu'à date l'offre de cette qualité par le recyclage mécanique se limite au cas du rPET obtenu à partir de déchets d'emballages ménagers de type bouteilles et flacons en PET clair et après une étape de post-condensation en phase solide. D'autres spécifications attendues par les marchés utilisateurs telles que la couleur ou l'état de surface peuvent également être délicates à atteindre dans des conditions économiquement viables.

Les procédés de recyclage chimique peuvent ainsi constituer une offre complémentaire aux procédés de recyclage mécanique et s'avérer intéressants :

- S'ils permettent de prendre en charge des gisements de déchets qui ne peuvent actuellement pas être recyclés mécaniquement.
- S'ils permettent d'atteindre les exigences sur la qualité des plastiques recyclés qui ne peuvent pas être atteintes par les procédés de recyclage mécanique.

▼ **Dont les performances doivent s'apprécier en précisant la nature et les caractéristiques des gisements de déchets précisément ciblés ainsi que les étapes de préparation ou pré-traitement préalables**

Derrière l'expression « recyclage chimique », il existe une grande diversité de procédés qui peuvent se différencier sur nombre d'aspects. Nous avons listé ci-dessous les points qui nous semblent mériter une attention particulière.

 # 1 - Un premier aspect important concerne les **critères d'acceptation des procédés de recyclage chimique** auxquels devraient satisfaire les flux de déchets en entrée des installations. En effet :

- Certains procédés semblent plutôt adaptés pour traiter des flux de déchets qui présentent une résine largement dominante ou un nombre limité de résines plastiques. Ce serait semble-t-il le cas des procédés de dissolution sélective, qui préservent l'intégrité des polymères, ainsi que des procédés de dépolymérisation chimique (ex : solvolyse), de dépolymérisation thermique ou de dépolymérisation enzymatique, qui visent un retour aux monomères par des procédés sélectifs. Pour ces procédés, il paraît important de prévenir le risque d'obtention de mélanges de polymères ou de mélanges de monomères, ce qui nuirait à leur utilisation ultérieure dans la chaine de valeur des plastiques.
- D'autres procédés semblent davantage être en capacité de prendre en charge des mélanges de plastiques. Cela serait notamment le cas des procédés de craquage thermique. Cette plus grande acceptabilité quant aux plastiques entrants mérite toutefois d'être relativisée car la présence de certains plastiques dans le mélange (ex : plastiques chargés, plastiques contenant des halogènes ou de l'oxygène) peut dégrader les performances du procédé (rendement, besoins énergétiques…) et générer des problèmes de procédés (colmatage, corrosion et usure prématurée des équipements…).

 # 2 - En lien avec le point précédent, les exigences de fonctionnement des procédés de recyclage chimique, qu'elles soient de nature technique ou en lien avec leur viabilité économique, peuvent, comme pour les procédés de recyclage mécanique, nécessiter des **étapes de prétraitement préalables** des flux de déchets plastiques. En effet, la présence de certains types de polymères, types d'additifs dans les plastiques ou encore d'impuretés peuvent dégrader leurs rendements, complexifier leur conduite (besoin de mettre en place un **abattement de polluants**), nécessiter de procéder à des étapes de **purification des produits sortants** (pour répondre aux spécifications des utilisateurs en aval), voire nuire au bon fonctionnement technique des procédés (ex : effet poison de certains composés).

Les enjeux (**# 1** et **# 2**) qui viennent d'être pointés seront d'autant plus importants à identifier et à comprendre que les procédés de recyclage chimique seront envisagés pour offrir des solutions de recyclage pour des gisements de déchets non pris en charge par le recyclage mécanique car pouvant contenir :

i) de multiples types de plastiques et possiblement des mélanges de plastiques de polyaddition (ex : polyoléfines, PMMA, PS, PVC), de polycondensation (ex : PET, polyamides) et des thermodurcissables (ex : polyuréthanes),
ii) des plastiques intégrant des additifs à enjeux (ex : métaux lourds, retardateurs de flammes bromés)
iii) des « complexes », par exemple utilisés dans l'emballage, intégrant des plastiques mais également d'autres matériaux (ex : papier, aluminium)
iv) des souillures et des impuretés (du fait des différentes étapes de la vie des produits dans lesquels se trouvaient les plastiques)

 # 3 - La nature des produits obtenus en sortie des procédés de recyclage chimique dépend fortement de la technologie mise en œuvre ; **ils ont ainsi vocation à être réintégrés à des endroits différents de la chaine de valeur de la production des plastiques ou d'autres produits**.

Des procédés tels que la pyrolyse de plastiques en mélange permettent d'obtenir une huile de pyrolyse dont la composition se rapproche d'un naphta pétrolier ; cette huile peut alors être orientée dans un vapocraqueur afin de permettre la production de building blocks tels que l'éthylène ou le propylène.

De manière similaire, d'autres procédés proches de la pyrolyse revendiquent obtenir des produits à haute valeur ajoutée tels que des solvants ou des cires par exemple (qui ne sont finalement que des produits fractionnés et purifiés issus de la pyrolyse).

Au contraire, certains procédés permettent de conserver l'intégrité du polymère (formulé ou non) ou l'intégrité des monomères ; ils évitent ainsi un retour très en amont dans la chaine de valeur des matières plastiques. Comparativement à des procédés tels que la pyrolyse, ils ne demandent pas de repasser par une étape de polymérisation ou de la synthèse de monomère, avec les impacts environnementaux qui sont associés à ces étapes.

Cette diversité des situations rencontrées amène à souligner plusieurs points d'attention :

- Ces point de « réintroduction » dans la chaine de valeur conditionnent ce à quoi les matières issues du recyclage chimique se substituent : intermédiaire de type naphta pétrolier, solvant, monomères ou polymères.
- Les huiles qui sont produites à l'issue de la pyrolyse présentent l'avantage d'être relativement polyvalentes quant à leurs débouchés : elles peuvent en effet être orientées vers la production de monomères (ex : éthylène, propylène) destinées à la pétrochimie via des procédés tels que le vapocraquage mais également vers des filières « combustibles », et donc « Energie ».

 # 4 - Les **besoins énergétiques sont propres à chaque type de procédé à étudier**. Certaines étapes des procédés peuvent nécessiter des besoins en énergie importants (ex : distillation, évaporation, extraction, purification, etc.). Dans le cas des procédés craquage thermique, les gaz incondensables produits à partir des déchets plastiques entrants peuvent être utilisés pour fournir l'énergie au pyrolyseur et ainsi permettre d'atteindre, dans certains cas, un fonctionnement auto-thermique. Pour autant, même s'il n'y a pas d'énergie externe apportée, il n'en reste pas moins que le procédé nécessite de l'énergie pour fonctionner.

Pour une même famille de procédés, il peut exister de **multiples variantes technologiques** mettant en œuvre des équipements et une conduite possiblement différente du procédé, ceci pouvant se traduire par des rendements, des besoins en énergies et en utilités (ex : conditions classiques versus conditions de température et de pression supercritiques), des besoins en entrants et réactifs (ex : catalyseurs, solvants, milieu réactionnel, agents biologiques, enzymes…) qui diffèrent entre ces variantes technologiques.

 # 5 - Les **niveaux de maturité des procédés** d'intérêt peuvent être éminemment différents. L'étude de procédés à TRL bas ou intermédiaires peut donc présenter des spécificités afin de tenir compte du fait que :

i) les procédés en cours de développement ne sont pas nécessairement optimisés sur le plan des rendements, des besoins en énergies et en entrants, etc.
ii) la succession des étapes qui seront à conduire en amont et en aval du procédé principal ne sont pas toujours connues ou aisément identifiables à ces niveaux de R&D.

 # 6 - Les **capacités de production à envisager** pour permettre la rentabilité économique des unités industrielles peuvent être variables, ce qui nécessite de les mettre en regard des gisements de déchets à traiter et de leur répartition sur un territoire donné.

Au travers des enjeux énumérés ci-dessus, on comprend donc que les données techniques relatives à un procédé, et donc l'évaluation de son intérêt environnemental, vont être intimement liés :

- Aux caractéristiques des flux de déchets plastiques susceptibles d'être pris en charge par les procédés de recyclage chimique ou physico-chimique,
- Aux conditions opératoires du procédé étudié et à la capacité de les identifier et de les modéliser.

Des données de rendement, de besoins en entrants énergétiques et autres, d'émissions et de rejets peuvent être valables pour un gisement de déchets donné et ne pas être transposables à un flux de déchets ayant des caractéristiques différentes. Ceci devrait constituer un point d'attention important lors de l'étude de données bibliographiques notamment.

▼ **Points clés à investiguer dans le cadre d'une étude dédiée aux procédés de recyclage chimique et physico-chimique et à l'ACV**

De notre point de vue, des aspects similaires à ceux étudiés en détail dans le présent rapport pour le recyclage mécanique des plastiques seraient à analyser. Ils sont présentés ci-après.

Ces considérations techniques et méthodologiques pourront être utiles aux praticiens en charge de conduire des évaluations environnementales de procédés de recyclage chimique. Elles pourront également aider les destinataires de telles évaluations à en réaliser une lecture avertie.

- **Une description de la chaine des étapes successives depuis la collecte des déchets contenant les plastiques jusqu'à l'obtention des sortants à valeur ajoutée**

Exemples de points d'intérêt

Toutes les étapes de gestion depuis la collecte des déchets contenant les plastiques jusqu'à l'obtention des sortants cibles devraient être identifiées.

La nécessité de recourir à des étapes de pré-traitement des gisements de déchets à étudier pour répondre aux exigences techniques ou technico-économiques des procédés de recyclage chimique mériterait d'être clairement traitée.

Le besoin de recourir ou non à des étapes de purification des sortants à valeur ajoutée devrait être discutée en regard de la composition des déchets entrants et des exigences des marchés applicatifs des sortants.

La nature et la qualité du ou des sortants cibles seraient à préciser ainsi que les produits conventionnels qu'ils permettent de substituer.

Dans le cas des composés et additifs à enjeux se trouvant dans les gisements de déchets plastiques à traiter (ex : métaux, halogènes), il semble important de comprendre leur devenir tout au long de la chaine du recyclage, et notamment lors des sous-étapes des procédés de recyclage (ex : profil de distribution entre les différents flux sortants, risque d'une présence sous forme de traces dans les sortants à valeur ajoutée).

- **Une identification des étapes de la chaine du recyclage qui sont multi-sortants, et une discussion quant aux questions de comptabilisation et d'affectation que cela pose**

Exemples de points d'intérêt

Les différents flux pouvant être obtenus en sortie des procédés étudiés (ex : char pour la pyrolyse, produits de filtration pour la dissolution) méritent d'être décrits, ainsi que leur devenir ultérieur.

Au sein d'un même procédé, il serait intéressant de comprendre quelles sont les étapes communes aux différents sortants et celles pouvant être plus spécifiques à certains sortants (ex : étapes de purification ?)

En fonction de l'objectif de l'évaluation environnementale à conduire, les choix méthodologiques résultant de la multifonctionnalité de certaines étapes seraient à discuter.

- **Une indication des « rendements » de chacune des étapes de la chaine et des aspects techniques conditionnants pour les atteindre**

Exemples de points d'intérêt	*Il s'agirait par exemple : i) de montrer la cohérence entre les rendements de conversion atteints ou atteignables et la composition des déchets plastiques, ii) de rendre compte également de l'influence, pour une même famille de procédés, des choix technologiques sur ces rendements.* *Dans le cas des procédés de pyrolyse, il serait intéressant de discuter :* ▪ *de l'incidence de la présence, dans les déchets entrants, de plastiques tendant à dégrader les rendements (ex : polymères oxygénés, plastiques avec des taux de charges importants) comparativement aux déchets de type polyoléfines peu chargées).* ▪ *de l'influence des temps de séjour et des vitesses de chauffe sur les rendements respectifs en huile, solide (char) et gaz incondensables* *Pour d'autres familles de procédés, il serait intéressant de rendre compte de l'influence du choix du solvant, du catalyseur ou d'autres paramètres techniques sur les rendements attendus.*

– **Une description des intrants énergétiques et autres intrants, des émissions et rejets des procédés**

Exemples de points d'intérêt	*La nature des énergies mobilisées, des autres entrants (ex : solvants, anti-solvants, catalyseurs, enzymes…), des émissions et rejets, des déchets seraient à décrire.* *Des ordres de grandeur des besoins énergétiques seraient utiles pour positionner les différents procédés et ainsi anticiper l'importance de la contribution de ces entrants dans leurs bilans environnementaux. Les procédés susceptibles de parvenir à un fonctionnement auto-thermique en utilisant comme source d'énergie les gaz incondensables produits à partir des déchets plastiques entrants méritent d'être mis en évidence.* *Pour les procédés mobilisant des solvants, il pourrait être intéressant d'apporter des éclairages sur les taux de pertes et les besoins spécifiques, notamment énergétiques, des procédés de régénération.*

En complément, d'autres aspects possiblement plus spécifiques aux procédés de recyclage chimique ou physico-chimique mériteront d'être investigués.

– **Quelles recommandations, quelles données de référence pour la conduite d'une évaluation environnementale sur des technologies de recyclage chimique à TRL bas**

Exemples de points d'intérêt	*Ce type d'évaluation peut s'avérer délicate pour les technologies non matures pour lesquelles les caractéristiques clés, le détail des sous-étapes de procédé ou des besoins en pré-traitement, purification, etc., les paramètres optimaux de fonctionnement ne sont pas encore tous connus et/ou quantifiés/quantifiables.* *Ainsi, se pose la question de l'intérêt de travailler à l'élaboration de recommandations méthodologiques, ou encore de données de référence pour l'étude de technologies de recyclage chimique émergentes.*

– **Les déclinaisons et les implications de l'approche « mass-balance » développée par certains acteurs**

Exemples de points d'intérêt	*Le principe, les possibles variantes méthodologiques et les implications de cette approche, récente et promue par certains acteurs de la chaine de valeur des plastiques, mériteraient également d'être étudiés. Nous illustrons ci-dessous quelques aspects qu'il nous semblerait intéressant d'investiguer :* ▪ *Application effective et/ou applicabilité de l'approche « Mass-Balance » à d'autres étapes de la chaine de gestion que l'étape de*

vapocraquage utilisant des feedstocks type naphta venant de la pyrolyse de déchets plastique, voire applicabilité à d'autres procédés que ceux relevant du recyclage chimique.

- *Règles d'élaboration et processus de quantification des « conversion factors» ou « efficiency factor » intervenant dans la mise en œuvre des approches mass balance, en identifiant si ces règles peuvent varier en fonction des référentiels des organismes de certifications (ISCC, UL, tout autre référentiel pertinent).*
- *Implications d'une approche « mass balance » sur la façon d'établir le bilan des entrants (notamment énergétiques) et des sortants des procédés i/ qui sont à affecter aux produits ciblés « mass-balance » (ex : éthylène, propylène) et ii/ aux autres sortants des procédés (en effet, la majorité des feedstocks des vapocraqueurs restera à court terme d'origine conventionnelle).*

H. ANNEXES : ANALYSES SECTORIELLES

H.1 ANALYSE SECTORIELLE : RECYCLAGE DES PLASTIQUES DE LA FILIERE DES EMBALLAGES MENAGERS

H.1.1 INTRODUCTION SUR LA FILIERE

Le recyclage des plastiques dans la filière des emballages ménagers est en cours d'évolution majeure depuis quelques années.

Au lancement de la filière emballages ménagers (1992), seuls les bouteilles et flacons (B&F[28]) en plastique étaient intégrés aux consignes de tri dispensées aux habitants ; les autres emballages plastiques ne devaient pas être triés mais devaient être orientés vers les bacs d'ordures ménagères résiduelles.

Une première expérimentation d'extension des consignes de tri (EECT) à l'ensemble des emballages plastiques a été lancée en 2012 auprès de 3,7 millions de Français. A l'issue de cette première phase d'expérimentation, l'extension des consignes de tri se déploie progressivement sur l'ensemble du territoire : trois phases successives de déploiement étaient envisagées en 2017 par CITEO[29]. En 2019, l'extension des consignes de tri concernerait 40 % de la population, soit environ un peu plus de 25 millions d'habitants.

FIGURE 8 : EXTENSION DES CONSIGNES DE TRI A L'ENSEMBLE DES EMBALLAGES PLASTIQUES : LES PHASES DE DEPLOIEMENT

Le tableau ci-dessous synthétise les catégories d'emballages ménagers plastiques triés de manière sélective par les habitants et orientés vers le recyclage dans les zones hors extension des consignes de tri et dans les zones en extension des consignes de tri.

		Zones hors EECT		Zones en EECT	
		Triés	Orientés en recyclage	Triés	Orientés en recyclage
B&F	PET	Oui	Oui	Oui	Oui
	PEHD				
	PP				
P&B	PP	Non*	Non*	Oui	Oui
	PEHD				
	PET	Non	Non		
	PS				En expérimentation
	Autres*				Non
F&S	PEBD	Non	Non	Oui	Oui
	Autres*				Non

B&F : bouteilles et flacons ; P&B : pots et barquettes ; F&S : films et souples

Non* : *historiquement et à l'heure actuelle dans les zones qui ne sont pas concernées par l'extension des consignes de tri, les boites monomatériau en PEHD ou en PP qui ont contenu des matières sèches (ex : cacao, sucre…) sont intégrées aux consignes de tri.*
Autres* *: autres plastiques et autres complexes contenant du plastique (ex : complexe PE/aluminium)*

[28] Par ailleurs au lancement de la filière emballages, les B&F étaient principalement en PE/PP ainsi qu'en PVC ; quelques années plus tard, les B&F PET se sont largement développées au détriment des B&F PVC.

[29] La mise en œuvre de l'extension des consignes de tri s'échelonne dans le temps pour permettre i/ l'adaptation des centres de tri (les centres de tri avant extension n'avaient pas été conçus pour traiter tous les emballages en plastique. Ils doivent donc être modernisés pour pouvoir accueillir efficacement les pots /barquettes et films en plastique, tout en fournissant le niveau de qualité requis pour le recyclage et en maitrisant les coûts) ainsi que ii/ l'amélioration de la recyclabilité des emballages (les emballages doivent davantage être conçus de manière à en tenir compte des contraintes du recyclage) et iii/ le développement des capacités de recyclage (les usines en aval doivent être dimensionnées pour absorber ces nouveaux tonnages et de nouveaux procédés et débouchés de recyclage restent à développer).

H.1.2 EMBALLAGES PLASTIQUES MENAGERS : QUANTITES MISES SUR LE MARCHE ET QUANTITES ORIENTEES EN RECYCLAGE

En 2017, 1 152 kt d'emballages plastiques ménagers ont été mis sur le marché en France, dont 486 kt de B&F et 666 kt d'autres emballages plastiques.

Cette même année la quantité d'emballages plastiques orientés vers les régénérateurs en sortie de centre de tri est de 305 kt, dont 275 kt de B&F, 29 kt d'autres emballages plastiques collectés de manière sélective et 1 kt d'emballages plastiques issus d'un tri sur TMB (Tri Mécano Biologique).

Le taux de recyclage global des emballages plastiques est donc pour l'année 2017 de 26,5 %, celui-ci se répartissant entre un taux de recyclage de 56,9 % pour les B&F et 4,3 % pour les autres emballages plastiques.

Le tableau ci-dessous présente les tonnages mis sur le marché et les tonnages orientés en recyclage en sortie de centres de tri sur plusieurs années.

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Gisement mis sur le marché en kt									
B&F	1034	510	510	489	448	456	470	472	486
Autres		550	550	602	615	633	645	643	666
Gisement orienté en recyclage en kt									
B&F	224	228	234	240	244	250	257	264	275
Autres	2	2	1	9	7	7	8	18	29
Issu du TMB			0	2	1	1	1	1	1
Taux de recyclage									
B&F		45 %	46 %	49 %	55 %	55 %	55%	56 %	56,9 %
Autres				1 %	1 %	1 %	1 %	3 %	4,3 %
Total	22,0%	21,7%	22,2%	23,0%	23,7%	23,7%	23,9%	25,4%	26,5%

TABLEAU 10 : EMBALLAGES PLASTIQUES MENAGERS : GISEMENT MIS SUR LE MARCHE, GISEMENT ORIENTE EN RECYCLAGE, SOURCE [2]

La quantité d'emballages plastiques ménagers mis sur le marché et orientée en recyclage pour une année donnée peut être trouvée dans plusieurs sources :

[1] Les rapports annuels d'activités CITEO ADELPHE ;

[2] Le tableau de bord des déchets d'emballages ménagers réalisé et publié par l'ADEME

[3] Le rapport sur la valorisation des emballages ménagers dans le cadre de la directive 94/62/CE modifiée relative aux emballages et aux déchets d'emballages, également réalisé et publié par l'ADEME.

Les rapports annuels d'activités CITEO ADELPHE fournissent de manière systématique les tonnages comptabilisés à l'arrêté des comptes (tonnage ARC) pour l'année clôturée et les tonnages réellement comptabilisés (tonnage REEL) pour l'année précédente.

Le tableau de bord publié par l'ADEME permet généralement d'avoir une vision des gisements mis sur le marché et des gisements orientés en recyclage sur plusieurs années. La dernière version de ce tableau de bord présente les tonnages ARC mais non les tonnages REEL.

Le rapport sur la valorisation des emballages ménagers dans le cadre de la directive 94/62/CE modifiée fournit des informations supplémentaires qui peuvent potentiellement être utiles dans le cadre d'une évaluation environnementale. Notamment :

- Une ventilation de la quantité d'emballages mis sur le marché en France en différentes grandes catégories (sacs en PE, sacs en PVC, autres sacs, boîtes, bouteilles < 2 l, bouteilles > 2 l, …)
- Une ventilation de la quantité d'emballages mis sur le marché en France entre ceux qui ont été fabriqués en France et ceux qui ont été importés
- Le taux d'humidité et impuretés à considérer sur les déchets d'emballages plastiques orientés en recyclage

Outre les emballages ménagers ce rapport traite également du cas des emballages industriels et commerciaux.

Les données Eurostat [4] permettent de consulter le taux de recyclage des emballages plastiques pour les différents pays de la zone Europe dont la France. Toutefois, les taux de recyclage publiés concernent le périmètre des **emballages ménagers, commerciaux et industriels** ; il n'est pas possible de connaître le taux de recyclage spécifique aux emballages ménagers.

Sur la question des taux de recyclage établis par diverses entités et de leurs modalités de calcul, le lecteur pourra également se reporter à la section xxx de ce rapport.

	Références
[1]	CITEO, ADELPHE. Rapport d'activité CITEO et ADELPHE. 2017. 132 p.
[2]	ADEME. Tableau de bord déchets d'emballages ménagers. Données 2017. Novembre 2018. 20 p.
[3]	ADEME. La valorisation des emballages en France – directive 94/62/CE modifiée sur les emballages et les déchets d'emballages – base de données 2016 – Juin 2018. p. 73
[4]	EUROSTAT. Tables by Theme / Environment and Energy / Environment / Waste / Waste Streams / Recycling rates for packaging waste (ten00063). https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ten00063/default/table?lang=en Dernière consultation le 22/10/2019

H.1.3 GESTION DES EMBALLAGES PLASTIQUES MENAGERS DANS LA FILIERE

H.1.3.1 Zones hors extension des consignes de tri (hors EECT)

Pour mémoire, cette gestion concerne approximativement 60 % de la population française en 2019.

La figure ci-dessous illustre de manière schématique la gestion des emballages ménagers plastiques en France dans les zones qui ne sont pas encore en extension des consignes de tri. Cette gestion correspond également à la gestion historique des emballages ménagers en plastique.

Des informations et données plus précises relatives à chacune de ces étapes sont fournies dans la suite du document.

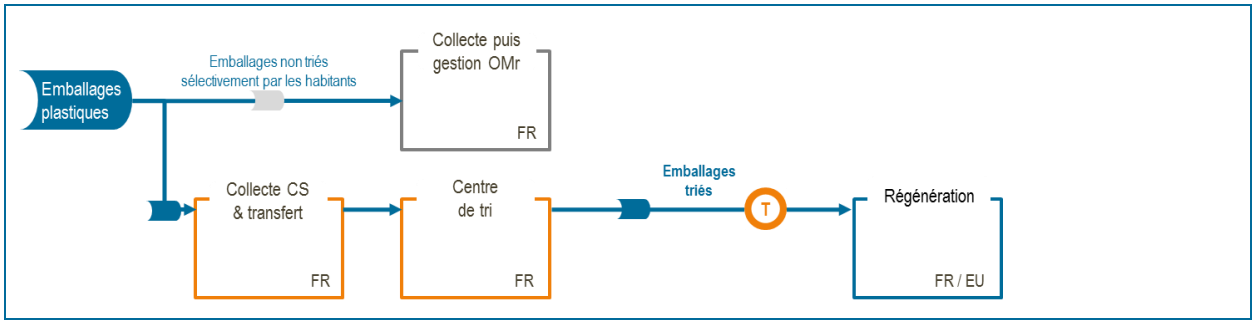


FIGURE 9 : GESTION DES EMBALLAGES MENAGERS PLASTIQUES DANS LES ZONES HORS EECT

Dans un premier temps, les emballages ménagers en plastique sont triés par les habitants qui vont les déposer :

- Soit dans les bacs dédiés à la collecte sélective ;
- Soit dans les bacs dédiés aux ordures ménagères résiduelles.

Dans les zones hors extension des consignes de tri, les habitants ont pour consigne :

- De déposer les bouteilles et flacons en plastique dans les bacs de collecte sélective ;
- De déposer les autres emballages en plastique dans les bacs des ordures ménagères résiduelles.

Il convient toutefois de noter que le geste de tri des habitants n'est pas parfait avec pour conséquence :

- Qu'une partie de bouteilles et flacons plastiques n'est pas déposée dans les bacs de collecte sélective mais dans les bacs d'ordures ménagères (ceci constituant le premier facteur limitant du taux de recyclage des emballages plastiques recyclables, par exemple les B&F PET) ;
- Qu'une partie des autres emballages en plastique est déposée dans les bacs de collecte sélective plutôt que dans les bacs d'ordures ménagères (erreurs de tri des habitants).

Les emballages plastiques déposés dans les bacs dédiés aux ordures ménagères sont collectés et traités avec les ordures ménagères, à savoir pour partie en incinération avec valorisation énergétique (69 % en 2014[30]) et pour partie en stockage (31 % en 2014).

Les emballages plastiques déposés dans les bacs de collecte sélective sont collectés en mélange avec d'autres emballages et dans certains cas avec les papiers/cartons (cf. H.1.5.1 Collecte sélective pour plus de détails) et acheminés en entrée de centre de tri.

Dans les centres de tri, le flux collecté sélectivement fait l'objet d'un processus qui permet, de manière schématique (cf. H.1.5.2 Tri en centre de tri pour plus de détails) :

- De séparer les différents matériaux les uns des autres ;
- D'extraire les indésirables (notamment les erreurs de tri des habitants) pour les orienter vers les refus.

En sortie de centres de tri, les bouteilles et flacons en plastiques triés par polymère sont mises sous forme de balles (cf. H.1.5.2 Tri en centre de tri pour plus de détails sur le tri par polymère dans les zones hors EECT) puis acheminées vers les régénérateurs situés principalement en France et également dans d'autres pays européens (cf. H.1.5.3 Transport entre les centres de tri et les régénérateurs pour plus de détails sur la localisation des régénérateurs).

H.1.3.2 Zones en extension des consignes de tri (EECT)

Pour mémoire, cette gestion concerne approximativement 40 % de la population française en 2019.

La figure ci-dessous illustre de manière schématique la gestion des emballages ménagers plastiques en France dans les zones qui sont en extension des consignes de tri.

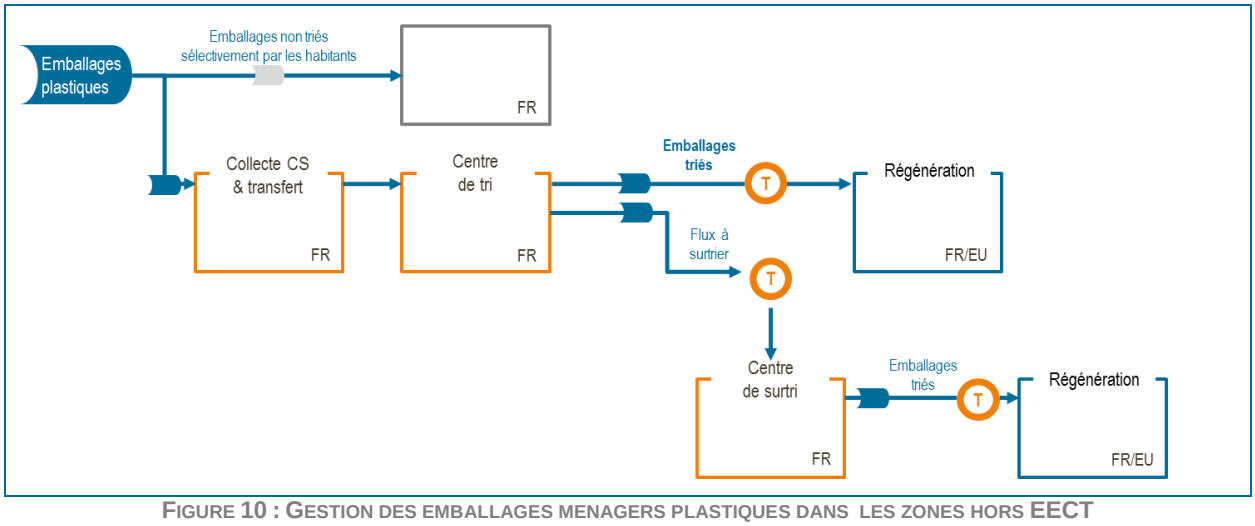


FIGURE 10 : GESTION DES EMBALLAGES MENAGERS PLASTIQUES DANS LES ZONES HORS EECT

Dans les zones en extension des consignes de tri, les habitants ont pour consigne de déposer tous les emballages plastiques dans les bacs dédiés à la collecte sélective. De même que dans les zones hors EECT, le geste de tri des habitants n'est pas pleinement efficace et une partie de ces emballages est déposée dans les bacs dédiés aux ordures ménagères.

La gestion des emballages collectés sélectivement dans les zones en extension des consignes de tri est identique dans ses premières étapes à celle des zones hors extension des consignes de tri. La différence apparaît en sortie de centres de tri : outre des balles plastiques triées par polymère qui peuvent être directement acheminées vers les régénérateurs, les centres de tri produisent un flux de plastiques en mélange qui est envoyé vers des centres de surtri (cf. H.1.5.2 Tri en centre de tri pour plus de détails sur le tri par polymère dans les zones EECT).

Les centres de surtri sont des centres de tri dédiés à ces flux d'emballages plastiques en mélange ; ils vont les séparer entre différents polymères (cf. 0

Tri en centre de surtri) qui seront mises en balles et transportées vers des régénérateurs qui peuvent être situés en France ou dans d'autres pays.

[30] Cette répartition correspond aux derniers chiffres publiés par l'Ademe en 2018. Au cours des dernières années, la part d'incinération avec valorisation énergétique avait plutôt tendance à croître au détriment du stockage.

H.1.4 FOCUS MATERIAL FLUX ANALYSIS (MFA) SUR LA GESTION EN FIN DE VIE A L'ECHELLE DE LA FRANCE DE QUELQUES EMBALLAGES PLASTIQUES

Les figures présentées dans cette section représentent la gestion de quelques cas particuliers d'emballages ménagers en plastiques à l'échelle de la France. Ils visent à distinguer le **flux principalement suivi** par une catégorie d'emballages plastiques et les **flux secondaires**, ceux-ci pouvant être d'importance plus ou moins marquée.

Les représentations proposées restent ici qualitatives. Dans l'objectif d'une évaluation environnementale, ces représentations devraient être quantifiées. Elles sont en effet incontournables pour les raisons suivantes :

- Elles permettent d'identifier les étapes qui seront à prendre en compte dans le périmètre d'évaluation et les tonnages auxquels s'appliquent ces étapes ;
- Elles permettent éventuellement d'identifier les étapes qui pourraient faire l'objet d'approximation ou qui pourraient être négligées (tonnages minimes) ;
- Elles permettent enfin de déterminer l'ensemble des flux susceptibles de correspondre à des pertes de matière.

Les représentations proposées s'appliquent à la gestion en fin de vie à l'échelle de la France pour la période actuelle. Pour une même catégorie d'emballage, elles pourraient être différentes :

- Dans un autre pays ;
- Dans le cas spécifique d'une zone en EECT ou dans le cas spécifique d'une zone hors EECT ;
- En France à une autre période, par exemple dans 10 ans.

De même, ces représentations seraient modifiées en fonction de la granularité du gisement étudié : par exemple, la gestion des B&F en PET clair répond à un schéma de gestion différent de celui des B&F en PET (les B&F en PET clair et les B&F en PET foncé n'étant pas gérées exactement de la même manière) ; c'est également un schéma différent de celui qui concernerait la gestion des emballages de type corps creux (regroupant les B&F et les P&B) en PET.

Il est à noter que, dans le cas du PET par exemple, le schéma de gestion le plus délicat à construire est sans doute celui qui consisterait à appréhender la gestion du PET dans l'emballage ménager : il demande en effet de déterminer d'une part tous les schémas de gestion qui se différencient les uns des autres (celui des B&F PET clair, celui des B&F PET foncé, celui des P&B PET clair, celui des P&B PET complexe, celui des autres emballages susceptible de contenir du PET tels que certains films complexes) et d'autre part, la distribution massique du PET utilisé dans l'emballage ménager entre ces différentes catégories d'emballages.

Quatre cas particuliers d'emballages relativement distincts ont été sélectionnés pour illustrer cet aspect des travaux :

- Les bouteilles et flacons en PET clair ;
- Les pots et barquettes en PET clair ;
- Les pots et barquettes en PS ;
- Les films et souples en PE.

H.1.4.1 Cas des bouteilles et flacons en PET clair

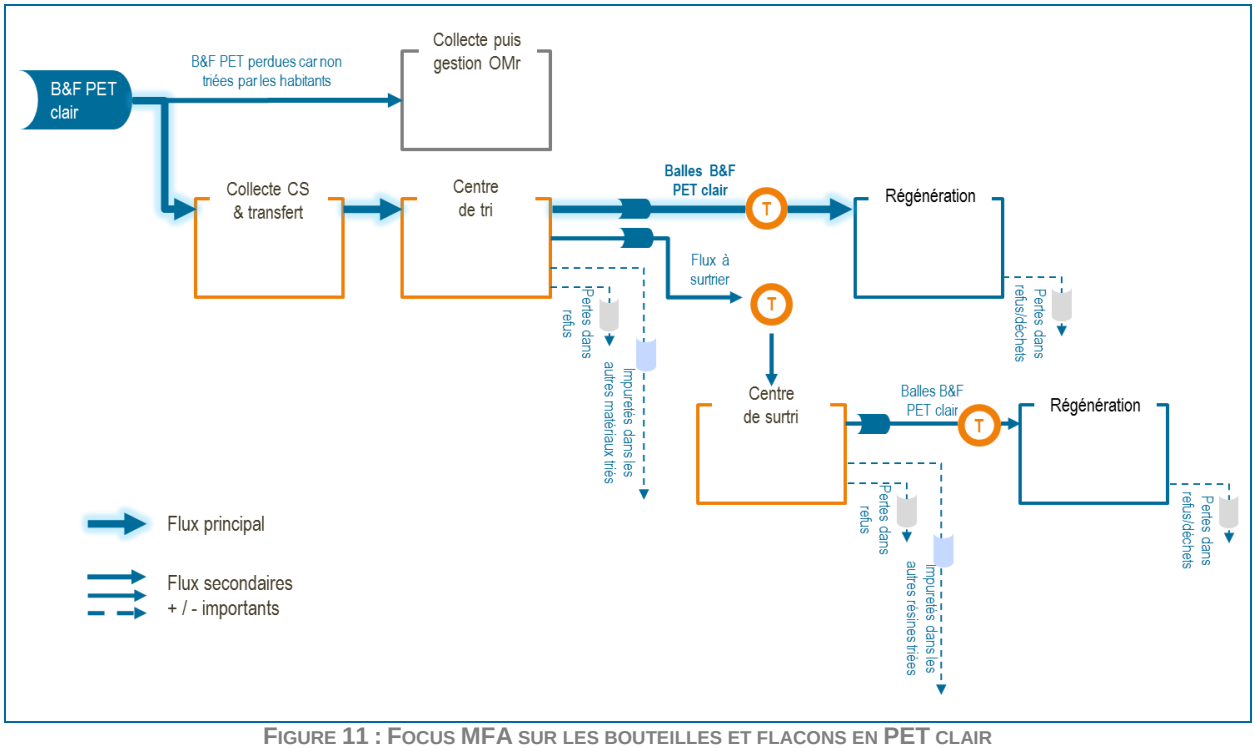


FIGURE 11 : FOCUS MFA SUR LES BOUTEILLES ET FLACONS EN PET CLAIR

Dans le cas des bouteilles et flacons en PET clair, deux flux entrent en régénération :

- Le flux de B&F PET clair triés et mis en balle dans les centres de tri : il s'agit du flux principal ;
- Le flux de B&F PET clair triés et mis en balle dans les centres de surtri : il s'agit d'un flux secondaire produit dans les zones en EECT lorsque les centres de tri amont sont des centres de tri simplifiés ou du fait de bouteilles et flacons PET clair présentes sous forme d'impuretés dans le flux en développement des centres de tri en tri « extension » (cf. H.1.5.2 Tri en centre de tri pour plus de détails sur ces deux catégories de centres de tri).

Les pertes de bouteilles et flacons PET clair ou les pertes de PET clair tout au long de la chaîne visant à passer des bouteilles et flacons PET clair usagées chez l'habitant au PET recyclé sont les suivantes :

1) B&F PET clair détournées par l'habitant vers la gestion des ordures ménagères en lieu et place d'être triées sélectivement : il s'agit du poste de perte le plus important.
2) B&F PET clair non captées ou mal orientées en centre de tri et se retrouvant soit dans les refus, soit dans les autres catégories de matériaux triées (par exemple, B&F PET dans les emballages cartons). Ces mêmes types de perte surviennent également en centre de surtri ; leur importance à l'échelle du tonnage total de PET est moindre qu'en centre de tri dans la mesure où le tonnage de B&F PET clair passant par les centres de surtri est secondaire.
3) B&F PET clair ou PET clair perdus à différentes étapes de la régénération. Lorsque les balles de B&F de PET clair répondent aux spécifications attendues, il s'agit du poste de pertes le moins important des trois postes.

H.1.4.2 Cas des pots et barquettes en PET clair

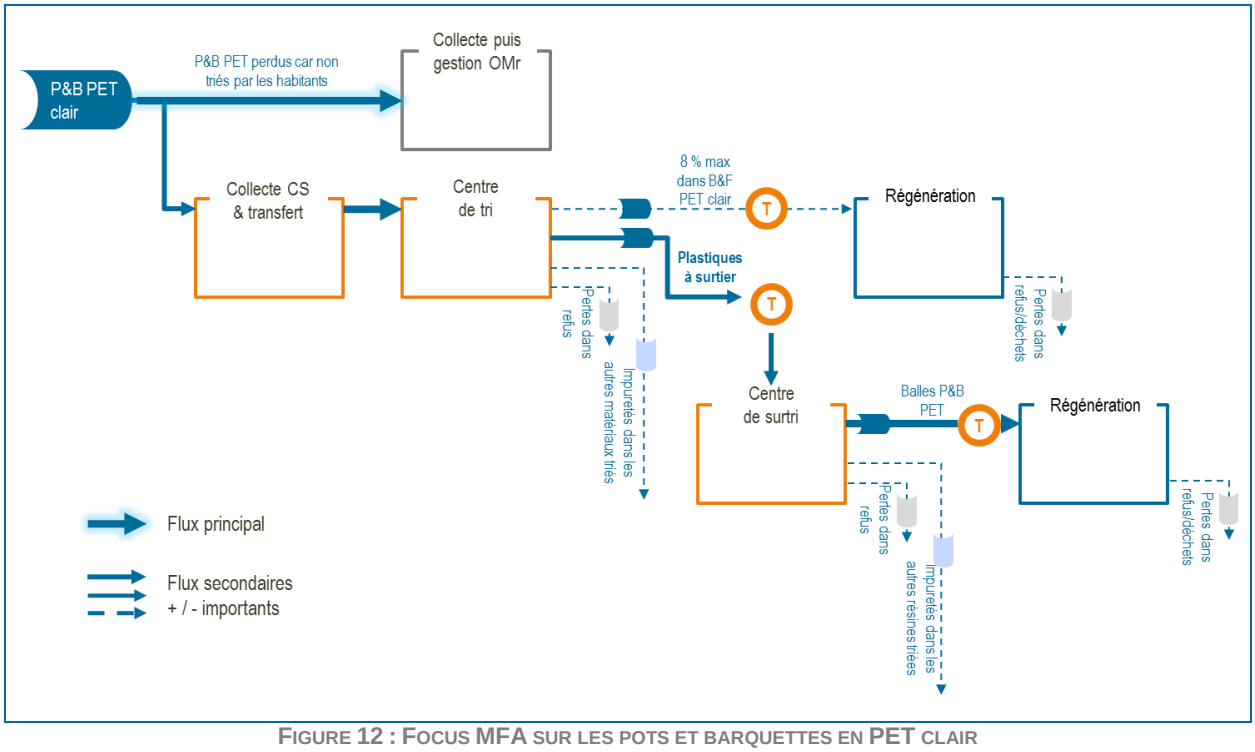


FIGURE 12 : FOCUS MFA SUR LES POTS ET BARQUETTES EN PET CLAIR

Dans le cas des pots et barquettes en PET clair, deux flux entrent en régénération :

- Le flux de P&B PET monomatériau produit, dans les zones en extension, par les centres de surtri.
- Les P&B PET monomatériau qui, dans les zones en extension, peuvent être contenus dans certaines qualités de balles B&F PET clair.

De manière générale, les quantités de P&B en PET clair qui entrent en régénération restent limitées :

- Le pourcentage de la population dans les zones en extension reste inférieur en 2019 au pourcentage de la population qui n'est pas encore en extension des consignes de tri.
- Le passage en extension des consignes de tri reste récent : un temps d'appropriation de ces nouvelles consignes de tri est nécessaire ; l'efficacité du geste de tri des habitants est moins élevée pour les P&B PET qu'elle ne l'est pour les B&F PET.

En conséquence, pour les P&B en PET clair, le flux majoritaire (à l'échelle de la France) reste le flux de P&B en PET clair qui intègre la gestion des ordures ménagères.

Les sources de pertes de P&B PET clair ou de pertes de PET clair tout au long de la chaîne visant à passer des P&B usagées chez l'habitant au PET recyclé sont de même nature que pour les B&F en PET clair.

Il convient toutefois de noter que, au moins dans une phase de réglage des process, les risques de pertes de P&B en PET clair sous forme d'impuretés dans les autres flux triés par les centres de tri peuvent s'avérer plus importants pour ces emballages que pour les B&F en PET clair : les barquettes montrent en effet une tendance à s'écraser et à s'aplatir et se trouvent pour partie orientées dans le flux des corps plats au cours du process de tri ; l'installation de trieurs optiques sur la ligne de corps plats permet généralement de les extraire de cette ligne pour les renvoyer vers la ligne des corps creux.

H.1.4.3 Cas des pots et barquettes en PS

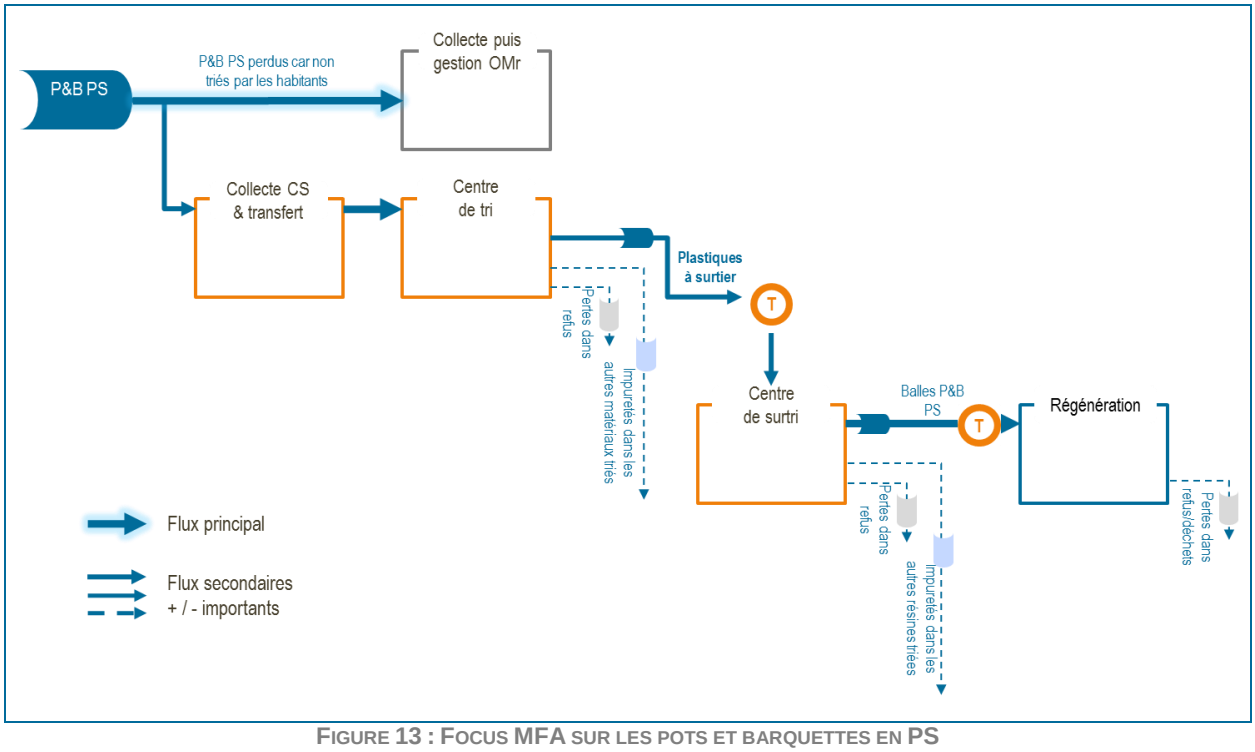


FIGURE 13 : FOCUS MFA SUR LES POTS ET BARQUETTES EN PS

La gestion des pots et barquettes en PS est tout à fait comparable à la gestion des pots et barquettes en PET clair. La seule différence entre ces deux catégories d'emballages tient au fait qu'un seul type de flux entre en régénération : aucune barquette en PS n'est directement envoyée en régénération en sortie de centre de tri ; ces emballages passent nécessairement par les centres de surtri.

H.1.4.4 Cas des films et souples en PE

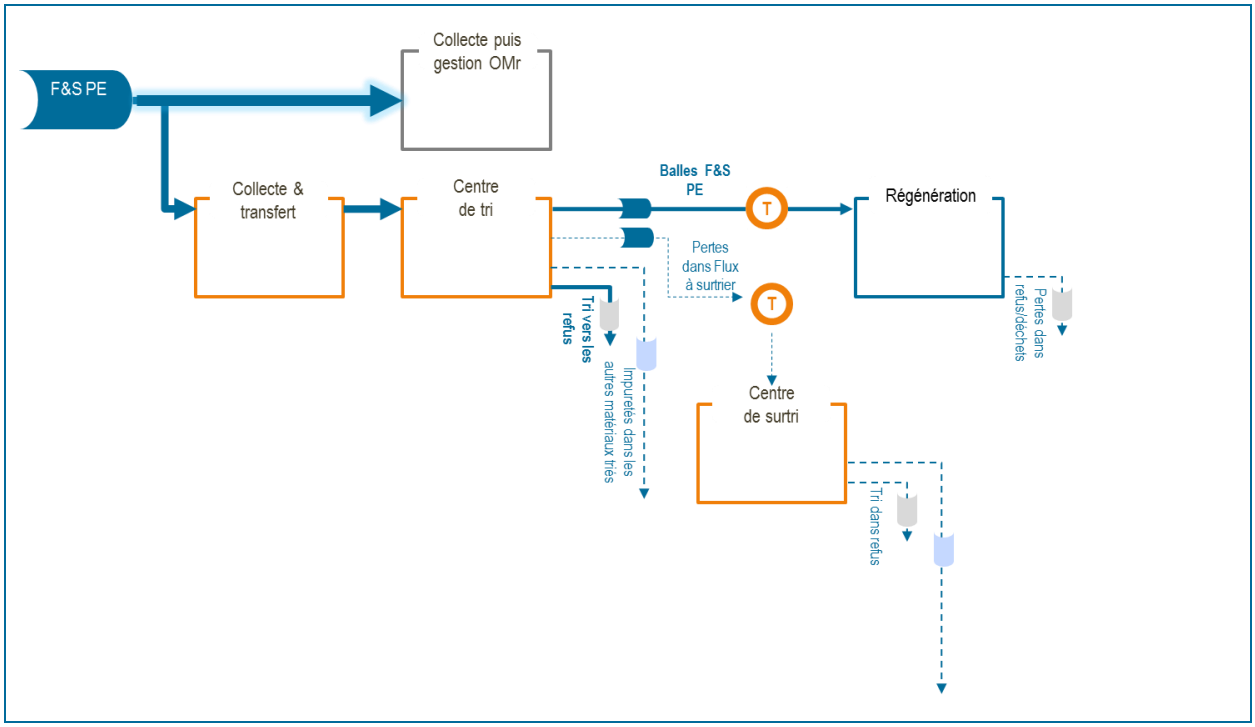


FIGURE 14 : FOCUS MFA SUR LES FILMS ET SOUPLES EN PE

Dans le cas des films et souples en PE, un seul flux entre en régénération ; ce flux est un flux de F&S PE directement trié par les centres de tri ; il ne concerne par ailleurs que les zones en extension des consignes de tri.

Comme dans le cas des P&B PET clair ou des P&B PS, les quantités de F&S PE qui entrent en régénération restent limitées :

- Le pourcentage de la population dans les zones en extension reste inférieur en 2019 au pourcentage de la population qui n'est pas encore en extension des consignes de tri.
- Le passage en extension des consignes de tri reste récent : un temps d'appropriation de ces nouvelles consignes de tri est nécessaire ; l'efficacité du geste de tri des habitants est moins élevée pour les F&S qu'elle ne l'est pour les B&F PEHD.

En conséquence, pour les F&S en PE, le flux majoritaire (à l'échelle de la France) reste le flux de F&S en PE qui intègre la gestion des ordures ménagères

H.1.5 DETAILS DE LA GESTION PAR ETAPE

Cette section détaille les différentes étapes de la gestion des emballages plastiques ménagers depuis l'étape de collecte sélective jusqu'à la régénération.

Chacune des étapes est abordée selon une même structure :

- Un récapitulatif des points clefs ou d'attention en vue d'une évaluation environnementale
- Une figure mettant en lumière la qualité du(des) flux entrant(s), la qualité du(des) flux sortant ainsi que les utilités, consommables, rejets et émissions ; de même, cette figure fait apparaître, de manière schématique, des sous-étapes possibles au sein de l'étape.
- Une explication générale de ce en quoi consiste l'étape ;
- Des informations plus détaillées sur :
  - Le(s) flux entrant(s) ;
  - Le(s) flux sortant(s) ;
  - Les utilités et consommables ;
  - Les rejets et les émissions.

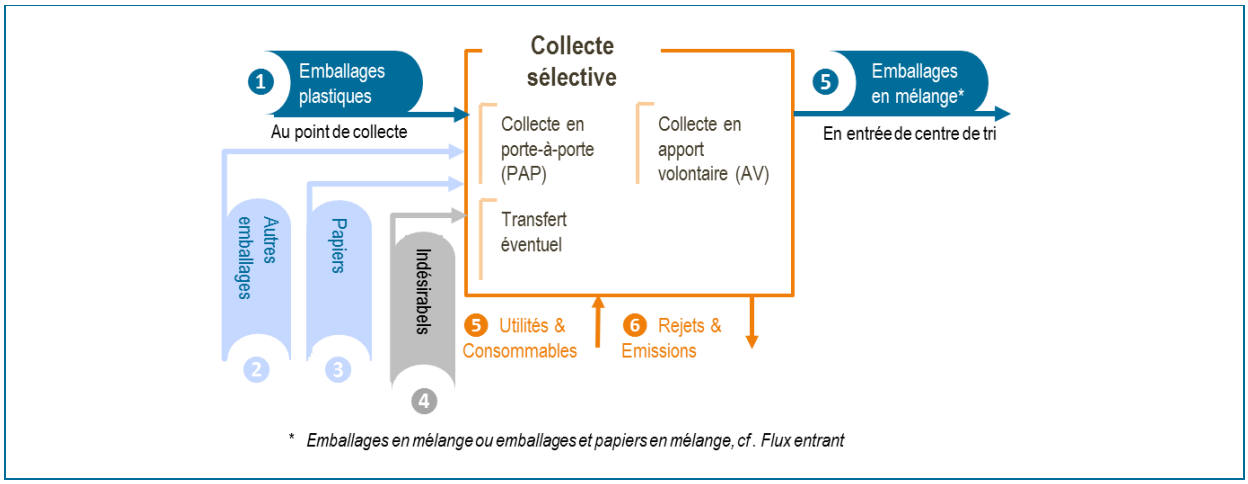
Des informations ou données potentiellement utiles dans le cadre d'une évaluation environnementale sont présentées au fil de l'eau. Elles sont identifiées par la **police suivante**.

La section dédiée à une étape donnée se conclut par une présentation de la bibliographie potentiellement utile.

H.1.5.1 Collecte sélective

Notre perception des points clefs ou d'attention en vue d'une évaluation environnementale	
Méthodologie	Les emballages plastiques sont collectés sélectivement en mélange avec d'autres emballages/matériaux. Des **enjeux d'allocation** sont à considérer sur les sous-étapes : – De dotation – De collecte / transfert Les enjeux d'allocation peuvent s'avérer plus ou moins prégnants selon que les données de dotation et les données de collecte exploitées portent sur un flux multimatériaux (intégrant des pondéreux) ou un flux emballages non fibreux (corps creux sans pondéreux). En première instance, dans le cas de données représentatives d'un flux multimatériaux, nous recommandons plutôt une allocation volumique ; dans le cas d'un flux emballages non fibreux, une allocation massique nous semble adéquate.
Données à fiabiliser	Une variabilité importante est observée sur ces deux grandeurs : – Performances de collecte en km/t – Consommation des bennes de collecte en litre/100 km Les enjeux potentiels de cette incertitude sont significatifs en termes d'émissions de GES au moins. Des valeurs plus fiables représentatives de la collecte sélective en France mériteraient d'être établies.

Enjeu à creuser / données à établir	Aucune donnée n'est identifiée pour caractériser les opérations de lavage des bacs de collecte des camions de collecte / de transfert. L'enjeu est qualitativement identifié (rejets potentiels d'hydrocarbures, HAP, métaux lourds, MES, DCO, macrodéchets) par certains acteurs (hors monde ACV).



Des emballages triés par les habitants aux emballages collectés sélectivement

L'organisation de la collecte sélective se décline différemment selon :

- Les schémas de collecte ;
- Les modes de collecte.

Schémas de collecte

La notion de schéma de collecte désigne les regroupements entre les recyclables secs des ordures ménagères (emballages et papiers) au sein d'un même bac/flux. La majorité des collectes en France correspond à trois schémas :

- **Multimatériaux** : c'est une collecte **bi-flux** avec (i) le verre collecté d'une part et (ii) les emballages et papiers en mélange d'autre part. Ce schéma est également désigné par collecte BCMPJ[31].
- **Emballages / papiers** : c'est une collecte **tri-flux** avec (i) un premier flux correspondant aux emballages en verre, (ii) un deuxième flux correspondant aux emballages et (iii) un troisième flux correspondant aux papiers. Ce schéma est également désigné par collecte BCMP + J.
- **Fibreux / non fibreux** : c'est une collecte **tri-flux** avec (i) un premier flux correspondant aux emballages en verre, (ii) un deuxième flux correspondant aux emballages hors cartons et (iii) un troisième flux correspondant aux papiers et aux cartons. Ce schéma est également désigné par collecte BMP + CJ.

Ces trois schémas couvraient 94 % de la population en 2013 **[1, p.7]**. Le schéma multimatériaux est le schéma dominant avec 63 % en moyenne en 2013 et une variation selon le type d'habitat (48 % en zone rurale et 93 % en zone urbaine dense).

Modes de collecte

Le mode de collecte désigne le caractère plus ou moins privatif des points de collecte :

- **Porte-à-porte** : correspond à une collecte dont le contenant (sac ou bac roulant) est affecté à un usager ou un groupe d'usagers nommément identifiables.
- **Apport volontaire** : correspond à une collecte où le dépôt de déchets se fait dans des conteneurs installés en différents points fixes, accessibles à l'ensemble de la population.

[31] La dénomination des différents types de flux de collecte correspond aux matériaux collectés dans le même contenant selon la nomenclature suivante : B = Briques / C = Cartons / M = Métaux / P = Plastiques / J = Papiers

Ces deux modes peuvent en outre être combinés selon les schémas de collecte par ailleurs adoptés : par exemple, dans le cadre d'une collecte Emballages / papiers, la collecte peut être faite en porte-à-porte pour les emballages et en apport volontaire pour les papiers.

De manière générale et d'après les derniers chiffres ADEME disponibles pour 2013, pour l'ensemble des tonnages d'emballages hors verre et de papier, le porte-à-porte est le mode de collecte dominant à hauteur de 70%, suivi de l'apport volontaire à hauteur de 21%. Le mode mixte représente 9% des tonnages. **[1, p.37]**.

Les emballages plastiques collectés en mélange avec d'autres emballages (ou avec d'autres emballages et avec les papiers) sont, soit acheminés directement vers les centres de tri, soit acheminés vers des centres de transfert dans lesquels ils sont massifiés avant de rejoindre les centres de tri.

1 Input emballages plastiques

Dans les zones géographiques qui ne sont pas encore concernées par l'extension des consignes de tri (60 % du territoire en 2019), les emballages plastiques visés par la collecte sélective sont les bouteilles et flacons plastiques ainsi que les boites et pots monomatériau en PE ou PP. Les autres emballages plastiques qui se retrouvent dans les bacs de collecte sélective correspondent à des erreurs de tri des habitants.

Dans les zones qui sont d'ores et déjà concernées par l'extension des consignes de tri, tous les emballages plastiques sont visés par la collecte sélective.

Autres inputs

En fonction des schémas de collecte, les emballages plastiques seront collectés sélectivement :

2 – En mélange avec les autres emballages et avec les papiers ;
3 – En mélange avec les autres emballages ;
– En mélange avec les autres emballages hors carton.

4 Des indésirables correspondants aux erreurs de tri des habitants sont également collectés avec les emballages et les papiers/cartons.

5 Output

A l'issue de la collecte sélective, celle-ci intégrant l'étape de transfert, les emballages en mélange sont parvenus en entrée de centre de tri.

La composition globale du flux en mélange reste inchangée entre l'entrée et la sortie de la collecte sélective ; en revanche, la densité du flux se trouve modifiée au cours de la collecte : la compaction dans la benne permet de l'augmenter d'un facteur de l'ordre de 3.

5 Consommables et utilités

La collecte sélective fait tout d'abord intervenir :

- Des colonnes/conteneurs de collecte (en point d'apport volontaire) ; ces conteneurs, de taille variable (3 à 5 m3), peuvent être aériens, semi-enterrés ou enterrés.
- Des bacs de collecte de différentes dimensions (de 120 litres à 660 litres).
- Voire des sacs dans certaines collectivités.

Les conteneurs et les bacs sont majoritairement constitués de PEHD et d'un peu d'acier ; les conteneurs peuvent également contenir de l'aluminium et les bacs du caoutchouc. Des travaux de terrassement sont nécessaires dans le cas des conteneurs enterrés ou semi-enterrés.

Les conteneurs et les bacs font normalement l'objet d'un lavage régulier.

A notre connaissance, il n'existe pas de statistiques consolidées à l'échelle nationale de la dotation réelle pour la collecte sélective des emballages en mélange. Par ailleurs, les volumes de dotation (conteneurs/collecte) sont tributaires des fréquences de collecte (plus les fréquences sont importantes, plus le volume de dotation à prévoir est réduit). Enfin, la contribution de la dotation aux impacts est tributaire de la durée de vie considérée pour les conteneurs et les bacs.

En considérant des valeurs guides qui étaient proposées par Eco-Emballages **[2, p.13]** une approche pragmatique peut être conduite en considérant dans le cas d'une collecte hebdomadaire (cas le plus fréquent en France) :

- Un **volume de dotation de 40 litres/habitant pour le flux BCMPJ** (**densité de l'ordre de 100 kg/m3** **[9, p. 4]**), ce qui signifie qu'un bac de 120 litres permet de couvrir les besoins d'un foyer de trois personnes correspondant à une collecte annuelle de 6,24 t du flux BCMPJ.
- Un **volume de dotation de 20 litres/habitant pour le flux BCM** (**densité de l'ordre de 40 kg/m3** **[9, p. 5]**), ce qui signifie qu'un bac de 120 litres permet de couvrir les besoins de deux foyers de trois personnes correspondant à une collecte annuelle de 2,496 t de flux BCM.

La masse des bacs peut être trouvée dans la documentation technique des fabricants (un bac de 120 litres pèse entre 9 kg et 10 kg et le ratio masse/volume du bac a plutôt tendance à décroître quand la taille du bac augmente).

En considérant une durée de vie des bacs de 7 ans, on observe que l'enjeu de la dotation varie entre 200 g de matière/tonne collectée (BCMPJ) et 600 g de matière/tonne collectée (BCM).

La collecte sélective fait ensuite intervenir des bennes de collecte, pour la phase de collecte à proprement parler, et des camions pour la phase de transport entre le centre de transfert et les centres de tri en cas de massification intermédiaire.

A notre connaissance, il existe peu de données publiques permettant de caractériser les performances de collecte en termes de distance et de consommation de carburant. Ces données sont très certainement suivies par les acteurs en charge de cette étape dans la mesure où elles sont des indicateurs clefs du coût de la collecte. En revanche, elles ne sont pas diffusées.

Le seul document connu et publiquement accessible sur ce sujet est un document ADEME datant de 2007 **[3, p.2]** et qui fournit des performances de collecte en km/t en fonction du schéma de collecte et en fonction du type d'habitat ; ces données intègrent à la fois la phase de collecte à proprement parler et la phase de transfert :

- **Pour le schéma BCMPJ les données varient de 23 km/t à 75 km/t avec une valeur consolidée à 41 km/t collectée.**
- **Pour le schéma BCM les données varient de 62 km/t à 120 km/t avec une valeur consolidée à 86 km/t collectée.**

Les bennes de collecte ont des gabarits qui varient entre 10 m3 et 30 m3 environ. La consommation en carburant est plus élevée que pour un camion de même gabarit :

- Durant la phase de collecte, les bennes de collecte fonctionnent en Stop-and-GO, ce qui constitue un régime particulièrement consommateur en énergie ;
- Les bennes de collecte consomment également de l'énergie pour les fonctions de manutention des bacs et de compaction des déchets.

De manière plus générale, on distingue habituellement des consommations différentes selon les phases dites de collecte et de haut-le-pied, cette dernière correspondant au transport entre le point de départ de la benne et le début de la tournée de collecte et au transport entre la fin de la tournée de collecte et le lieu de dépotage. La proportion entre les kilomètres parcourus en haut-le-pied et les kilomètres correspondant à la collecte à proprement parler varient selon le type d'habitat, selon le schéma et le mode de collecte et également en fonction de particularités locales.

Dans l'étude FEDEREC **[4, p.110],** la consommation considérée est de 40 l/100 km pour la phase de haut-le-pied et de 100 l/100 km en phase de collecte, avec une consommation finale retenue de 60 l/100 km. Une gamme de valeurs équivalentes étaient exploitées dans l'outil Wisard™ (45 l/100 km en haut le pied et 100 l/100 km en collecte, les deux valeurs extrêmes pouvant varier selon le type d'habitat) ; dans l'étude ACV extension des consignes de tri **[5, p.142]**, une valeur moyenne de 65 l/km avait été retenue en exploitant des données de répartition collecte/haut-le-pied selon le type d'habitat et le mode de collecte. Une publication de Veolia de 2007 mentionne une consommation variant entre 50 l/100 km et 120 l/100 km **[6, p.1]**, mais sans préciser si l'un ou l'autre de ces extrêmes correspond à une dominante collecte ou à une dominante haut le pied.

En croisant les extrêmes en termes de distance de collecte, les extrêmes en termes de consommation ainsi que les valeurs « moyenne », on observe une gamme de valeurs :

- **Pour le flux BCMPJ, de 9 l/t collectée à 90 l/t collectée avec une valeur « moyenne » de 27 l/t collectée ;**
- **Pour les flux BCM De 25 l/t collectée à 144 l/t collectée avec une valeur « moyenne » de 56 l/t collectée.**

6 Rejets et émissions

Les rejets et les émissions associés à la collecte correspondent potentiellement :

- Aux rejets et émissions des opérations de lavage (lavage des conteneurs, des bacs et des bennes de collecte) ;
- Aux rejets et émissions associés à la consommation de carburant par les bennes de collecte (et autres émissions potentiellement associées à leur fonctionnement telles que les émissions de particules par usure des pneumatiques et des plaquettes de frein).

Nous n'avons pas connaissance de données précises permettant de caractériser les enjeux liés aux effluents de lavage. Toutefois, bien que difficile à caractériser (volume et qualité des effluents), il convient de noter que les opérations de lavage des bennes font l'objet de recommandations de la part de l'ADEME dans les fiches de bonnes pratiques issues de la labellisation du service publique de gestion des déchets **[7, p.35]**. Le sujet est également ciblé par le GRAIE (Groupe de recherche, animation technique et information sur l'eau) qui pointe pour le lavage des bennes et des points d'apport volontaires, des rejets potentiels en substances dangereuses et non dangereuses (hydrocarbures, HAP, métaux lourds, MES, DCO, macrodéchets) **[8, p. 7]**.

En toute rigueur, les émissions atmosphériques de polluants qui sont associées aux bennes de collecte dépendent de la cinématique effective de déplacement de ces bennes (situations de trafic) : les émissions de NOx, de CO, de particules… étant potentiellement différentes selon les cinématiques et n'étant pas nécessairement couplées de manière linéaire avec la variation de consommation de carburant en fonction de ces mêmes cinématiques.

Toutefois, même en considérant des facteurs d'émission constants et moyen par litre de carburant consommé, on observe potentiellement des plages de valeurs très étendues du fait de la place de consommation de carburant. Par exemple, concernant les émissions GES et sur la base d'un facteur d'émission approximatif de 3,5 kg Eq. CO2/litre de diesel, on aboutit à une gamme de :

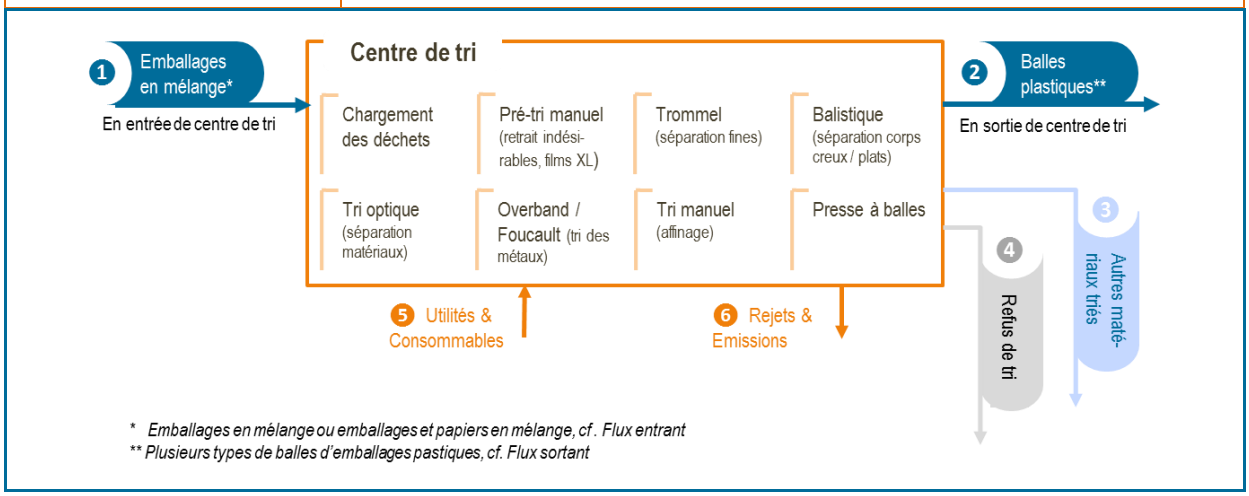
- **31,5 kg Eq. CO2/t collectée à 315 kg Eq. CO2/t collectée pour le flux BCMPJ avec une valeur moyenne de 95 kg Eq. CO2/t collectée;**
- **87,5 kg Eq. CO2/t collectée à 504 kg Eq. CO2/t collectée pour le flux BCM avec une valeur moyenne de 196 kg Eq. CO2/t collectée.**

	Références
[1]	ADEME. Pasquier, Sylvain. Organisation de la collecte des déchets d'emballages ménagers et des papiers graphiques dans le service public de gestion des déchets. Synthèse. 54 p.
[2]	ECO-EMBALLAGES. ADELPHE. Guide d'amélioration de l'implantation des points d'apports volontaires : Une approche globale du système. Non daté. 27 p.
[3]	ADEME. Erwan Fangeat. Enquête collecte 2007 - Analyse des distances parcourues par les véhicules de collecte et transport des ordures ménagères. Document word. 3 p.
[4]	FEDEREC. ADEME. Evaluation environnementale du recyclage en France selon la méthodologie de l'analyse du cycle de vie. Etude RDC. Avril 2017. 178 p.
[5]	ECO-EMBALLAGES. ADEME. Bilan environnemental du projet d'extension des consignes de tri à l'ensemble des emballages ménagers plastiques. Etude BLEU SAFRAN. Mai 2014. 231 p.
[6]	VEOLIA PROPRETE. Dubois, R. Etude de la maîtrise de la consommation d'énergie des bennes de collecte des ordures ménagères. TSM numéro 7/8. 2007. 5 p.

[7]	ADEME. Labellisation du service public de collecte des déchets. Fiches d'illustration des bonnes pratiques. Mars 2012. 48 p.
[8]	GRAIE. La mise en conformité des rejets non-domestiques des activités de la collectivité. Groupe de travail END GRAIE. 2018. 26 p.
[9]	ECO-EMBALLAGES. ADELPHE La compaction des bennes de collecte sélective. Synthèse 2016. 8 p.

H.1.5.2 Tri en centre de tri

Notre perception des points clefs ou d'attention en vue d'une évaluation environnementale	
Méthodologie	Les emballages plastiques collectés sélectivement entrent dans les centres de tri en mélange avec d'autres emballages/matériaux. Le centre de tri séparant les matériaux les uns des autres et séparant également les refus. Un **double enjeu méthodologique d'allocation** est à considérer entre les matériaux triés : – Mode d'allocation : massique ou autres règles (volumique par exemple) – Assiette d'allocation : allocation sur les flux triés en sortie de centre de tri hors refus ou allocation sur les flux triés en sortie de centre de tri dont refus. L'allocation massique ne semble pas théoriquement pleinement satisfaisante : les emballages plastiques sont peu pondéreux et la masse moyenne d'un emballage plastique est plus faible que celle d'un élément d'autres catégories triées dans les centres de tri. Toutefois, d'après notre retour d'expérience, nous recommandons en première instance de s'en tenir à une allocation massique : la contribution du centre de tri aux impacts environnementaux reste limitée et toute autre forme d'allocation s'avère plutôt scabreuse à mettre en œuvre. Un **enjeu méthodologique de comptabilisation** de la gestion des refus de tri est à considérer.
Données à fiabiliser	-
Enjeu à creuser / données à établir	-



Des emballages collectés sélectivement en mélange aux balles de plastiques triées

Les centres de tri peuvent fonctionner avec un niveau de mécanisation et d'automatisation plus ou moins poussé. De manière schématique on distingue **[1, p. 9]** :

- Les centres de tri manuels (26 % des centres de tri en France en 2013, triant 11 % du tonnage)
- Les centres de tri mécanisés qui disposent d'équipements de séparation granulométrique et balistique (34 % des centres de tri en France en 2013, triant 28 % du tonnage)
- Les centres de tri automatisés qui disposent d'équipements – trieurs optiques – permettant une séparation automatisée entre matériaux (40 % des centres de tri en France en 2013, triant 60 % du tonnage)

Le schéma ci-dessus présente les types d'équipement d'un centre de tri automatisé.

Les emballages ou les emballages et papiers/cartons collectés de manière sélective sont chargés sur un convoyeur et vont passer par une première étape de pré-tri manuel qui vise à extraire les indésirables manifestes, qui sont orientés vers les refus, ainsi que les grands films plastiques qui sont destinés au recyclage.

Les emballages et papier/carton passent ensuite dans un trommel de manière à extraire les fractions les plus fines qui ne peuvent pas faire l'objet d'un tri ; ces fractions sont orientées vers les refus.

Un tri balistique va ensuite permettre de séparer le process en deux flux et deux lignes distinctes : la ligne de tri dédiée au tri des corps plats (les papiers/cartons) et la ligne de flux dédiés au tri des corps creux (historiquement, bouteilles et flacons plastiques, emballages acier et aluminium). Des systèmes de tri optique permettent d'effectuer une extraction des emballages plastiques sur la ligne des corps creux.

L'extension des consignes de tri à l'ensemble des emballages plastiques est venue complexifier ce processus de séparation : en effet, les emballages plastiques tels que les films ou des barquettes plastiques peuvent se retrouver dans la ligne des corps plats qui était auparavant dévolue aux fibreux ; des systèmes de tri optique visant à identifier les plastiques sont généralement ajoutés sur la ligne des corps plats afin d'extraire les plastiques pour les renvoyer sur la ligne des corps creux.

1 Input

En fonction des schémas de collecte, le flux entrant dans un centre de tri peut être composé :

- D'emballages en mélange et de papiers graphiques (collecte bi-flux[32] multimatériaux, également désignée par BCMPJ)
- D'emballages en mélange dont les cartons (collecte BCMP)
- D'emballages en mélange hors carton (collecte BMP)

Dans tous les cas le flux entrant comporte également un pourcentage non négligeable d'indésirables, ceux-ci correspondant notamment aux erreurs de tri des habitants. Ces indésirables vont majoritairement se retrouver en sortie du centre de tri dans les refus.

La proportion d'emballages plastiques dans le flux entrant en centre de tri varie de manière notable selon le schéma de collecte sélective. En moyenne sur la France, cette **proportion d'emballages plastiques dans le flux entrant était de l'ordre de 13 %** **[1, p.39]** en 2011 avant extension des consignes de tri.

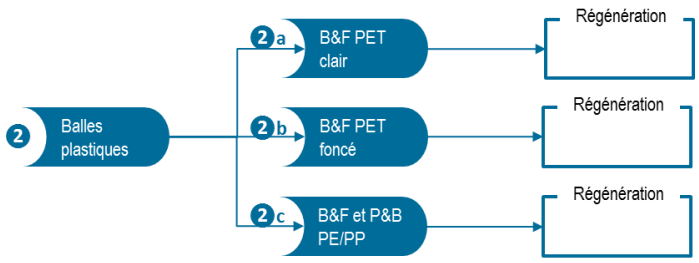
2 Output emballages plastiques

Les emballages plastiques triés sortent du centre de tri sous forme de balles compactées.

Le tri effectué entre les différents emballages plastiques, et donc les qualités de balles, n'est pas le même selon que les centres de tri se situent dans des zones géographiques concernées ou non par l'extension des consignes de tri.

Zones non concernées par l'extension des consignes de tri (60 % du territoire en 2019)

[32] Collecte bi-flux car le verre est collecté à part



Les flux triés et mis en balles sont directement expédiés vers les régénérateurs des polymères concernés.

Les emballages plastiques sont séparés en trois flux :

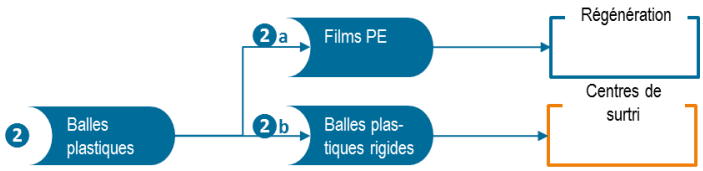
- Un flux Q4 de bouteilles et flacons PET clair ;
- Un flux Q5 de bouteilles et flacons PET foncé ;
- Un flux de bouteilles, flacons, pots et barquettes monomatériau en PEHD ou en PP.

Les autres emballages plastiques que ceux cités ci-dessus sont orientés vers les refus.

<u>Zones concernées par l'extension des consignes de tri (40 % du territoire en 2019)</u>

Dans ces zones, les centres de tri peuvent opter pour deux stratégies de tri (notamment en fonction de leur niveau d'automatisation) : soit un tri simplifié, soit un tri « extension » plus complet.

Cas des centres de tri en tri simplifié



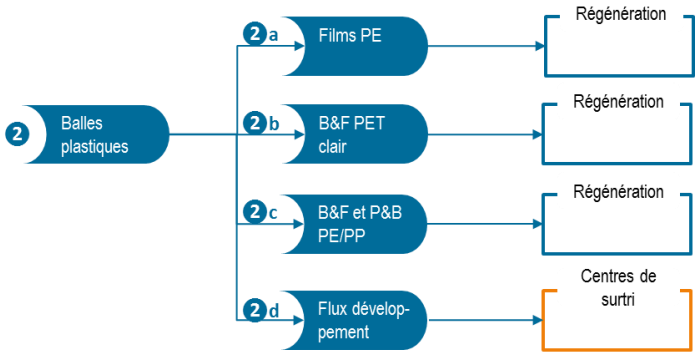
Le flux de films PE est mis en balles pour être expédié vers les régénérateurs de film PE. Le flux d'emballages rigides en plastiques est mis en balles et envoyé vers des centres de surtri.

Dans le cas d'un tri simplifié, les emballages plastiques sont séparés en deux flux :

- Les films en PE ;
- Les emballages plastiques rigides (PE, PET, PP, PS, PVC et complexes)

Les autres emballages plastiques que ceux cités ci-dessus (film PP, films complexes…) sont orientés vers les refus

Cas des centres de tri en tri « extension »



Le flux de films PE, le flux de bouteilles et flacons PET clair ainsi que celui des rigides monomatériau PE/PP sont mis en

Dans le cas d'un tri « extension », les emballages plastiques sont séparés en quatre flux :

- Les films PE ;
- Les bouteilles et flacons en PET clair (flux Q4) ;
- Les bouteilles, flacons, pots et barquettes monomatériau en PEHD ou en PP.
- Un flux développement contenant les pots et barquettes PET clair, les pots et barquettes PS, les rigides PET foncé et opaque, et à

balles et expédiés vers les régénérateurs des polymères concernés.

Le flux développement est mis en balles et envoyé vers des centres de surtri.

partir de 2021 les barquettes multicouches et complexes.

Les autres emballages plastiques que ceux cités ci-dessus (film PP, films complexes, rigides PVC…) sont orientés vers les refus.

3 Outputs coproduits

Plusieurs autres flux que les flux d'emballages plastiques triés sortent des centres de tri en vue de leur recyclage :

- Flux d'emballages acier ;
- Flux d'emballages aluminium ;
- Flux de briques complexes ;
- Différentes qualités de flux de papiers/cartons.

Ces différents flux, notamment les flux de papiers/cartons, peuvent contenir quelques emballages plastiques présents sous forme d'impuretés.

4 Output déchets résultant des indésirables de l'input

Le tri des flux entrant dans les centres de tri conduit à la production de refus, ceux-ci étant principalement constitués :

- Des indésirables correspondant aux erreurs de tri des habitants ;
- Aux fractions fines (< 50 – 60 mm) qui ne peuvent pas faire l'objet d'un tri ultérieur.

Les refus de tri peuvent également contenir une petite proportion d'emballages qui avaient vocation à être triés mais qui n'ont pas été captés.

Les dernières données ITOM disponibles **[2, p.10]** fournissent une estimation du **taux de refus de l'ordre de 16 % à 17 %.**

5 Consommables et utilités

Le tri en centre de tri consomme de l'énergie (carburant et électricité) pour les étapes de manutention (engins) et pour le fonctionnement des tapis de convoyage et équipements de tri.

Il n'y a pas de consommation d'eau autre que celle dédiée aux usages sanitaires, aux opérations de lavage des équipements/engins (voire également à l'arrosage des espaces verts) et à la gestion des risques incendie.

Dans l'étude FEDEREC, une consommation d'électricité de 50 kWh/t entrant est considérée **[3, p. 62]** ; aucune consommation de carburant n'est prise en compte. Dans l'étude ACV extension des consignes de tri, une **consommation de 40 kWh/t entrante à 70 kWh/t entrante**, selon le type de centre de tri, est considérée ; une **consommation de carburant de 0,7 l/t entrante à 1,5 l/t entrante** est prise en compte **[4, p. 148]**.

L'étude d'impact jointe au permis de construire d'un centre de tri automatisé en 2014 permet de déterminer une consommation énergétique finale d'une peu plus de 70 kWh/t entrante **[5, p.186]**. Cette étude permet également de calculer une **consommation totale d'eau de moins de 35 l/t entrante dont moins de 20 % correspondant à l'eau du réseau et 80 % aux eaux pluviales [5, p.168]**

6 Rejets et émissions

Les enjeux en termes de rejets et d'émissions sont limités et concernent essentiellement la gestion des eaux sanitaires et des eaux pluviales de voierie et de lavage.

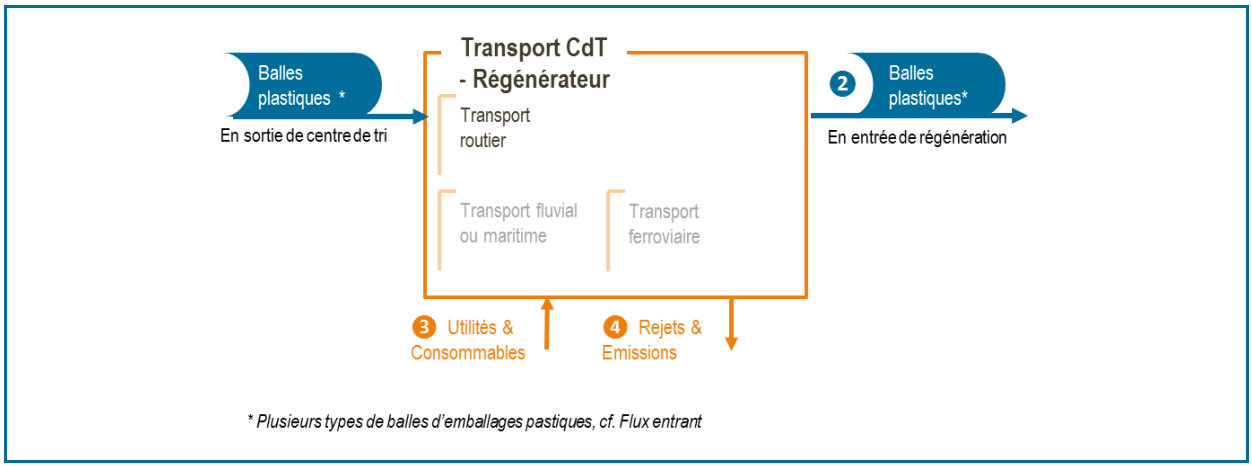
La bonne gestion des nuisances telles que les odeurs, le bruit, les envols de déchets (stockage ou dépotage) constitue possiblement une gageure pour l'intégration des centres de tri dans leur environnement immédiat.

REFERENCES

[1]	ADEME. ECO-EMBALLAGES. ECOFOLIO. Etude de l'adaptabilité des centres de tri des déchets ménagers aux évolutions des collectes séparées. Version 2. Mises à jour données 2013. Etude Terra SA et Trident Service. Juin 2014. 50 p.
[2]	ADEME. Les installations de traitement des déchets ménagers et assimilés en France. Données 2014. Synthèse résultats d'enquête. Octobre 2017. p. 10
[3]	FEDEREC. ADEME. Evaluation environnementale du recyclage en France selon la méthodologie de l'analyse du cycle de vie. Etude RDC. Avril 2017. 178 p.
[4]	ECO-EMBALLAGES. ADEME. Bilan environnemental du projet d'extension des consignes de tri à l'ensemble des emballages ménagers plastiques. Etude BLEU SAFRAN. Mai 2014. 231 p.
[5]	CABINET BOURGEOIS. Création d'un centre de tri et d'un centre de transfert de déchets ménagers et assimilés sur le site des ajoncs. Etude d'impact au titre du permis de construire. Octobre 2014. 220 p.

H.1.5.3 Transport entre les centres de tri et les régénérateurs

Notre perception des points clefs ou d'attention en vue d'une évaluation environnementale	
Méthodologie	Les enjeux méthodologiques de cette étape sont limités. Une question d'allocation peut éventuellement être posée entre les différents éléments d'emballages plastiques qui font l'objet d'un recyclage différencié ultérieur (par exemple : bouchons PE/PP et corps de l'emballage en PET)
Données à fiabiliser	Les grandeurs clefs permettant de quantifier le transport des balles d'emballages plastiques triés en sortie de centre de tri sont connues et régulièrement mises à jour. En revanche, ces données consolident l'ensemble des emballages plastiques triés, toutes catégories confondues ; elles ne permettent notamment pas de distinguer entre les résines.
Enjeu à creuser / données à établir	-



Les balles d'emballages plastiques sortant des centres de tri et qui n'ont pas besoin d'être surtriées sont directement acheminées vers les sites de régénération.

1 Input

Les balles d'emballages plastiques sortant des centres de tri et qui peuvent faire l'objet d'un acheminement direct vers les sites de régénération sont :

- Les balles de bouteilles et flacons PET clair ;
- Les balles de bouteilles et flacons PET foncé ;
- Les balles de bouteilles, flacons, pots et barquettes monomatériau en PEHD ou en PP ;
- Les balles de films PE (pour les zones en extension des consignes de tri).

2 Output

La qualité des balles d'emballages plastiques est inchangée entre la sortie du centre de tri et l'entrée sur les sites de régénération.

3 Consommables et utilités

Les consommables et utilités sont ceux qui sont traditionnellement associés au transport, pour le fonctionnement des véhicules, leur entretien…

Les destinations (France, Europe, Asie), les modes et distances de transport ainsi que les charges réellement transportées faisaient auparavant l'objet d'une publication régulièrement actualisée de la part du Comité d'Informations Matériaux (CIM) d'Eco-Emballages. Nous ne savons pas si ces documents sont encore produits mais ils ne sont plus accessibles publiquement.

Le dernier document CIM ayant fait l'objet d'une édition publique date de 2016 et porte sur les **données 2015**. Il permet d'observer que **[1, p.39]** :

- **Destinations** : **78,4 %** des balles plastiques triées étaient destinées à des régénérateurs localisés en **France**, **20,5 %** des balles plastiques triées étaient destinées à des régénérateurs localisés en **Europe** et **1,1 %** à des régénérateurs localisés en **Asie**.
- **Modes de transport** : **97 %** du transport se fait par **route**, 1 % par rail et 2 % par voie maritime ou fluvial.
- **Distances** : la distance moyenne pour les régénérateurs situés en **France** est de **348 km** ; la distance moyenne pour les régénérateurs situés en **Europe** est de **581 km**. La distance pour l'Asie n'est pas fournie.
- **Charges** : la charge moyenne transportée dans un camion est de **16,2 t** avec une variation entre 15,4 t et 17 t.

L'ADEME édite un tableau de bord des déchets d'emballages ménagers. La dernière version qui date de 2018 porte sur les **données de 2017**. Les informations fournies ne sont pas aussi détaillées que dans les documents qui étaient édités par le CIM. On peut toutefois noter que **[2, p. 19]** :

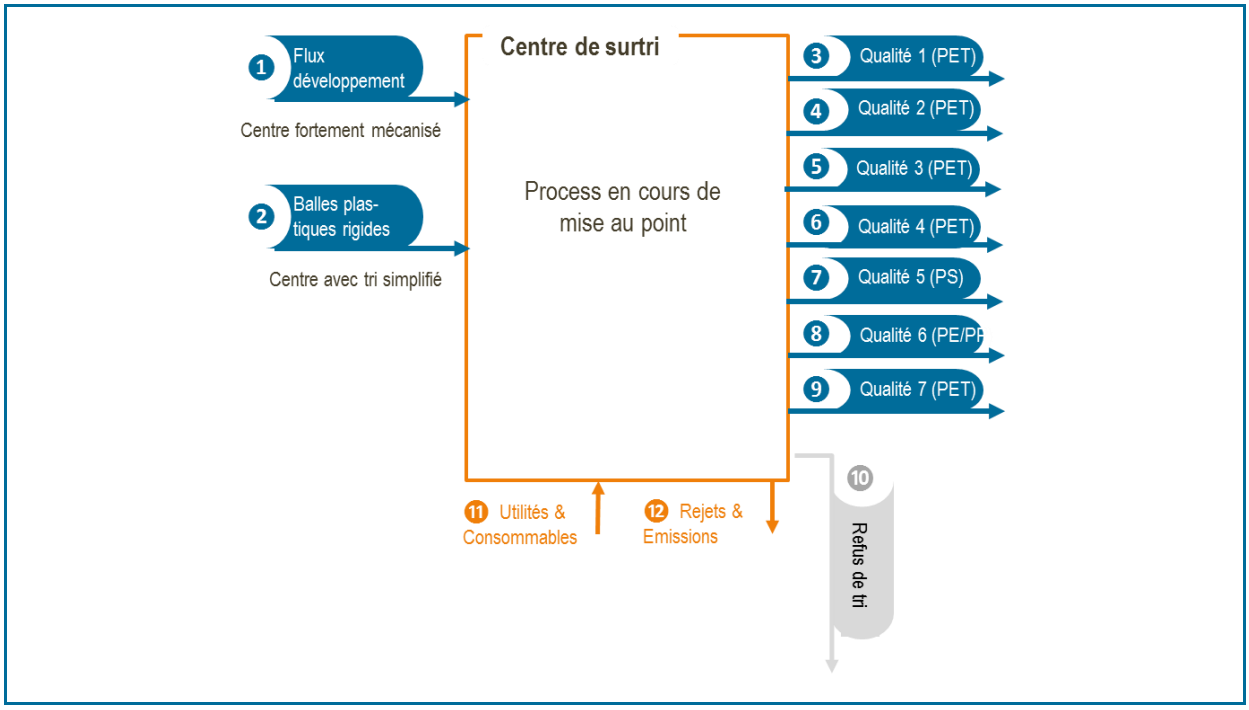
- **Destinations** : **71 %** des balles plastiques triées étaient destinées à des régénérateurs localisés en **France**, **27 %** des balles plastiques triées étaient destinées à des régénérateurs localisés en **Europe** et **2 %** à des régénérateurs localisés en **Asie**.
- **Modes de transport** : **97 %** du transport se fait par **route**, 1 % par rail et 2 % par voie maritime ou fluvial.
- **Distances** : la distance moyenne de transport par route est fournie sans distinguer entre la distance France et la distance Europe ; cette distance moyenne est de **433 km**.

4 Rejets et émissions

Les rejets et émissions sont ceux qui sont traditionnellement associés au transport.

	REFERENCES
[1]	Eco-Emballages. Comité d'Informations Matériaux 2015. Document faisant suite à la réunion du 7 juin 2016. 50 p.
[2]	Ademe. Tableau de bord déchets d'emballages ménagers. Données 2017. Novembre 2018. 20 p.

H.1.5.4 Tri en centre de surtri et transport entre les centres de surtri et les régénérateurs



Le descriptif ci-dessous a été établi à partir des descriptifs prévisionnels accessibles à la date de rédaction de ce rapport. Ce descriptif est donc indicatif et devra être modifié si l'organisation de cette étape devait être différente de celle anticipée.

Une étape de surtri est nécessaire pour les flux plastiques constitués de multiples types de polymères et d'emballages sortant des centres de tri, en particulier le nouveau standard Flux développement. Ce nouveau flux a vocation à être repris aux Collectivités en l'état, son surtri étant à la charge du Repreneur [1].

CITEO précise toutefois que compte tenu du temps qui sera nécessaire au marché pour générer une demande stable de consommation des matières issues du surtri du standard Flux développement, l'Etat a autorisé les éco-organismes de la filière des Emballages ménagers à proposer aux Collectivités une offre de Reprise directe pour ce standard.

CITEO a ainsi prévu de confier le surtri du standard Flux développement qui lui sera remis par les Collectivités à des opérateurs sélectionnés par appel d'offres et situés sur le territoire métropolitain.

Input

Deux types de flux entrants peuvent être orientés en centre de surtri en fonction de l'étape précédente de tri :

1 et 2

- Le standard « flux développement » en provenance des centres de tri fortement mécanisés, contenant les pots et barquettes PET clair, les pots et barquettes PS, les rigides PET foncé et opaque, et à partir de 2021 les barquettes multicouches et complexes
- Un flux « balles plastiques rigides » en provenance des centres de tri réalisant un tri simplifié, constitué d'emballages en PE, PET, PP, PS, PVC et complexes.

Output

3 à 9

A date, selon l'appel d'offre lancé par CITEO en juin 2019 [1], sept qualités différentes devraient être préparées par les centres de surtri :

- Différentes qualités de PET : (i) bouteilles, flacons et barquettes en PET foncé, (ii) bouteilles et flacons en PET clair, (iii) emballages en PET opaque, (iv) barquettes monocouches en PET
- Une qualité pour les emballages en PS

- Une qualité pour les emballages en PEHD PP
- A partir de 2021, une qualité barquettes multicouches en PET et emballages rigides complexes

10 Output déchets résultant des indésirables de l'input

Dans son cahier des charges d'appel d'offre, CITEO précise que le standard Flux développement est susceptible de contenir jusqu'à 10% de matières autres que celles attendues, celles-ci étant préférentiellement et logiquement orientées en refus. Par ailleurs, les opérateurs de surtri devront veiller à ce que moins de 3% des polymères ciblés présents dans l'input soient orientés vers les refus de surtri.

Ces refus devront être préférentiellement valorisés énergétiquement.

11 Consommables et utilités

Comme pour les centres de tri, un centre de surtri consomme de l'énergie (carburant et électricité) pour les étapes de manutention (engins) et pour le fonctionnement des tapis de convoyage et équipements de tri.

Il n'y a pas de consommation d'eau autre que celle dédiée aux usages sanitaires, aux opérations de lavage des équipements/engins (voire également à l'arrosage des espaces verts) et à la gestion des risques incendie.

12 Rejets et émissions

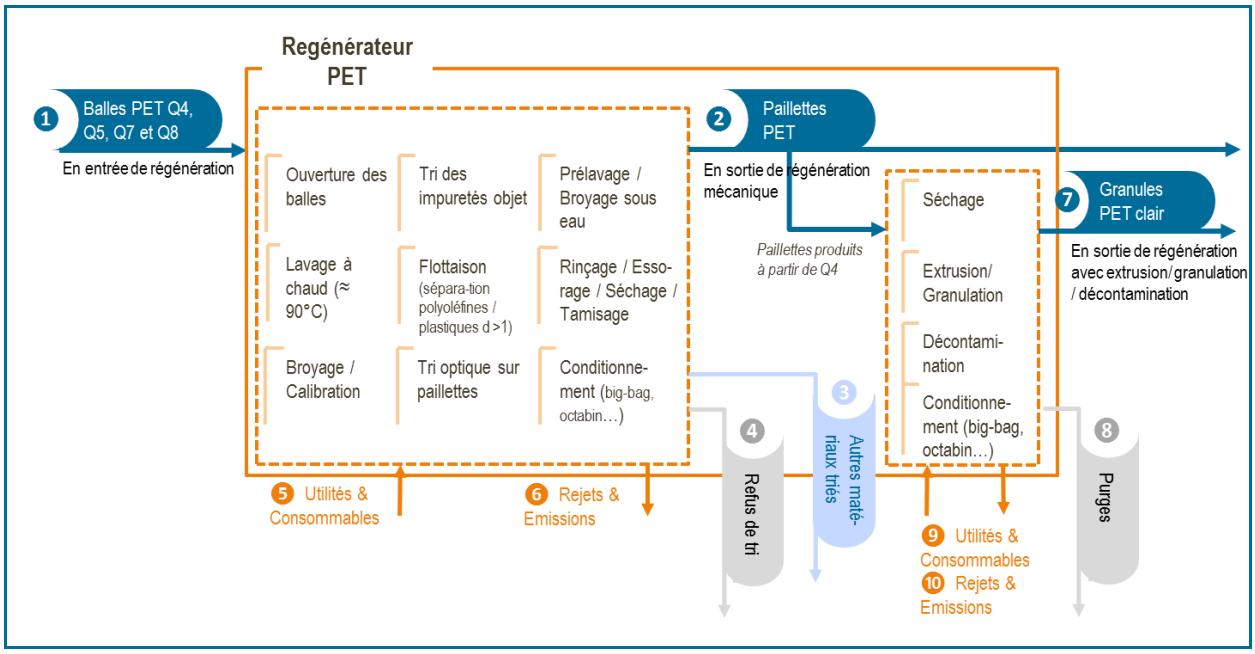
Les enjeux en termes de rejets et d'émissions sont limités et concernent essentiellement la gestion des eaux sanitaires et des eaux pluviales de voierie et de lavage.

REFERENCES	
[1]	CITEO. Cahier des charges Surtri des emballages plastiques composant le Standard flux développement. Juin 2019.

H.1.5.5 Régénération du PET

Notre perception des points clefs ou d'attention en vue d'une évaluation environnementale	
Méthodologie	Les enjeux méthodologiques portent prioritairement sur des **questions de comptabilisation des flux** sortant autres que le plastique recyclé : – Comptabilisation des flux destinés à un recyclage (ex : flux PE/PP des bouchons dans le cas des bouteilles PET ; flux de métaux intégrant notamment les liens utilisés pour les balles plastiques). – Comptabilisation des flux de déchets produits pour tout ou partie à partir du flux entrant (indésirables, étiquettes ou autres éléments associés à la catégorie d'emballages). Une question d'allocation peut éventuellement être posée entre les différents éléments d'emballages plastiques qui font l'objet d'un recyclage différencié ultérieur (par exemple : bouchons PE/PP et corps de l'emballage en PET). Une **question d'allocation** peut être posée entre le plastique recyclé et les autres flux sortant destinés au recyclage.
Point d'attention spécifique	En France, le PET est recyclé sous forme paillettes ou sous forme de granulés aptes au contact alimentaire. Certains opérateurs produisant des granulés utilisent des paillettes de PET recyclées, pour toute ou partie des tonnages entrant. Dans le cadre d'une évaluation environnementale portant sur les granulés de PET aptes au contact alimentaire, il convient de ne pas omettre l'étape de production des paillettes de PET dans les étapes prises en compte

	lorsque cette étape de recyclage mécanique n'est pas conduite sur le site de production des granulés.
Données à fiabiliser	La revue de la bibliographie disponible montre une variation potentiellement importante de la consommation d'énergie par tonne de PET recyclé. Les données disponibles suscitent également des interrogations sur la hiérarchie observée entre la production de PET paillettes et la production de PET granulés aptes au contact alimentaire, soit en termes de consommation d'énergie, soit en termes d'impact GES.
Enjeu à creuser / données à établir	Les émissions de COV qui peuvent survenir lors de certaines sous-étapes de production des granulés mériteraient d'être qualifiées et quantifiées. Les rejets de microparticules plastiques dans les eaux de lavage et les effluents possiblement produits à partir des bains de flottaison ainsi que dans les eaux de ruissellement mériteraient également d'être approfondis.



Des balles de bouteilles PET aux paillettes PET

Après ouverture des balles et décompactage des emballages, un tri des impuretés objet (indésirables métalliques, emballages autre résine ou autres matériaux) est effectué en mettant en œuvre différents procédés (tri optique, détecteurs de métaux, IR…).

Les emballages sont alors broyés sous forme de paillettes qui sont alors lavées à chaud (85 °C – 95 °C) afin de les débarrasser des étiquettes et résidus/salissures éventuelles.

Les paillettes sont ensuite triées par flottaison : pour un régénérateur PET, cette étape permet notamment la séparation entre les paillettes PET constitutives de l'élément principal de l'emballage et les paillettes PE/PP constitutives de la plupart des bouchons.

Les paillettes PET sont ensuite rincées, séchées puis broyées et tamisées afin de procéder à un calibrage ; les paillettes trop fines sont écartées.

Ces paillettes propres passent par une ultime étape de tri optique afin d'extraire les paillettes résiduelles qui ne seraient pas constituées de PET.

Les paillettes de PET peuvent être commercialisées en l'état ou intégrer l'étape d'extrusion/granulation.

1 Input

Quatre qualités de balles encadrent la pureté objet du flux entrant [1] :

- Q4 correspondant à des balles de bouteilles PET transparent ou azuré et contenant moins de 2 % d'impuretés
- Q5 correspondant à des balles de bouteilles PET foncé contenant moins de 5 % de PET opaque et moins de 2 % d'impuretés
- Q7 correspondant à des balles de bouteilles PET transparent ou azuré, contenant au plus 8 % de barquettes mono PET et moins de 2 % d'impuretés
- Q8 correspondant à des balles de bouteilles PET foncé contenant moins de 5 % de PET opaque, au plus 8 % de barquettes mono PET et moins de 2 % d'impuretés

Dans le cadre du calcul des taux agréés de recyclage [2], l'ADEME considère un taux, d'humidité et d'impuretés de 12 % (2 % d'impuretés objet et 10 % d'humidité).

2 Output paillettes PET

Des paillettes de PET sont produites en sortie du procédé de recyclage mécanique. Des spécifications peuvent s'appliquer à ces paillettes (couleur, granulométrie, pureté, densité apparente, humidité…).

Les paillettes peuvent être commercialisées en l'état pour les applications fibres. Dans le cas des paillettes produites à partir des balles Q4, celles-ci peuvent également intégrer les étapes suivantes d'extrusion/granulation puis de décontamination.

3 Outputs coproduits

Le recyclage mécanique des emballages rigides en PET s'accompagne de la production d'autres flux matières qui font l'objet d'une valorisation dans d'autres installations :

- Un flux PE/PP correspondant à l'origine aux bouchons
- Un flux métallique correspondant aux liens des balles de PET

4 Output déchets résultant de l'input

Les différentes étapes de tri ayant lieu au cours du recyclage mécanique conduisent à la production de déchets, ceux-ci étant constitués des impuretés objet et des impuretés matériaux initialement contenus dans le flux entrant :

- Objets extraits lors du tri initial ;
- Matériaux (étiquettes notamment) extraits par flottaison et dans les boues de lavage ;
- Paillettes d'impuretés matériaux.

L'efficacité d'un tri n'étant jamais parfaite, des impuretés peuvent néanmoins rester dans le flux PET et, inversement, du PET peut se trouver orienter vers les déchets.

5 Consommables et utilités

Le procédé de recyclage mécanique du PET consomme :

- de l'énergie (carburant, électricité et gaz naturel) pour les étapes de manutention (engins), le fonctionnement des tapis de convoyage, procédés de tri, broyage, chauffage de l'eau de lavage, séchage…
- de l'eau pour le lavage et la flottaison
- des produits de lavage et de flottaison (agents de flottation, antimousse et tensioactifs)
- de l'énergie et des réactifs (floculants, coagulants, correcteurs de pH) dédiés au pré-traitement ou au traitement des eaux de lavage/des bains de flottaison
- des emballages de conditionnement pour la commercialisation (big-bags, octabins)

6 Rejets et émissions

Les enjeux en termes d'émission et rejets de cette étape concernent essentiellement la qualité des effluents rejetés vers le réseau (pré-traitement) ou vers le milieu naturel (traitement interne) ainsi que les boues de pré-traitement ou de traitement de ces effluents.

En consultant des rapports d'inspection des installations classées, il apparaît également que la gestion des eaux de ruissellement du site peut constituer un enjeu (DCO dure possiblement élevée), notamment en cas de stockage extérieur de déchets.

Des paillettes PET aux granulés PET contact alimentaire

La présence d'eau pouvant provoquer des dégradations lors de l'étape d'extrusion, les paillettes PET sont tout d'abord séchées (100°C à 140°C) pendant une à deux heures afin d'éliminer toute trace d'humidité. Les paillettes sèches sont chauffées dans une vis sans fin (285 °C) de manière à amener le PET à un état de viscosité adéquat ; le PET fondu est dégazé sous vide de manière à extraire les vapeurs de dégazage. En sortie de vis, le PET est filtré sur des tamis qui permettent d'éliminer les impuretés matière résiduelles dont les traces d'autres polymères ayant carbonisé. Le PET fondu passe alors à travers une filière qui permet la formation de joncs ; ceux-ci sont refroidis à l'eau avant d'être sectionnés pour former les granulés.

Si les granulés de PET doivent répondre aux exigences s'appliquant au contact alimentaire, ils sont alors orientés vers les étapes de décontamination. La décontamination se fait à travers deux étapes principales :

- La cristallisation à 130°-160°C pendant une durée de quelques heures
- La polycondensation : cette étape dure plusieurs heures (≈ 6 heures) et se déroule à une température de 195 °C environ ; elle vise d'une part à décontaminer le PET et d'autre part à allonger les chaînes polymère.

7 Output granulés PET aptes au contact alimentaire

Des granulés de PET clair aptes au contact alimentaire sont produits à l'issue du procédé intégrant les étapes d'extrusion, granulation, décontamination.

Ces étapes peuvent avoir lieu sur le même site que le recyclage mécanique (site intégré) ; elles peuvent également être conduites sur des sites qui ne conduisent que ces étapes (Coveris à Soustons ou Roxpet à Lesquin) et qui sont directement alimentés en entrée en paillettes de PET clair.

En théorie, il est possible de produire des granulés de PET sans passer par l'étape de décontamination ; dans les faits, en France, tous les sites qui effectuent une extrusion/granulation procèdent également à la décontamination.

8 Output déchets résultant de l'input

Le procédé d'extrusion amène la production de déchets correspondant aux galettes de filtration du PET fondu.

9 Consommables et utilités

Les étapes de séchage, d'extrusion, de granulation, de cristallisation et de polycondensation consomment de l'énergie. De l'eau est également consommée pour le refroidissement rapide des joncs. De l'azote peut également être utilisé au cours du process, notamment lors de l'étape de polycondensation.

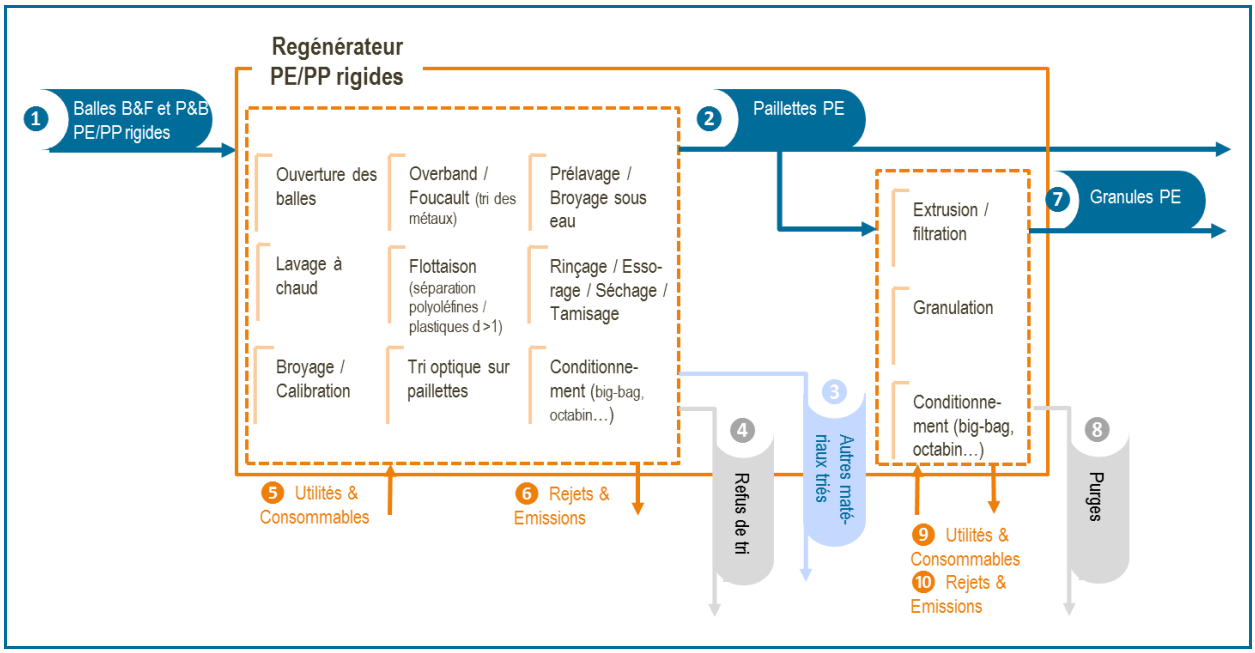
10 Rejets et émissions

Les étapes d'extrusion, de cristallisation et de polycondensation conduisent à la formation de composés organiques volatils ; ceux-ci pouvant correspondre à des contaminants exogènes au PET (ex : bouteilles ayant été réemployées pour contenir des produits de nettoyage, de l'essence…) ou à des sous-produits de dégradation du PET (formaldéhyde, acétaldéhyde, acétone, éthylène glycol, acide téréphtalique…).

Ces composés organiques volatils sont canalisés et condensés et gérés dans la filière adaptée (incinération de déchets dangereux).

REFERENCES	
[1]	[SRP, 2019] Spécifications des balles mono matière Q4 [SRP, 2019] Spécifications des balles mono matière Q5 [SRP, 2019] Spécifications des balles mixtes Q7 [SRP, 2019] Spécifications des balles mixtes Q8
[2]	[ADEME, 2018] La valorisation des emballages en France – directive 94/62/CE modifiée sur les emballages et les déchets d'emballages – base de données 2016 – Juin 2018. p. 73

H.1.5.6 Régénération du PEHD/PP



Des balles de bouteilles PEHD/PP aux paillettes

La production de paillettes de R-PEHD issues des bouteilles et flacons ménagers repose sur des étapes assez similaires à celles décrites précédemment dans le cas du recyclage des bouteilles et flacons en PET, des spécificités pouvant exister pour s'adapter aux contaminants à extraire par exemple (voir section H.1.5.5).

Chez des régénérateurs traitant principalement ce type de déchets d'emballages (balles contenant une majorité d'emballages en PEHD), nous comprenons que les paillettes de PEHD et de PP peuvent être recyclées en mélange et destinées à des applications pour lesquelles la présence d'une proportion maitrisée de PP (de l'ordre de 5-5%) ne pose pas de difficultés, comme par exemple la fabrication de tubes et de mandrins (cf. avis AG 48 du COTREP).

Il est toutefois possible que certains régénérateurs procèdent à un surtri, par exemple par tri optique, permettant de séparer les paillettes de PEHD et les paillettes de PP. Ce point méritera d'être investigué lors d'études portant sur ce type de déchets.

Des paillettes aux granulés de PEHD

Les paillettes peuvent être commercialisées en l'état pour certaines applications (par exemple, fabrication de tuyaux par extrusion). Comme dans le cas du PET, elles peuvent également intégrer des étapes d'extrusion/granulation afin de produire des granulés de R-PEHD (voir section H.1.5.5).

Contrairement au cas du PET, la régénération ne vise pas à produire des granulés aptes au contact alimentaire, ainsi il n'est pas réalisée d'étape de décontamination (cf. cristallisation/polycondensation).

H.2 ANALYSE SECTORIELLE : RECYCLAGE DES PLASTIQUES DE LA FILIERE VHU

H.2.1 INTRODUCTION SUR LA FILIERE

H.2.1.1 Cadre réglementaire

En France, cette filière concerne à ce jour principalement les véhicules particuliers et les véhicules utilitaires dont le PTAC est inférieur ou égal à 3,5 tonnes (et dans une moindre mesure les cyclomoteurs à trois roues). Selon le dernier observatoire ADEME, de l'ordre de 1,1 millions de VHU sont pris en charge chaque année dans la filière légale sur un total annuel de VHU qui pourrait être de l'ordre de 1,6 à 1,8 millions de VHU (ordre de grandeur, les chiffres relatifs à la filière non légale étant délicats à établir).

La réglementation en vigueur fixe des objectifs de recyclage et de valorisation globaux pour les VHU mais encourage également le recyclage et la valorisation des matières non métalliques des VHU en fixant des objectifs spécifiques pour ces matériaux (arrêté de mai 2012).

Ces matières excluent les métaux, les fluides et les batteries et concernent des matériaux tels que les mousses, le verre, les plastiques, les textiles, les élastomères. Les taux réglementaires sont applicables à l'échelle de chaque centre VHU, chaque broyeur.

Objectifs réglementaires	Centre VHU	Broyeur VHU
Taux de réutilisation et de recyclage (TRR) minimum	3,5% de la masse moyenne d'un VHU	3,5% de la masse moyenne d'un VHU
Taux de réutilisation et de valorisation (TRV) minimum	5% de la masse moyenne d'un VHU	6% de la masse moyenne d'un VHU

TABLEAU 11 – TAUX REGLEMENTAIRES DE REUTILISATION/RECYCLAGE ET DE VALORISATION DES MATERIAUX NON METALLIQUES PRESENTS DANS LES VHU

La loi relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire (loi AGEC), promulguée en février 2020 prévoit cependant la mise en place d'une filière de responsabilité élargie du producteur pour les véhicules hors d'usage à compter du 1er janvier 2022. Au-delà des véhicules particuliers et les véhicules utilitaires <3,5 tonnes, cette loi élargit également le périmètre de cette REP aux véhicules à moteurs à deux ou trois roues et aux quadricycles à moteur.

H.2.1.2 Organisation opérationnelle

A ce jour, la gestion opérationnelle de la filière légale de traitement des VHU s'appuie sur environ 1700 centres VHU agréés maillant le territoire national et une soixantaine de broyeurs VHU agréés. En aval des broyeurs VHU, une vingtaine d'opérateurs situés en France et en Europe réalisent un tri des résidus de broyage.

La récente loi AGEC prévoit que les exploitants des centres VHU et des broyeurs VHU devront être en contrat avec un éco-organisme agréé ou avec un système individuel agréé à l'horizon 2024.

H.2.1.3 Plastiques présents dans les VHU

Divers types de plastiques sont présents dans les véhicules, dont une proportion importante de pièces contenant des polyoléfines (PP, PE). Certaines pièces à base de polyoléfines peuvent être plus ou moins chargées en talc ou en matières minérales ; des copolymères PP/EPDM sont également utilisés.

Parmi les autres polymères figurent des polyamides mais également des plastiques à base d'ABS, de PS, de PC, de PMMA.

Certaines pièces plastiques présentes dans les véhicules peuvent être aisément démontables, de taille importante et contenir une proportion notable de polymères intéressant les régénérateurs de plastiques. C'est par exemple le cas des boucliers avant et arrière (pare-chocs) ainsi que des réservoirs à essence. Ces caractéristiques spécifiques peuvent permettre d'envisager une gestion en vue d'un recyclage différente des autres pièces plastiques.

H.2.1.4 Quelques chiffres clés

A l'heure actuelle, l'âge moyen des VHU pris en charge par la filière légale est de l'ordre de 18 ans pour un poids moyen de 1 à 1,1 tonne environ.

Pour ces véhicules qui ont été mis en circulation il y a une vingtaine d'années, la teneur moyenne en plastiques (hors mousses PUR et élastomères) est de l'ordre de 10%. Pour des véhicules de conception

plus récente, et compte tenu des efforts d'allègement des véhicules, la part massique des plastiques tend à devenir plus importante.

H.2.2 FOCUS MATERIAL FLUX ANALYSIS (MFA) SUR LA GESTION EN FIN DE VIE A L'ECHELLE DE LA FRANCE DE QUELQUES PIECES PLASTIQUES PRESENTES DANS LES VHU

Les figures présentées dans cette section décrivent la gestion de quelques cas particuliers de pièces plastiques constitutives des VHU à l'échelle de la France. Ils visent à distinguer le **flux principalement suivi** et les **flux secondaires**, ceux-ci pouvant être d'importance plus ou moins marquée.

Les représentations proposées restent ici qualitatives. Dans l'objectif d'une évaluation environnementale, ces représentations devront être quantifiées. Elles sont en effet incontournables pour les raisons suivantes :

- Elles permettent d'identifier les étapes qui seront à prendre en compte dans le périmètre d'évaluation et les tonnages auxquels s'appliquent ces étapes ;
- Elles permettent éventuellement d'identifier les étapes qui pourraient faire l'objet d'approximation ou qui pourraient être négligées (tonnages minimes par exemple) ;
- Elles permettent enfin de déterminer l'ensemble des flux susceptibles de correspondre à des pertes de matière.

Les représentations proposées s'appliquent à la gestion en fin de vie des VHU à l'échelle de la France pour la période actuelle (en 2020). Pour un même type de pièce plastique (ex : même polymère, mêmes natures et niveaux de charges), elles pourraient être différentes :

- Dans un autre pays ;
- En France à une autre période, par exemple dans 10 ans.

Quatre cas particuliers de pièces plastiques ont été sélectionnés pour illustrer cet aspect des travaux :

- Le cas d'un pare-chocs constitué majoritairement de PP (dans les faits, un pare-chocs est un assemble de pièces pouvant être fabriquées avec des polymères autres que le PP) et répondant au cahier des charges des pièces pouvant être démontées en vue du recyclage en centre VHU ;
- Le cas d'un pare-chocs constitué majoritairement de PP chargé et ne répondant pas au cahier des charges des pièces pouvant être démontées en vue du recyclage en centre VHU ;
- Le cas d'une pièce automobile en PP mais non démontée/triée en vue du recyclage dans les centres VHU ;
- Le cas d'une pièce automobile en PP fortement chargée en talc et non démontée/triée en vue du recyclage dans les centres VHU.

H.2.2.1 Cas d'un pare-chocs constitue majoritairement de PP peu chargé

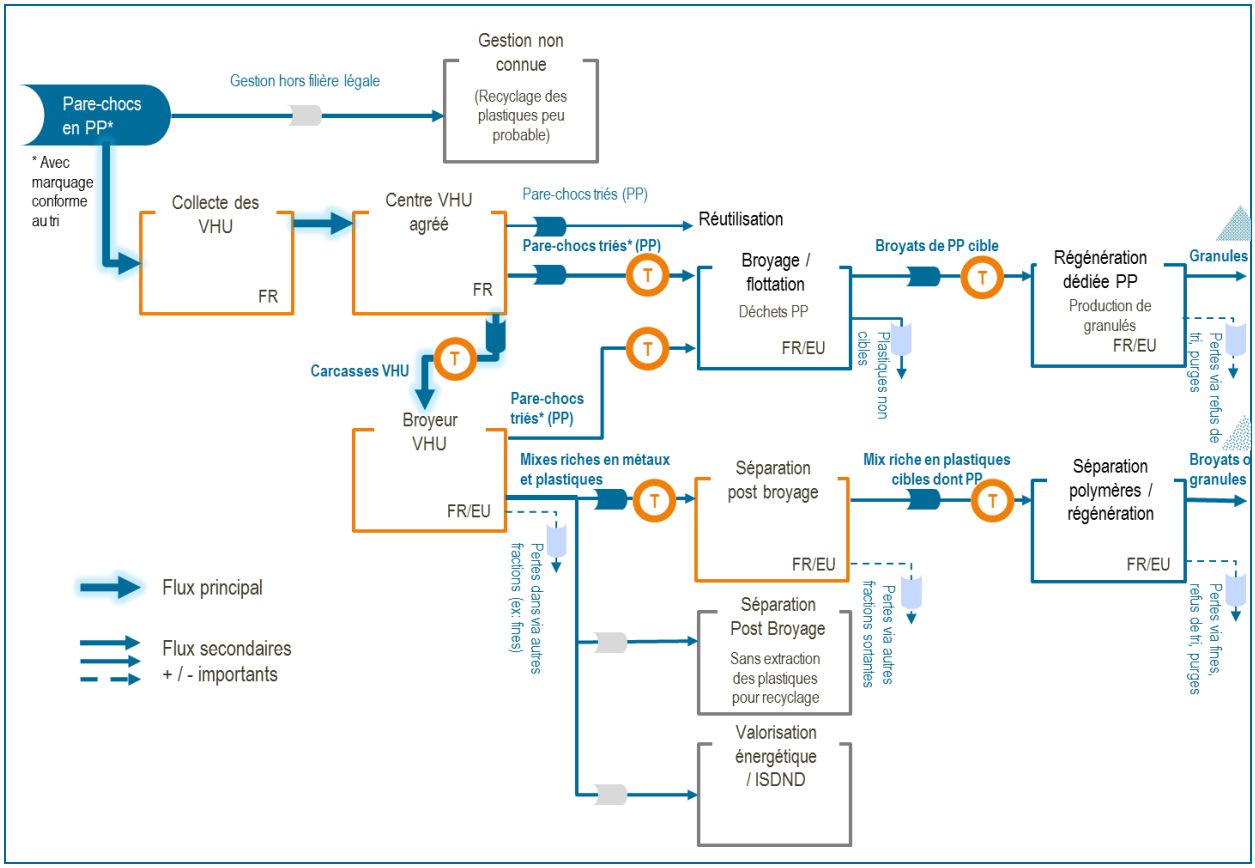


FIGURE 15 : FOCUS MFA SUR UN PARE-CHOCS MAJORITAIREMENT CONSTITUE DE PP ET REPONDANT AU CAHIER DES CHARGES POUR LE DEMONTAGE EN VUE DU RECYCLAGE EN CENTRE VHU

Certains centres VHU cherchent à démonter ce type de pièces afin de les orienter rapidement vers une filière de recyclage plutôt que de les laisser sur les carcasses de VHU. Tous les centres VHU ne réalisent pas cette extraction, ce qui explique qu'une forte proportion des pare-chocs reste sur les carcasses et sont envoyés chez un broyeur VHU. Le démontage en centre VHU est réalisé selon un cahier des charges établi par les repreneurs : les pare-chocs dont la teneur en charge minérale (ex : talc) est trop élevée ne sont pas acceptés.

Un autre aspect à prendre en compte tient au fait qu'une pièce telle qu'un pare-chocs avant ou arrière est en fait un assemblage de pièces, dont certaines peuvent être fabriquées avec des copolymères (ex : PP et un autre copolymère), voire avec d'autres types de polymères (ex : ABS).

Ainsi, différentes pertes de plastiques initialement présents dans un pare-chocs sont à considérer tout au long de la chaîne de fin de vie des VHU :

- Une partie – probablement importante (plusieurs dizaines de % à priori) – des VHU n'est pas gérée par la filière légale, mais via des canaux « illégaux » pour lesquels la visibilité quant au devenir des VHU est limitée ; il est toutefois plausible de supposer que, si les métaux font bien l'objet – au moins pour partie – d'une extraction pour recyclage en cas de traitement « hors filière » du fait de leur valeur économique, il est peu probable que cela soit le cas pour les autres matériaux dont les plastiques.
- Les pare-chocs démontés en centre VHU, et éventuellement en entrée des broyeurs VHU, sont broyés puis envoyés en flottation. Lors de cette étape, les fragments de plastiques présentant une densité supérieure à celle qui est ciblée par les régénérateurs seront « perdus » pour le recyclage. Cette proportion peut représenter plusieurs dizaines de pourcents de la masse initiale d'un pare-chocs répondant au cahier des charges à respecter lors du démontage en centres VHU.
- S'agissant des pare-chocs broyés dans les installations des broyeurs VHU, les principales « pertes » pour le recyclage tiennent au fait que les plastiques vont se retrouver dans différentes fractions sortantes dites « post-broyage » dont une partie seulement sera *in fine* envoyée chez des repreneurs en capacité de trier les plastiques en vue d'un recyclage. En effet, ces fractions peuvent pour partie être directement envoyées en enfouissement ou en valorisation énergétique ou alors

chez des opérateurs de séparation privilégiant une valorisation énergétique des matériaux combustibles.

- Enfin, lors des procédés de séparation des polymères (cas pour les fractions post-broyage), de préparation des plastiques broyés puis de production des granulés de plastiques recyclés, des pertes de matière sont à considérer car ces étapes vont conduire à écarter des plastiques dont la densité est sensiblement modifiée du fait de la présence de charges (tri densimétrique), ainsi que d'autres types de pertes (génération de fines, déchets de filtration par exemple).

H.2.2.2 Cas d'un pare-chocs constitue majoritairement de PP fortement chargé

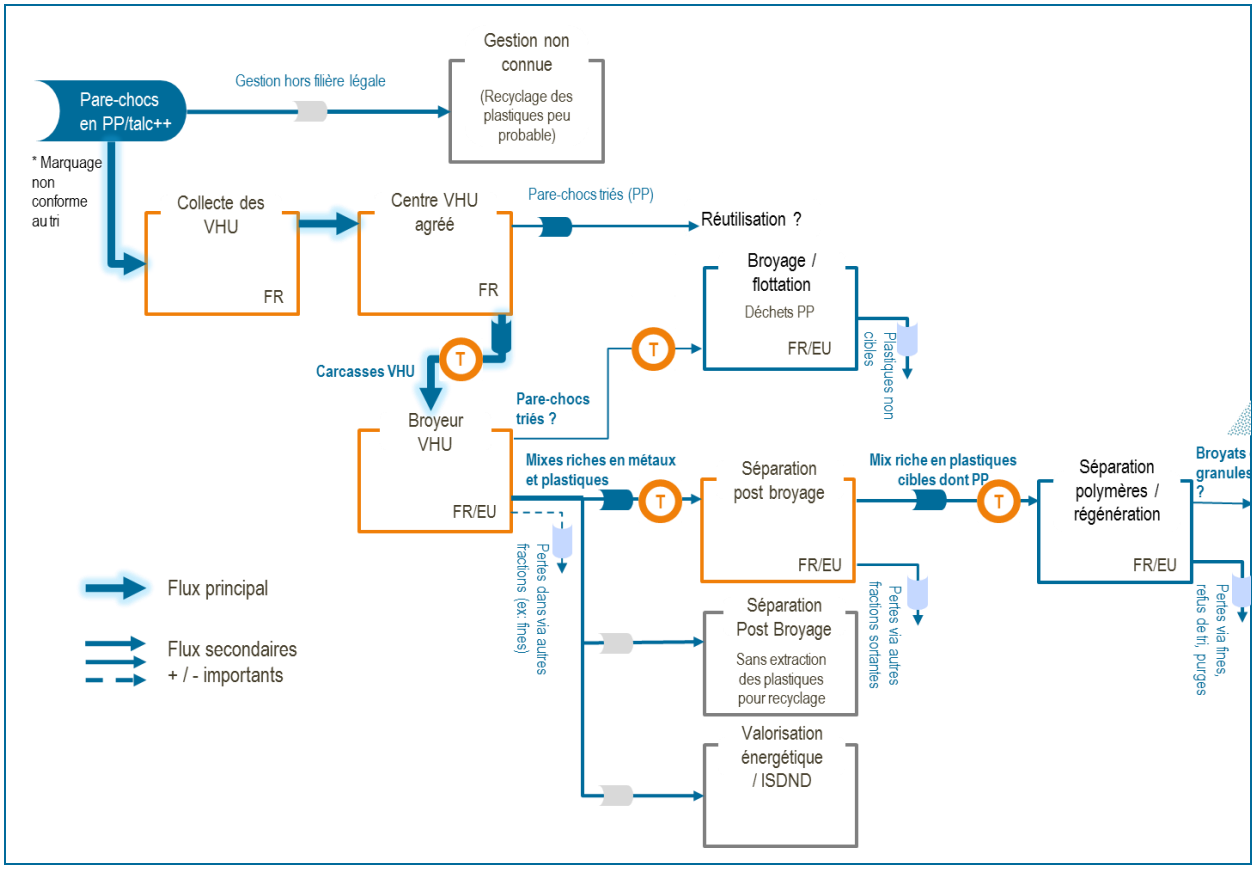


FIGURE 16 : FOCUS MFA SUR UN PARE-CHOCS EN PP FORTEMENT CHARGE

Comme dans le cas précédent, pour ce qui est des VHU collectés en dehors de la filière légale, les informations accessibles quant au devenir des plastiques sont limitées mais il est peu probable que les plastiques soient recyclés.

Dans le cas d'un pare-chocs principalement constitué de PP fortement chargé, les consignes en vigueur dans la filière légale (cahier des charges à suivre par les centres VHU à la demande des repreneurs) vont probablement conduire à ne pas démonter ce type de pièces en vue d'un recyclage en raison de leur densité trop élevée comparativement à du PP non chargé.

Ainsi, ces pare-chocs sont préférentiellement envoyés chez les broyeurs VHU chez qui ils seront majoritairement broyés avec les carcasses. Ces plastiques vont donc se retrouver en mélange entre eux et avec d'autres matériaux dans différentes fractions produites par le broyeur.

Comme dans le cas précédent, une partie seulement de ces fractions est *in fine* envoyée chez des repreneurs en capacité de trier les plastiques en vue d'un recyclage. Toutefois, les opérateurs en charge de la séparation des divers matériaux (plastiques, métaux, etc.), puis des plastiques entre polymères, utilisent à ce jour majoritairement des techniques de tri densimétrique qui conduisent à exclure du recyclage les plastiques trop denses par rapport aux polymères cibles non chargés.

Il est donc fort probable que, en l'état actuel des techniques, la majeure partie, voir la totalité, des plastiques présents dans ces types de pare-chocs soient in fine « perdus » pour le recyclage.

H.2.2.3 Cas de pièces automobiles non triées en centre VHU

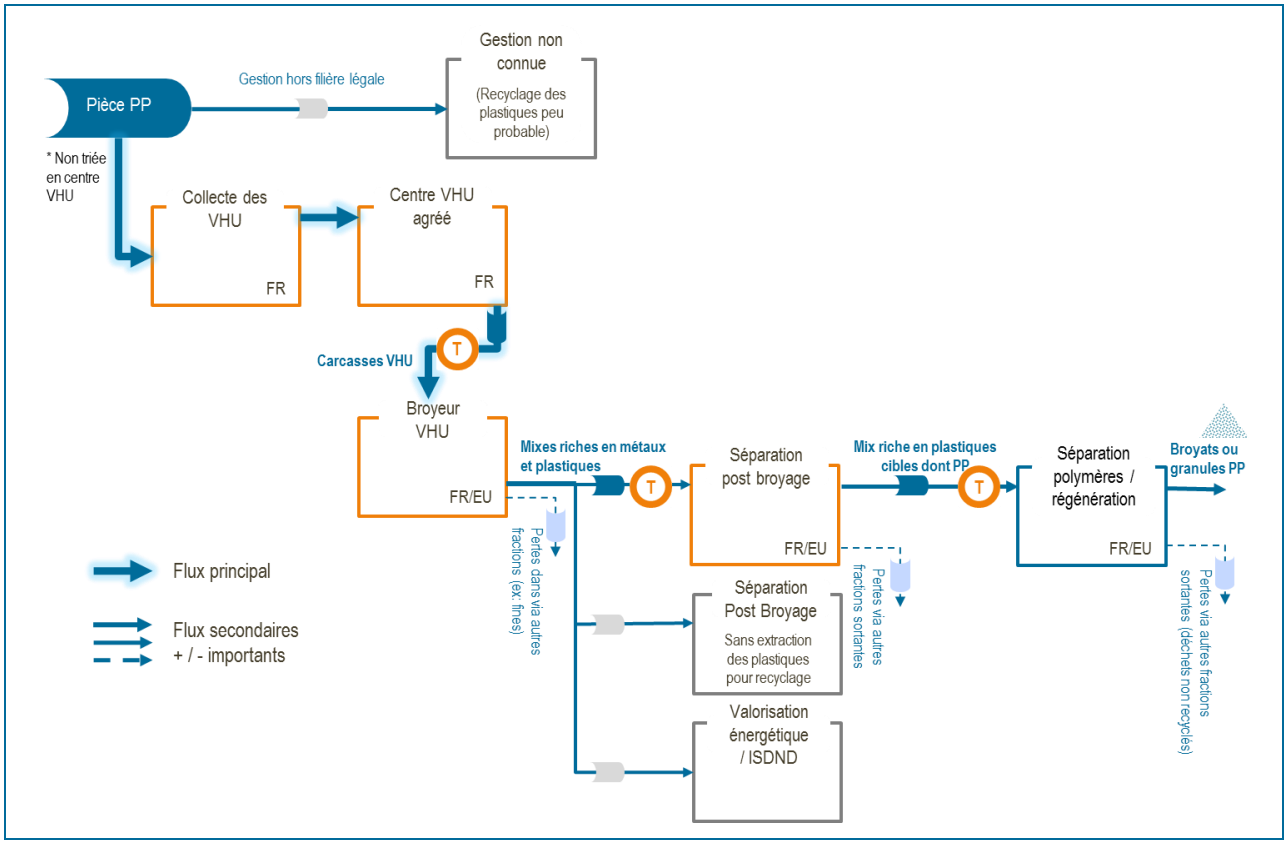


FIGURE 17 : FOCUS MFA SUR UNE PIECE AUTOMOBILE EN PP, NON TRIEE EN CENTRE VHU

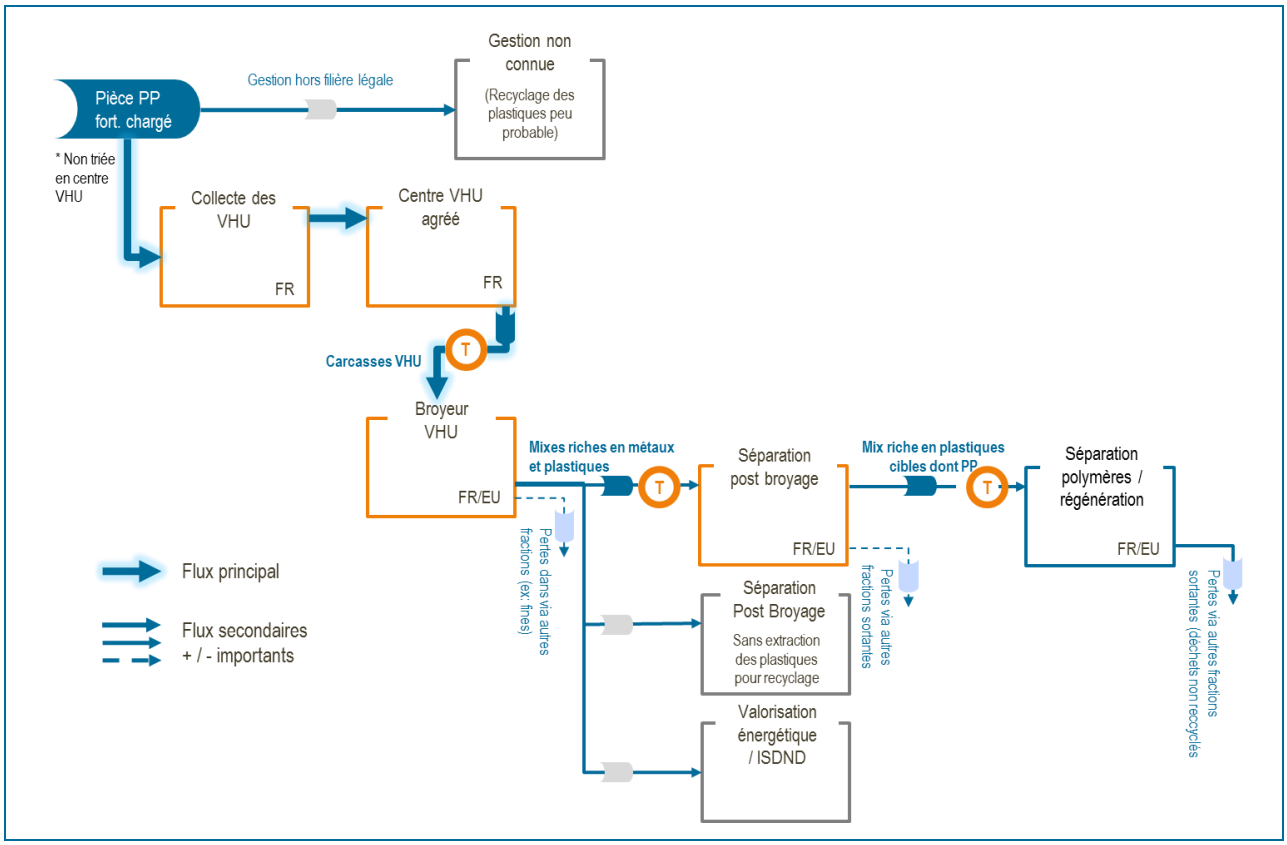


FIGURE 18 : FOCUS MFA SUR UNE PIECE AUTOMOBILE EN PP CHARGE, NON TRIEE EN CENTRES VHU

Dans la filière légale, les types de pièce susceptibles d'être démontées en centre VHU en vue d'un recyclage sont restreints. Ainsi, certaines pièces en PP présentes dans un VHU restent sur les carcasses et sont uniquement envoyées chez les broyeurs VHU.

Le devenir du PP non chargé sera équivalent à ce qui a été précédemment décrit pour les pare-chocs en PP peu chargé orientés chez les broyeurs VHU : une part de ce PP sera effectivement orienté en recyclage et exploité pour produire du PP recyclé. Les principales « pertes » de matière pour le recyclage sont dues au fait que les fractions post-broyage contenant des plastiques en sortie de broyeur VHU sont pour partie orientées en enfouissement ou en valorisation énergétique et pour partie chez des opérateurs de séparation privilégiant une valorisation énergétique des matériaux combustibles.

En revanche, un PP fortement chargé sera très majoritairement écarté du recyclage, soit chez les opérateurs assurant la séparation des différents matériaux présents dans les fractions post-broyage sortant des broyeurs VHU, soit à l'étape suivante chez les opérateurs assurant la séparation des polymères entre eux en raison des techniques de séparation majoritairement mise en œuvre à ce jour (tri densimétrique).

H.2.3 DETAILS DE LA GESTION PAR ETAPE

Cette section détaille les différentes étapes de la gestion des VHU dans la filière légale depuis l'étape de collecte des véhicules hors d'usage jusqu'à la régénération de certains des plastiques présents dans ces équipements.

Chacune des étapes est abordée selon une même structure :

- Un récapitulatif des points clefs ou points d'attention en vue d'une évaluation environnementale
- Une figure mettant en lumière la qualité du(des) flux entrant(s), la qualité du(des) flux sortant(s) ainsi que les utilités, consommables, rejets et émissions ; de même, cette figure fait apparaître, de manière schématique, des sous-étapes possibles au sein de l'étape.
- Une explication générale de ce en quoi consiste l'étape ;
- Des informations plus détaillées sur :
  - Le(s) flux entrant(s) ;
  - Le(s) flux sortant(s) ;
  - Les utilités et consommables ;
  - Les rejets et les émissions.

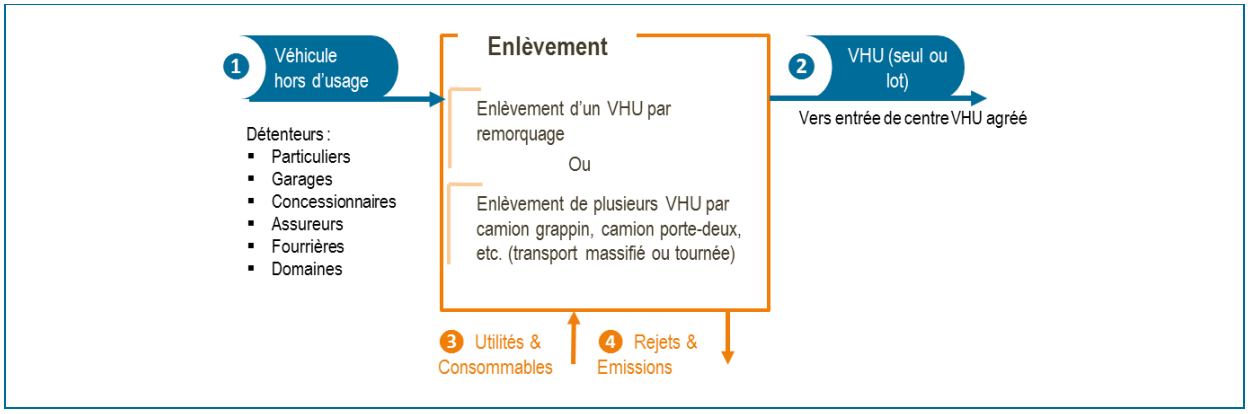
Des informations ou données potentiellement utiles dans le cadre d'une évaluation environnementale sont présentées au fil de l'eau. Elles sont identifiées par la **police suivante**.

La section dédiée à une étape donnée se conclut par une présentation de la bibliographie potentiellement utile.

H.2.3.1 Collecte

Notre perception des points clefs ou d'attention en vue d'une évaluation environnementale	
Méthodologie	Les VHU sont des équipements de composition complexe, avec de multiples matériaux susceptibles de rentrer dans leur composition, qu'il s'agisse de métaux (ferreux et non ferreux), de plastiques (ex : PP et ses copolymères, PE, ABS, PA, mousses PUR…), de fluides (ex : carburant, huiles, fluides réfrigérants), d'inertes (ex : verre), de textiles, de bois ainsi que des composants complexes riches en métaux précieux ou semi-précieux (cartes électroniques par exemple). Les polymères ciblés en vue d'un recyclage ultérieur (certains PP, PE, ABS notamment) ne constituent qu'une partie de la composition des VHU. Dans la filière légale, la collecte doit être organisée en suivant les prescriptions réglementaires. La réglementation fixe également des objectifs de taux de recyclage et de taux de valorisation pour les VHU ainsi collectés. Dans le cadre d'une évaluation environnementale portant sur une résine donnée (par exemple le PP) un enjeu d'allocation est à considérer pour cette étape entre le polymère ciblé et tous les autres matériaux. Concernant la résolution de cet enjeu d'allocation, nous recommandons de procéder à une allocation massique.

Données à collecter / données à fiabiliser	Il n'a pas été identifié de données statistiques nationales restituant les descripteurs de cette étape de collecte des VHU.
Enjeu à creuser / données à établir	Pour les descripteurs de cette étape de collecte des VHU, des données moyennes nationales publiquement accessibles pourraient être les suivantes : typologie des véhicules de collecte et leur quote-part respective, nombre ou masses de VHU transportés par chargement, distance moyenne depuis le point de collecte jusqu'au centre VHU, taux de retour à vide à considérer le cas échéant…



1 Input VHU / Output VHU

2 Les enlèvements de VHU sont gérés sur l'ensemble du territoire national par l'intermédiaire de centres VHU qui sont titulaires d'un agrément délivré par arrêté préfectoral. Les centres VHU agréés sont l'unique point d'entrée dans la filière VHU légale afin d'établir une traçabilité appropriée.

Les détenteurs de VHU peuvent être les particuliers, mais également les garages, les concessionnaires, les assureurs, les fourrières ou encore les domaines.

Selon le type de détenteur ainsi que l'état du véhicule, cet enlèvement puis le transport jusqu'au centre VHU agrée peut être géré à l'unité ou de manière groupée avec des véhicules pouvant prendre en charge plusieurs véhicules (ex : camion porte-deux, camion porte-huit pour les gros centres).

La France compte environ 1700 centres VHU agréés selon le rapport ADEME relatif à l'observatoire des Véhicules Hors d'Usage (données 2017 **[1, p. 6]**). Ce rapport n'apporte pas d'information sur les distances moyennes parcourues pour cette phase d'enlèvement mais compte tenu du maillage du territoire, un ordre de grandeur de quelques dizaines de kilomètres parait crédible.

3 Consommables et utilités

L'enlèvement des VHU fait ensuite intervenir des véhicules et notamment des camions de différents types et gabarits, qui selon les cas peuvent transporter un ou plusieurs véhicules. Pour cette étape, les consommables concernent donc en premier lieu le carburant des véhicules assurant l'acheminement des VHU vers les centres VHU.

Le type de véhicules, les taux de charge des camions et les distances parcourues, les taux de trajet à vide constituent des données accessibles aux centres VHU, la question d'une éventuelle consolidation de ces données à l'échelle de réseaux de centres VHU, voire à une échelle nationale serait à investiguer. A date, de telles données ne sont pas restituées dans l'observatoire annuel de l'ADEME.

Concernant la prise en compte des taux de trajet à vide, et en l'absence de données spécifiques aisément accessibles sur ce sujet, nous recommandons a minima de prendre en compte les valeurs moyennes nationales afin de ne pas négliger cet aspect. D'après la dernière enquête

TRM, le taux de trajet à vide pour le transport national de marchandises (dont déchets) est de 18,4 % du trafic en t.km **[2, p. 1]**

4 Rejets et émissions

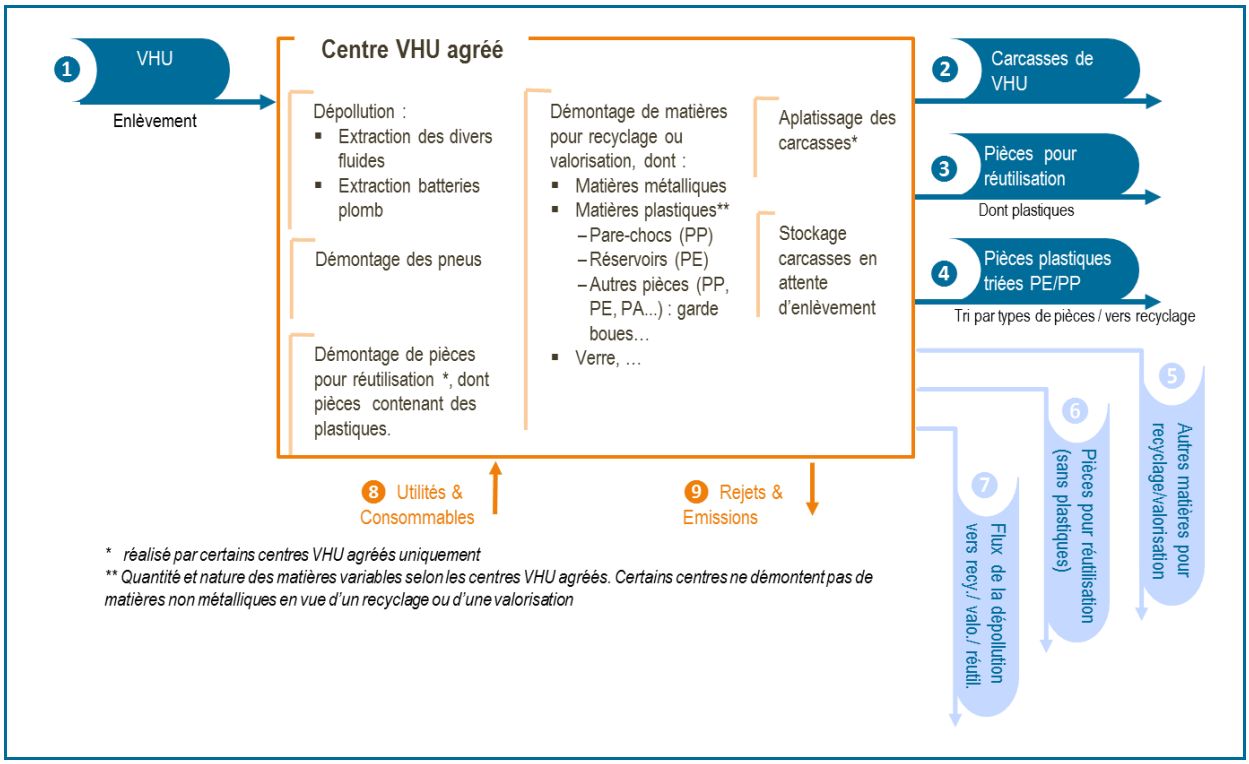
Les rejets et les émissions associés à la collecte des VHU sont liés à la consommation de carburant par les camions (et autres émissions potentiellement associées à leur fonctionnement telles que les émissions de particules par usure des pneumatiques et des plaquettes de frein).

	Références
[1]	ADEME, Eric Lecointre. DELOITTE DEVELOPPEMENT DURABLE. Février 2019. Rapport Annuel de l'Observatoire des Véhicules Hors d'Usage – Données 2017 - 120 p.
[2]	COMMISSARIAT GENERAL AU DEVELOPPEMENT DURABLE. Les transports routiers de marchandises sous pavillon français en 2018. Data Lab. Juin 2019. 4. p.

H.2.3.2 Traitement en centre VHU

Notre perception des points clefs ou d'attention en vue d'une évaluation environnementale	
Méthodologie	Les plastiques cibles, au sens des polymères qui seront *in fine* séparés en vue d'un recyclage chez les régénérateurs de plastiques, contenus dans les VHU entrent dans ces centres sous la forme de véhicules intègres (ou quasi intègres, en cas de véhicules accidentés, incendiés). Les plastiques sortent des centres VHU soit sous la forme de pièces démontées en vue d'une réutilisation ou d'un recyclage, soit en étant encore intégrés aux carcasses destinées au broyage. Cette étape peut nécessiter d'utiliser des ponts fixes ou mobiles mais elle implique avant tout des opérations réalisées de manière manuelle avec l'aide de différents outils pneumatiques et électriques. Certaines émissions pouvant avoir lieu au niveau des centres VHU sont générées par des matériaux/fluides spécifiques qui sont présents dans les véhicules : c'est notamment le cas des émissions fugitives de gaz contenu dans les circuits de climatisation ou des pertes d'huiles moteur par exemple. Un **enjeu méthodologique** concerne la prise en compte des utilités, des consommables, et des émissions et rejets des centres VHU. En effet, certaines opérations réalisées en centre VHU sont dans les faits dédiées à certains composants ou matériaux (ex : aspiration des fluides réfrigérants, démontage des pneumatiques, etc.). En théorie, il serait donc possible de subdiviser les activités réalisées en centres VHU afin que les impacts des sous-processus spécifiques ne concernent que les fractions spécifiquement concernées. Cette approche représente toutefois un travail de collecte de données assez fin (et donc demandeur en temps), alors que les besoins énergétiques de cette étape en centre VHU sont probablement limités comparativement aux étapes ultérieures de traitement des VHU (broyage, séparation successives des matériaux broyés en mélange). En ce qui concerne les consommations d'énergies et de consommables, il nous semble donc qu'une approche alternative acceptable est celle d'une quantification globale à l'échelle du centre VHU puis d'une affectation, par exemple massique, entre les différents flux sortants. Une approche différente pourrait être retenue pour le cas des émissions et rejets qui peuvent être directement mis en relation avec certains matériaux

	ou fluides contenus dans les VHU, en les affectant aux seuls matériaux concernés.
Données à collecter / données à fiabiliser	Des données moyennes représentatives de la filière pour la France existent via l'observatoire des véhicules hors d'usage en ce qui concerne les types et les quantités de flux sortants en sortie de centres VHU.
Enjeu à creuser / données à établir	Des données moyennes représentatives des consommations énergétiques, des éventuels consommables ou encore des émissions et rejets restent a priori à établir (pas de rapport ou publication publiquement accessible identifiées).



Des VHU en entrée de centres VHU aux divers types de fractions sortantes

L'une des missions essentielles des centres VHU est de dépolluer les véhicules en procédant au retrait des composants, matériaux ou fluides dont l'obligation de dépolluer est imposée par la réglementation.

Une fois les VHU dépollués, un démontage de certaines pièces en vue d'une réutilisation pour les pièces ayant une valeur marchande (ex : moteur, optiques…) ou d'un recyclage peut être réalisé. Toutefois, ces opérations vont fortement dépendre des centres VHU.

Ces activités en centre VHU peuvent nécessiter d'utiliser des ponts fixes ou mobiles. Beaucoup d'opérations sont réalisées de manière manuelle avec l'aide de différents outils pneumatiques et électriques.

Selon les centres VHU, ceux-ci peuvent ou non réaliser un cisaillage des carcasses de VHU ou encore un aplatissage des carcasses (en vue d'une optimisation de leur transport ultérieur).

En l'état actuel des pratiques, il semble que peu de types de pièces plastiques soient susceptibles d'être démontées en vue d'un recyclage. Cette situation concerne certains pare-chocs (ceux en PP répondant à un cahier des charges des repreneurs) ; elle serait susceptible de concerner également des réservoirs d'essence (polymère majoritaire étant le PE a priori) et de manière plus occasionnelle certaines autres pièces telles que des garde-boues par exemple.

En ce qui concerne les pare-chocs, tous ne sont pas intéressants en vue d'un recyclage. Ainsi, concernant la boucle de recyclage organisée par GAIA, filiale du groupe Renault, un cahier des charges identifie, à partir de leur marquage, les pare-chocs qui méritent d'être démontés et ceux ne devant pas

être démontés en vue d'un recyclage. Ainsi, les pare-chocs pour lesquels le PP est chargé en matières minérales, talc ou autre, au-delà d'un seuil défini (environ 15%) ne sont pas ciblés. Les copolymères PP-EPDM sont quant à eux plus recherchés.

S'agissant des réservoirs d'essence en PE, il conviendra de vérifier si ceux-ci sont effectivement triés ou non par les centres VHU en vue d'un recyclage (à date l'information reçue est contradictoire sur ce point) compte tenu de leur composition (notamment nature du revêtement intérieur du réservoir et sa compatibilité avec un recyclage) et des problèmes qui pourraient être posés par l'adsorption de carburant sur les plastiques.

1 **Input VHU**

Les VHU sont par nature des équipements complexes comportant de multiples matériaux. Les rapports de l'observatoire des véhicules hors d'usage de l'ADEME apportent des informations sur la composition moyenne des VHU, leur âge moyen actuel étant de l'ordre de 18 ans **[1, tableau 5, page 41]**.

Ainsi, les métaux ferreux représentent les matériaux les plus présents (environ 70% en moyenne), les plastiques rigides – tous types de pièces confondus – contribuant pour environ 10% à la masse d'un VHU. Différents polymères sont utilisés pour la fabrication de pièces automobiles, avec une prédominance des pièces à base de polypropylène, celui-ci étant notamment utilisé pour la fabrication de pare-chocs.

Les autres matériaux présents sont les métaux non ferreux, les pneus, le verre, les textiles et les mousses, les batteries, les faisceaux électriques, les liquides et fluides (huile moteur, liquide de refroidissement, liquide de freins, fluides de climatisation, carburant restant dans le réservoir) ainsi que les peintures principalement.

2 **Outputs contenant des plastiques**

3 Différentes situations méritent d'être distinguées.

4 Dans le cas des pièces pouvant faire l'objet d'un démontage, trois types de sorties pourront coexister au niveau national en fonction des activités effectivement mises en place par les centres VHU :

- Les pièces plastiques démontées en vue d'un recyclage ;
- Les pièces plastiques démontées en vue d'une réutilisation ;
- Les carcasses VHU, lorsque ce type de pièces plastiques n'a pas été démonté au préalable.

Pour les autres cas, les pièces plastiques n'étant pas démontées, celle-ci restent présentes sur les carcasses VHU qui seront ensuite orientées vers les broyeurs.

Dans l'observatoire des véhicules hors d'usage établi pour la France, des données quantitatives sont proposées en ce qui concerne les quantités retirées en moyenne par les centres VHU, la segmentation pour les plastiques intégrant notamment les sous-catégories telles que « PP pare-chocs », « PP autres pièces », « Réservoirs à carburants en PE», « PE autres pièces ».

Ces segmentations permettent ainsi un premier niveau de distinction en fonction du type de pièces. Néanmoins, un niveau plus fin d'analyse (par exemple, en distinguant les pare-chocs PP conformes et non conformes aux instructions de démontage en vue d'un recyclage) n'est pas accessible et devra donc faire l'objet de recherche de données complémentaires.

5 **Outputs coproduits**

6 Plusieurs autres fractions sont par ailleurs produites du fait :

7

- des dépollutions réalisées:
  - Pneumatiques, batteries, réservoirs GPL…
  - Fluides : l'huile usagée, carburant, liquide de frein, liquide de refroidissement, liquide lave-glace, fluide frigorigène…
- des démontages de pièces non plastiques en vue d'un recyclage ou d'une réutilisation.

Il s'agit ainsi de matériaux qui étaient d'ores et déjà présents dans les VHU mais qui ont été triés/extraits du fait des missions des centres VHU.

Les modes de gestion sont variables en fonction des fractions, une valorisation énergétique et/ou un recyclage étant possibles dans certains des cas.

8 Consommables et utilités

Compte tenu des opérations réalisées en centres VHU, il est fort probable que les consommations énergétiques de cette étape soient relativement limitées comparativement aux étapes ultérieures, plus mécanisées.

Il ne devrait pas exister de consommation d'eau notable autre que celle dédiée aux usages sanitaires ou encore à la gestion des risques incendie. Le recours à d'autres consommables pourra être investigué (ex : utilisation de chiffons, absorbants en cas de déversement accidentel de liquides, vêtements de travail), au moins dans l'objectif de démontrer que ces entrants représentent des enjeux de second ordre.

A notre connaissance, aucune donnée moyenne et représentative de la filière nationale n'est publiquement disponible en ce qui concerne les quantités de consommables et utilités consommés en centre VHU. En revanche, des données de ce type pourraient être collectées auprès des centres VHU, de manière ponctuelle ou selon une fréquence plus régulière (en fonction des enjeux environnementaux associés à cette étape).

Une opportunité possible serait de s'appuyer sur la démarche de collecte de données d'ores et déjà engagée pour établir le rapport de l'observatoire des véhicules hors d'usage.

Remarque : le lecteur pourra toutefois utilement prendre connaissance d'un article publié en 2000 dans la revue Déchets Science et techniques éditée par l'INSA de Lyon **[2]** et portant sur le traitement des VHU.

6 Rejets et émissions

En ce qui concerne les émissions directes de gaz à effet de serre, peut se poser la question des pertes lors de l'extraction des fluides de climatisation. Des enjeux en termes d'émissions de COV vers l'air peuvent également exister lors de la vidange des réservoirs de carburants.

Les enjeux en termes de rejets d'eau sont a priori limités et concernent essentiellement la gestion des eaux sanitaires, éventuellement les eaux de lavage des pièces démontées ainsi que les eaux pluviales de voierie.

Les éventuels enjeux relatifs aux eaux pluviales collectées via les aires étanches ainsi qu'aux pertes ou rejets accidentels lors de la vidange d'autres fluides ou lors du retrait des batteries (présence d'acides) par exemple seront à évaluer. Ces types de rejets devraient être orientés vers des dispositifs tels que des décanteurs-déshuileurs, ce qui pose la question des quantités de boues produites lors du curage de ces équipements (et de leur gestion) et de la présence de polluants résiduels dans les eaux après passage par ces systèmes de dépollution.

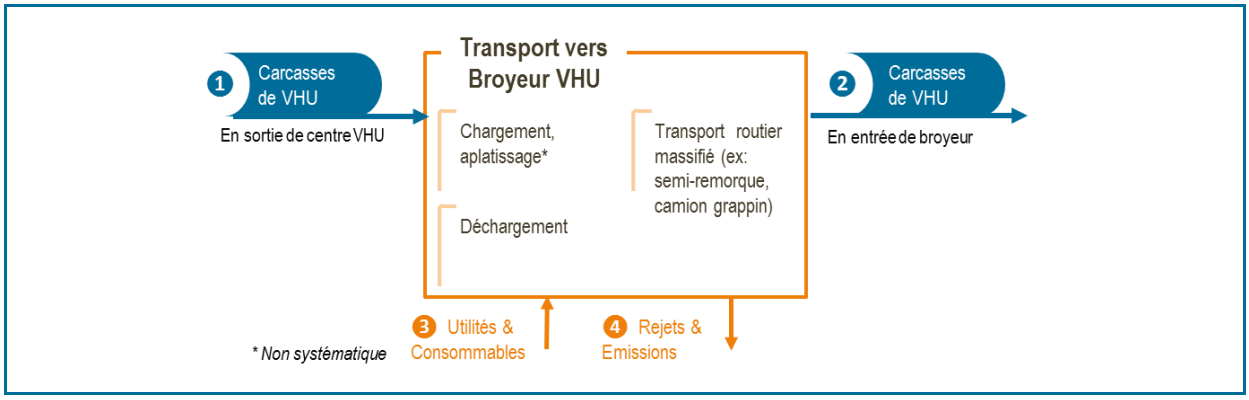
La bonne gestion des nuisances telles que le bruit, le transit de camions, les envols de déchets (stockage des fractions produites) mérite une attention en vue de l'intégration des sites de traitement dans leur environnement immédiat.

Comme précisé précédemment, certains rejets et émissions décrits ci-dessus peuvent être directement mis en relation avec des matériaux ou substances spécifiques contenus dans les VHU plutôt qu'être affectées à l'ensemble des matériaux présents dans ce type d'équipements.

	REFERENCES
[1]	ADEME, Eric Lecointre. DELOITTE DEVELOPPEMENT DURABLE. Février 2019. Rapport Annuel de l'Observatoire des Véhicules Hors d'Usage – Données 2017 - 120 p.
[2]	JM. BOULMIER, A. GRAPIN, P. ROUSSEAUX. Bilan matière-énergie de la filière de traitement des véhicules hors d'usage (VHU). Déchets Sciences et Techniques - N° 17 - 1er trimestre 2000. INSA de Lyon. Pages 25-33

H.2.3.3 Transport des carcasses depuis les centres VHU vers les broyeurs VHU

Notre perception des points clefs ou d'attention en vue d'une évaluation environnementale	
Méthodologie	Les enjeux méthodologiques de cette étape sont limités. La question du type d'allocation des impacts de cette étape entre les différents matériaux/substances constitutifs des carcasses VHU et qui seront *in fine* séparés peut se poser (affectation massique, autre choix).
Données à fiabiliser	Pas de statistiques publiquement accessibles identifiées lors de cette étude concernant cette étape pour la filière VHU en France.
Enjeu à creuser / données à établir	Des grandeurs clefs représentatives permettant de quantifier les impacts environnementaux du transport des carcasses depuis les centres VHU jusqu'aux broyeurs restent à établir.



1 **Input carcasses VHU / Output carcasses VHU**

2 Cette étape de transport peut faire l'objet d'un transport massifié pour lequel plusieurs carcasses seront transportées lors d'un même chargement. Selon les cas, les VHU seront aplatis ou non afin d'optimiser le transport. En cas d'aplatissage des VHU, celui-ci pourra être fait par le centre VHU ou alors directement réalisé par le transporteur lors du chargement (ex : aplatissage au grappin).

Selon le rapport de l'observatoire des véhicules hors d'usage, une partie des carcasses collectées en France seront transférées vers des broyeurs situés en Europe. En 2017, cette proportion était de 13% des carcasses de VHU collectées cette même année.

3 **Consommables et utilités**

Pour le transport à proprement parler, les consommables et utilités sont ceux qui sont traditionnellement associés au transport, pour le fonctionnement des véhicules, leur entretien…Il s'agit ainsi de recueillir des données sur les modes et distances de transport, les charges réellement transportées, la proportion de trajets à vide, etc.

Il conviendra également de disposer de données rendant compte des besoins énergétiques des étapes de chargement, éventuellement aplatissage, et de déchargement des VHU (ex : via un camion grappin).

Il n'a pas été identifié de statistiques nationales pour ces différents descripteurs. Toutefois, une étude réalisée par TERRA SA – DELOITTE – BIOIS pour l'ADEME sur l'évaluation économique de la filière de traitement des véhicules hors d'usage apporte toutefois quelques éléments établis sur un échantillon restreint de 7 broyeurs **[1, page 81]**, à savoir :

- zone de chalandise moyenne s'étend de 36 km à 137 km (100 km de moyenne pondérée sur l'ensemble de l'échantillon de broyeurs de cette étude).
- le tonnage moyen transporté allant de 8,3 à 15,9 t/chargement (12,7 t/chargement de moyenne pondérée sur l'ensemble de l'échantillon des broyeurs de cette étude).

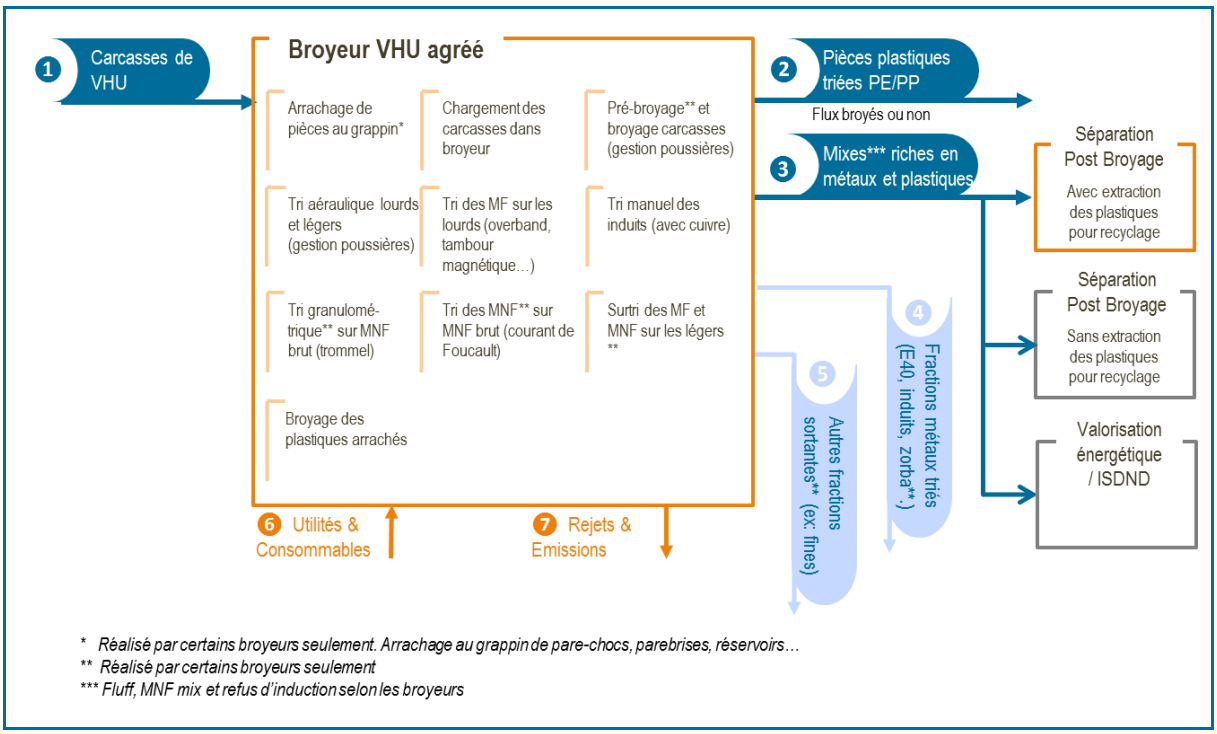
4 **Rejets et émissions**

Les rejets et émissions sont ceux qui sont traditionnellement associés au transport, ainsi qu'aux combustibles pouvant être utilisés pour le fonctionnement des engins disposant d'un moteur thermique et assurant les opérations de chargement, aplatissage, déchargement des VHU

	REFERENCES
[1]	TERRA SA – DELOITTE – BIO IS POUR L'ADEME. Evaluation économique de la filière de traitement des véhicules hors d'usage – 2015 – Rapport, 2 volumes (158 et 72 pages)

H.2.3.4 Traitement chez les broyeurs VHU

Notre perception des points clefs ou d'attention en vue d'une évaluation environnementale	
Méthodologie	Les plastiques cibles contenus dans les VHU, au sens des polymères qui seront *in fine* séparés en vue d'un recyclage chez les régénérateurs de plastiques, ne seront que partiellement présents dans des fractions orientées vers un recyclage en sortie de broyeur VHU. En effet, les plastiques vont se retrouver pour partie « dispersés » dans d'autres fractions sortantes et ils ne seront généralement pas extraits en vue de leur recyclage lors des étapes ultérieures de valorisation ou de préparation à la valorisation de ces fractions. Ceci est particulièrement le cas pour les plastiques présents dans les résidus de broyage que les broyeurs VHU orientent directement en élimination, en valorisation énergétique ou chez des opérateurs de post-séparation privilégiant une valorisation énergétique des matières combustibles. Un **enjeu méthodologique** concerne la prise en compte des utilités, des consommables, et des émissions et rejets des broyeurs VHU. En effet, certaines opérations réalisées peuvent dans les faits être préférentiellement dédiées à certains matériaux (ex : tri des induits présents dans le mélange riche en ferreux, aspiration des légers). En théorie, il faudrait donc envisager de subdiviser les activités réalisées en broyeur VHU afin que les impacts des sous-processus spécifiques ne concernent que les fractions spécifiquement concernées. Cette approche représente toutefois un travail de collecte de données assez fin (et donc demandeur en temps), alors que les besoins énergétiques de cette étape en broyeur VHU sont a priori moindres comparativement aux étapes ultérieures de la chaine de recyclage des plastiques des VHU (post-séparation des résidus de broyage et étapes de production des broyés et/ou des granulés chez les régénérateurs de plastiques). En ce qui concerne les consommations d'énergies et de consommables, une approche alternative envisageable est celle d'une quantification globale à l'échelle du broyeur VHU puis d'une affectation, par exemple massique, entre les différents flux sortants. Une approche différente pourrait être retenue pour le cas des émissions et rejets qui peuvent être directement mis en relation avec certains matériaux ou fluides contenus dans les VHU, en les affectant aux seuls matériaux concernés.
Données à collecter / données à fiabiliser	Des données moyennes représentatives de la filière pour la France existent via l'observatoire des véhicules hors d'usage en ce qui concerne les types et les quantités de flux sortants en sortie de centres VHU.
Enjeu à creuser / données à établir	Des données moyennes représentatives des consommations énergétiques, des éventuels consommables ou encore des émissions et rejets restent a priori à établir (pas de rapport ou publication publiquement accessible identifiées).



A leur arrivée sur un site de broyage, les carcasses sont généralement stockées en attente de traitement. Selon les broyeurs, et préalablement au broyage des carcasses de VHU, les opérateurs pourront :

- extraire au grappin des pièces telles que des pare-chocs ou des réservoirs à carburants (notamment pour une gestion du risque d'atmosphère explosible par le mélange air/vapeur d'essence) n'ayant pas été extraits en centre VHU
- aplatir les carcasses pour faciliter leur chargement dans le caisson de broyage

Les carcasses ainsi préparées sont ensuite broyées, puis les matières broyées sont séparées sous la forme de différentes fractions sortantes. Certaines étapes sont systématiques à tous les broyeurs ; d'autres étapes, visant à pousser la séparation de certaines fractions intermédiaires, sont en revanche conduites chez certains broyeurs mais non chez tous les broyeurs.

Ainsi, le rapport de l'observatoire des véhicules hors d'usage établi par l'ADEME précise que les étapes de broyage, d'aspiration, de tri magnétique et de tri manuel sur la fraction des ferreux (appelée E40) sont rencontrées chez tous les broyeurs.

En aval immédiat du broyage, un système d'aspiration va en effet permettre d'extraire les matériaux légers (ex : mousses, textiles, bois, certains plastiques, certains métaux), la fraction ainsi constituée étant appelée le fluff. Certains broyeurs sont équipés de façon à extraire les métaux présents dans ce fluff.

Après aspiration, la fraction lourde intermédiaire contient les autres matériaux broyés. Compte tenu de la forte proportion de métaux ferreux présents dans les VHU, une des étapes opérationnelles consiste à extraire les fragments de métaux ferreux par séparation magnétique, la fraction intermédiaire résiduelle étant quant à elle riche en matériaux divers dont des métaux non ferreux, des plastiques, le verre broyé, etc. A partir de cette fraction intermédiaire, certains broyeurs vont :

- conduire une séparation additionnelle permettant de séparer les fines des autres matériaux
- extraire de ce mélange (après extraction ou non des fines) des métaux tels que l'aluminium et le cuivre via un équipement à courant de Foucault

1 Input

Les carcasses de VHU acheminées depuis les centres VHU constituent le flux entrant chez les broyeurs. Il s'agit d'un flux riche en métaux ferreux et contenant également les matériaux non extraits en centres VHU (ex : plastiques, mousses, textiles, verre, métaux non ferreux…).

2 Output correspondant aux fractions riches en plastiques

3

Pour les broyeurs réalisant une extraction des pièces composées de plastiques au grappin avant l'entrée dans le broyeur, il existe donc des fractions sortantes constituées de pièces arrachées et triées par type de pièces. A priori, deux fractions peuvent ainsi exister :

- une fraction constituée de pare-chocs
- une fraction constituée de réservoirs à carburants

Tous les autres plastiques restant sur les carcasses sont quant à eux broyés puis orientés vers différentes fractions sortantes en fonction des étapes successives de process mises en œuvre par le broyeur et de certaines caractéristiques des fragments broyés (densité, granulométrie par exemple).

Ainsi, les plastiques peuvent être orientés vers les fractions sortantes suivantes **[1]** :

- Fluff ou résidus de broyage légers
- Résidus d'induction ou résidus de broyage lourds
- MNF mix (métaux non ferreux mix) lorsque le broyeur VHU n'est pas équipé pour extraire les principaux métaux non ferreux

4 Outputs coproduits

5

D'autres fractions, autres que les fractions riches en plastiques, sont produites en sortie des broyeurs VHU :

- Métaux ferreux, communément appelée E40 ;
- Induits
- Zorba (fraction riche en métaux non ferreux)
- Fines, lorsque le broyeur VHU réalise un tri granulométrique.
- …

Certaines fractions valorisables doivent faire l'objet d'étapes de préparation additionnelles avant recyclage (zorba par exemple) alors que d'autres fractions peuvent d'ores et déjà faire l'objet d'un recyclage par l'opérateur de reprise situé directement en aval de l'opérateur de traitement de rang 1 (métaux ferreux par exemple).

En ce qui concerne les fines, celles-ci contenant une proportion importante de matériaux minéraux (ex : verre), elles semblent largement valorisées en travaux publics selon le rapport de l'observatoire des VHU **[1]**.

Dans tous les cas, les plastiques cibles (PP, PE) qui sont présents sous forme d'impuretés dans ces autres fractions triées ne font généralement pas, pour des raisons technico-économiques, l'objet d'une extraction en vue d'un recyclage.

5 Consommables et utilités

L'activité d'un broyeur VHU consomme de l'énergie (carburant et électricité notamment) pour les étapes de manutention (engins) et pour le fonctionnement des équipements mobilisés au cours du traitement (broyeur, pré-broyeur, overband, trommel, convoyeurs…).

Lorsque des installations réalisent un captage des poussières avec lavage humide, il peut être nécessaire de considérer les consommations d'eau associées. Les autres usages de l'eau peuvent être des usages sanitaires, les opérations de lavage des équipements/engins, la gestion des risques incendie.

A notre connaissance, aucune donnée n'est publiquement disponible en ce qui concerne les quantités de consommables et utilités consommées lors du traitement des carcasses VHU en broyeurs VHU.

En revanche, des données de ce type pourraient être collectées auprès des broyeurs VHU, de manière ponctuelle ou selon une fréquence plus régulière (en fonction des enjeux environnementaux associés à cette étape). Une opportunité possible serait de s'appuyer sur la

démarche de collecte de données d'ores et déjà engagée pour établir le rapport de l'observatoire des véhicules hors d'usage.

6 Rejets et émissions

Les possibles enjeux en termes d'émissions et rejets lors du traitement des carcasses de VHU chez les broyeurs VHU sont par exemple :

- Les émissions de poussières/particules à l'atmosphère qu'il s'agisse d'émissions fugitives ou d'émissions résiduelles post-abattement ; les poussières/particules captées constituent en outre des déchets à prendre en compte (ces déchets pouvant être secs ou humides en fonction des techniques de captage, par cyclone par exemple ou par tour de lavage humide).
- Les émissions de métaux dont les métaux lourds ;
- Les émissions de composés organiques volatils, du fait des fluides résiduels pouvant être présents dans les carcasses ;
- Les émissions éventuelles d'autres composés (certains arrêtés préfectoraux peuvent demander une surveillance des teneurs en dioxines par exemple)
- La gestion de la qualité des eaux pluviales de voieries et de lavage.

Divers déchets sont également susceptibles d'être générés par les broyeurs VHU : poussières sèches captées, boues produites lors du lavage humide des poussières, boues récupérées lors de l'entretien/curage des débourbeurs – déshuileurs, etc.

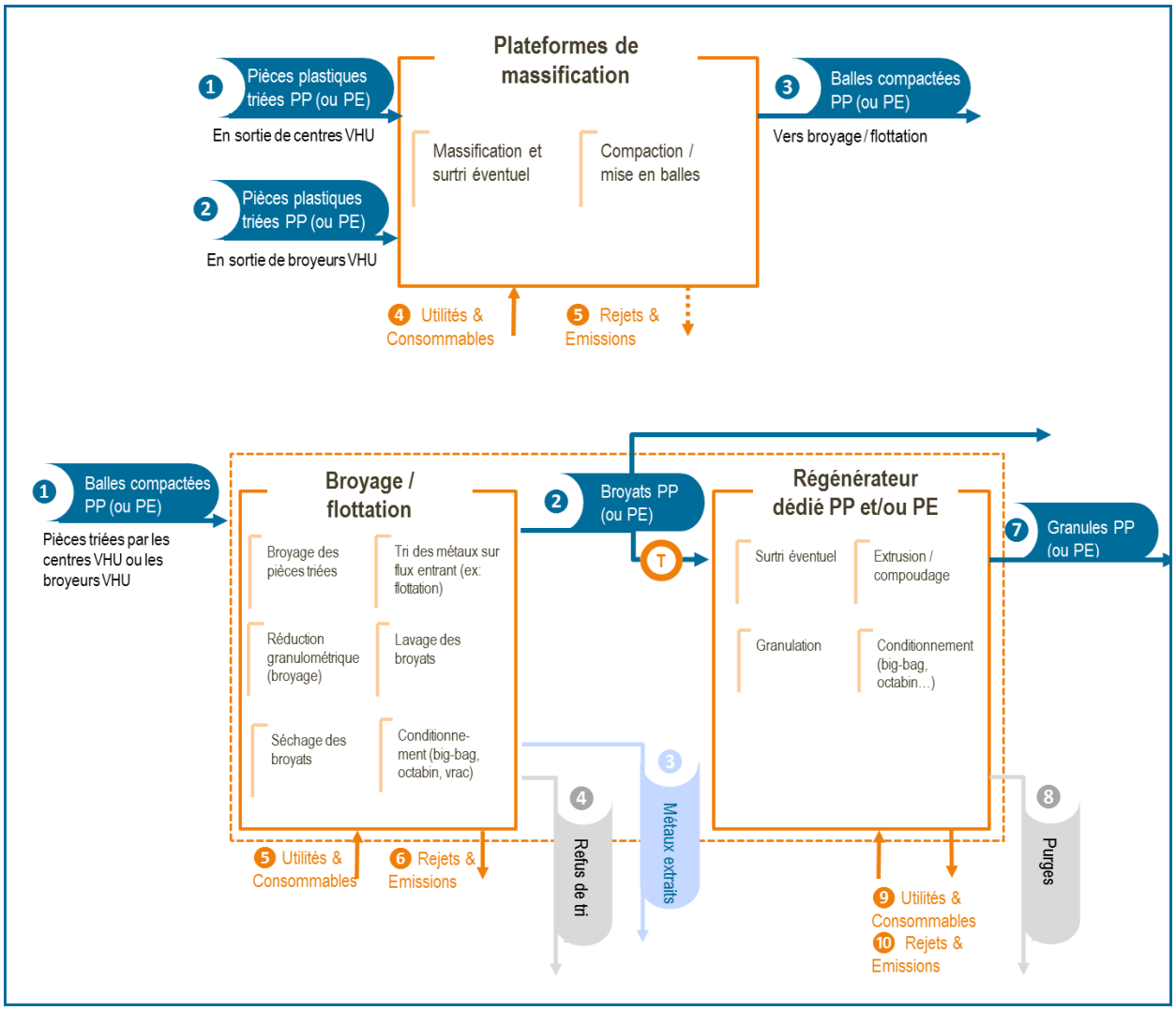
La bonne gestion des nuisances telles que le bruit, le transit de camions, les envols de déchets (ex : stockage des fractions produites tels que le fluff, les fines) mérite une attention en vue de l'intégration des sites de traitement dans leur environnement immédiat.

	REFERENCES
[1]	ADEME, Eric Lecointre. DELOITTE DEVELOPPEMENT DURABLE. Février 2019. Rapport Annuel de l'Observatoire des Véhicules Hors d'Usage – Données 2017 - 120 p.

H.2.3.5 Traitement des pièces triées en centres VHU et chez les broyeurs VHU vers les recycleurs de plastiques

Notre perception des points clefs ou d'attention en vue d'une évaluation environnementale	
Méthodologie	Dans le cas de pièces plastiques entières triées et orientées vers des opérateurs de recyclage, un point d'attention va concerner la part de ces pièces pouvant effectivement faire l'objet d'un recyclage. En effet, ces pièces sont la plupart du temps un assemblage de pièces, certaines d'entre elles étant constituées de plastiques qui ne sont pas ciblés par les régénérateurs en vue d'un recyclage. Dans le cas de pièces telles que des pare-chocs, la proportion de plastiques « non cibles » et donc gérés comme des déchets non recyclables peut être importante (plusieurs dizaines de %). Ceci peut poser un **enjeu méthodologique** quant à la prise en compte de ces matériaux initialement présents dans les pièces mais qui ne seront pas recyclés. Ainsi, selon les objectifs des travaux d'ACV, des enjeux d'affectation peuvent se poser en ce qui concerne : • les impacts liés à l'élimination de ces plastiques non ciblés par les régénérateurs de plastiques • les utilités, consommables, émissions et rejets des étapes de procédés communes aux plastiques cibles et aux plastiques non cibles.

Données à fiabiliser	Il existe peu ou pas de données d'activité ou de données rendant compte des impacts environnementaux, publiquement disponibles et portant spécifiquement sur la gestion des pièces plastiques automobiles triées par les centres VHU et par les broyeurs VHU en amont d'un broyage.
Enjeu à creuser / données à établir	Des données relatives aux bilans entrées/sorties, aux efficacités de séparation, au devenir des plastiques non cibles écartés lors des étapes de broyage/séparation sont connues des opérateurs de recyclage, ceux-ci pouvant être situés en France ou en Europe. Diverses parties prenantes pourraient souhaiter disposer de données permettant d'établir les impacts et les bénéfices environnementaux associés à la gestion de pièces plastiques automobiles triées par les centres VHU et par les broyeurs VHU en amont d'un broyage. Cela pourrait présenter un intérêt pour positionner ce bilan par rapport à celui obtenu lorsque ces mêmes pièces restent sur la carcasse VHU. Si tel était le cas, une collecte de données pourrait éventuellement prendre appui sur le recueil de données d'ores et déjà réalisé dans le cadre de l'observatoire des VHU de l'ADEME.



Transport pour massification des pièces plastiques majoritairement en PP ou en PE

Les pièces plastiques (pare-chocs, réservoirs notamment) triées en centres VHU ou chez les broyeurs peuvent être acheminées sur des sites en charge de massifier les flux et de préparer les pièces (par

compactage/mise en balle par exemple) en vue de leur expédition chez les industriels qui opèrent le broyage/la séparation des matières plastiques et de leur régénération.

Cela concerne les pare-chocs, ceux-ci contenant notamment du PP non chargé ou peu chargé ainsi que des parties en PP/EPDM qui intéressent les régénérateurs.

1 **Input pièces plastiques triées par les centres VHU / par les broyeurs VHU**

2 Cette étape concerne l'acheminement des pièces plastiques triées en centres VHU ou chez les broyeurs (parechocs, réservoirs notamment) sur des sites de massification maillant le territoire étudié.

Il s'agira d'identifier le type de transport réalisé (ex : benne de capacité de x m^3) et les équipements éventuellement utilisés sur le site de massification (ex : compacteur) pour préparer les pièces en vue de leur expédition chez les industriels en charge du broyage/séparation des matières plastiques et de leur régénération).

3 **Output correspondant aux balles compactées**

En sortie des sites de massification, les pièces plastiques se présentent par exemple sous la forme de balles compactées.

4 **Consommables et utilités**

Pour les étapes de transport vers et depuis les sites de massification, les consommables et utilités sont ceux qui sont traditionnellement associés au transport, pour le fonctionnement des véhicules, leur entretien…Il s'agit ainsi de recueillir des données sur les modes et distances de transport, les charges réellement transportées, la proportion de trajets à vide, etc.

A titre illustratif et indicatif, un acheminement des pièces plastiques en vrac depuis les centres VHU et les broyeurs VHU via des bennes de 25 m^3, implique une charge moyenne transportée pouvant être de l'ordre de 5 ou 6 tonnes selon des experts de chez GAIA[33] rencontrés au cours de ce projet. Selon ces mêmes personnes, concernant le transport des balles compactées, la charge moyenne transportée peut se situer aux environs de 12 tonne pour des camions de 40 m^3 de contenance **[1].**

Il conviendra également de disposer de données rendant compte des besoins énergétiques des étapes de compaction / mise en balles. Il n'a pas été identifié de statistiques pour ces différents descripteurs.

5 **Rejets et émissions**

Les rejets et émissions sont ceux qui sont traditionnellement associés au transport, ainsi qu'aux combustibles pouvant être utilisés pour le fonctionnement des éventuels engins fonctionnant avec un moteur thermique utilisés sur les sites de massification.

	REFERENCES
[1]	EXPERTS DE GAIA ET DE RENAULT. Entretien du 18 février 2020.

Traitement en vue d'un recyclage des balles de pièces plastiques

Les pièces plastiques telles que des pare-chocs sont des pièces techniques qui ne sont pas constituées d'une seule et uniquement pièce mono-polymère mais consistent en un assemblage de pièces fabriquées à partir de différents polymères, mélange polymères et charges minérales, etc. La part de plastiques types polyoléfines (PP/PE) est toutefois importante pour ce type de pièces.

Une première étape de traitement en vue d'un recyclage consiste généralement en un broyage puis une séparation des différents plastiques constitutifs des pièces, des procédés de type flottaison à l'eau / tri densimétrique étant les plus couramment mis en œuvre à l'heure actuelle. Ces étapes permettent de

[33] GAIA est une filiale de Renault spécialisée dans la gestion de boucles de recyclage.

récupérer des broyats de PP/PE dans le cas de pare-chocs, ceux-ci pouvant ensuite être transformés en granules via des étapes d'extrusion et éventuellement de compoundage.

Selon l'organisation mise en œuvre, les étapes de broyage/séparation par polymères et d'extrusion/compoundage peuvent être réalisées par le même opérateur ou des opérateurs distincts (transport intermédiaire à considérer).

Un article intitulé « Polypropylène en boucle courte, une opportunité pour le secteur automobile », co-écrit par Toni Gallone (ex-responsable développement industriel recyclage boucles courtes chez RENAULT) et Agathe Zeni-Guido (INSA de Lyon) [1] illustre bien les enjeux du recyclage du polypropylène contenus dans les véhicules, et en particulier dans les pare-chocs.

A titre illustratif, cet article présente la composition du pare-chocs avant d'un Renault Captur, véhicule de conception récente, et montre la diversité des types de plastiques ainsi que la part des plastiques à base de polyoléfines qui pourrait être récupérée par un procédé de tri flottaison (densité < 1,02).

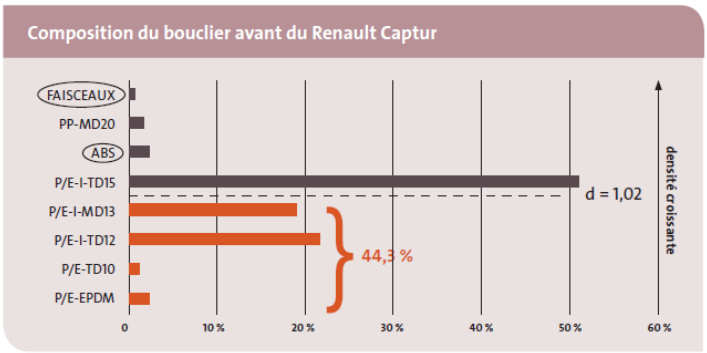


FIGURE 19 : COMPOSITION D'UN PARECHOC AVANT D'UN RENAULT CAPTUR D'APRES [1]

Pour le recyclage de pièces automobiles telles que des pare-chocs, il est donc important d'établir les bilans entrées/sorties et les rendements des étapes visant à séparer les différents plastiques constitutifs de ces pièces.

1 **Balles compactées de pièces plastiques (majoritairement en PP ou PE)**

Les balles compactées réceptionnées depuis les massificateurs constituent les déchets entrants de cet ensemble d'étapes.

Output correspondant aux plastiques triés et broyés et/ou aux granulés recyclés

2 **Production de broyés**

Dans le cas de pare-chocs, la première phase de process consiste à obtenir du broyé/lavé composé principalement de PP et dans de moindres proportions de PE, d'EPDM et de talc.

Chez certains opérateurs, des étapes additionnelles de surtri permettant de séparer les polyoléfines entre elles pourront être mises en œuvre. Ceci nécessite toutefois d'avoir recours à des procédés de séparation techniquement pointus et qui ne sont maitrisés que par certains acteurs.

7 **Production de granulés**

Les plastiques broyés sont généralement transformés en granulés, via des étapes additionnelles d'extrusion, éventuellement de compoundage (ex : ajout de colorants, d'additifs apportant des propriétés techniques) et de granulation.

Chez les régénérateurs de plastiques, le PP broyé issu de pare-chocs est susceptible d'être mélangé avec d'autres sources de déchets de PP (post-consommateurs ou pré-consommateurs telles que des chutes de production, rebuts de fabrication) afin de produire des granulés de PP recyclé destinés à être commercialisés.

3 **Outputs coproduits**

En fonction de la présence de matériaux autres que des plastiques dans les balles de déchets entrants, en particulier de métaux (ex : insertions métalliques pour les pare-chocs), l'opérateur devra procéder à une extraction de ces matériaux. Les métaux ainsi séparés sont susceptibles de faire l'objet d'un recyclage.

Output déchets résultant de l'input

4 **Production de broyés**

Dans le cas de pare-chocs, qui sont des assemblages de pièces, les procédés de séparation des broyats par flottaison / tri densimétrique conduisent à séparer les plastiques « cibles », à savoir des mix PP/PE ayant une densité maximale définie par l'opérateur, des broyats plus lourds constitués notamment de polymères non cibles et de PP chargé avec une teneur importante en talc par exemple.

La part des « lourds » peut être significative pour ce type de pièces automobiles. Selon l'expérience de GAIA [2], pour des VHU traités à l'heure actuelle (véhicules conçus 20 ans auparavant et même davantage), le rendement « broyats PP/déchets entrants » pour les étapes de broyage/séparation est de l'ordre 70%.

Ce rendement étant fonction des pièces plastiques entrantes et des procédés de séparation, il mérite d'être établi de manière spécifique.

8 **Production de granulés**

Le procédé d'extrusion conduit à la production de galettes de filtration en raison d'impuretés présentes dans le polymère fondu, par exemple en raison de traces d'autres polymères ayant un point de fusion plus élevé, de particules de peintures utilisées en revêtement de surface, etc. Ces déchets de filtration peuvent être ou non partiellement réintégrés dans le process (après broyage). La partie non réintégrée correspond à des déchets du procédé.

4 **Consommables et utilités**

9 Les étapes de broyage, lavage, flottation, séchage, extrusion, granulation, etc. consomment de l'énergie pour le fonctionnement des équipements (électricité, gaz naturel, etc.). Les engins de manutention nécessaires au fonctionnement du site consomment le plus souvent des carburants.

De l'eau est également consommée lors d'étapes telles que le lavage, la flottaison ou d'autres techniques de tri densimétrique, la production de granulés (eau servant à refroidir les plastiques en sortie d'extrusion). Ces besoins en eau peuvent être gérés en boucle fermée, avec des appoints d'eau visant à compenser les pertes.

Les étapes de tri densimétrique peuvent également nécessiter l'utilisation de consommables de natures diverses afin d'obtenir des valeurs de densité différentes de celle de l'eau.

5 **Rejets et émissions**

10 Divers types de déchets, rejets vers l'air ou rejets vers l'eau peuvent être générés lors des étapes de procédés précédemment décrites. Ceux-ci devront donc être quantifiés. Il peut notamment s'agir de :

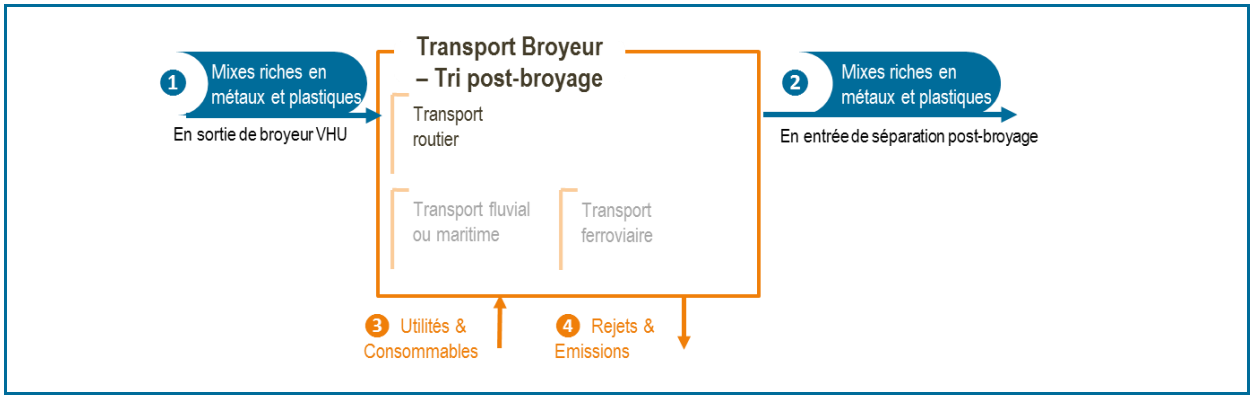
- Poussières sèches captées ou boues produites lors du captage des poussières par voir humide ;
- Boues de décantation ou prétraitement des eaux de lavage ;
- Condensats générés lors du dégazage effectué lors de l'extrusion des plastiques (ceux-ci permettent de « capter » les composés organiques libérés)
- Emissions atmosphériques de poussières et particules (notamment de plastiques) ainsi que de composés organiques volatils (COV) lors de l'extrusion ;
- Rejets de polluants (MES, hydrocarbures, DCO, métaux, particules de plastiques…) pouvant être présents dans les eaux de procédé (lavage, purges des bains…) ou les eaux pluviales collectées sur site ;
- Divers déchets liés au fonctionnement des installations : huiles usagées, filtres usagés, boues de débourbeur/déshuileur des eaux de ruissellement, déchets banals divers, etc.

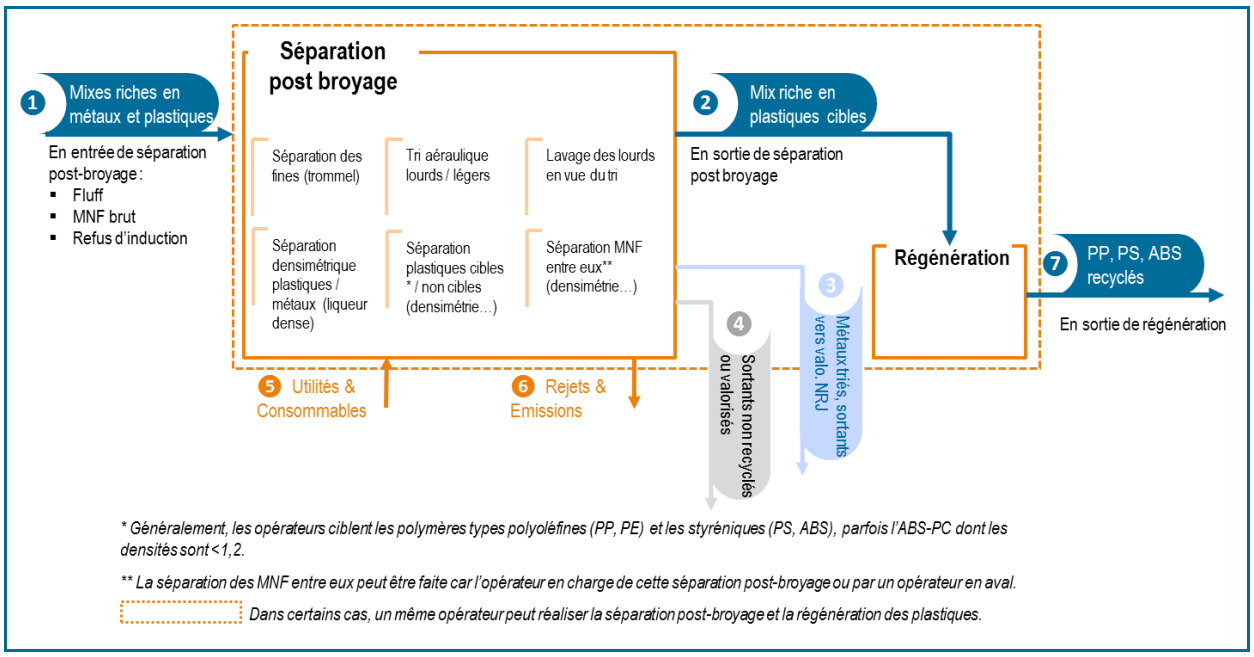
Ces quantifications peuvent s'avérer délicates à établir, notamment en ce qui concerne les émissions vers l'air ou vers l'eau (COV et particules de plastiques par exemple). Les arrêtés d'exploitation n'imposent pas nécessairement une surveillance réglementaire de toutes les émissions.

	REFERENCES
[1]	TONI GALLONE, AGATHE ZENI-GUIDO. Polypropylène en boucle courte, une opportunité pour le secteur automobile. La revue de l'Institut Veolia. L'indispensable réinvention des plastiques. 2019. PP 48-53.
[2]	EXPERTS DE GAIA ET DE RENAULT. Entretien du 18 février 2020

H.2.3.6 Séparation post-broyage en rang 2 des mixes riches en plastiques issus des broyeurs VHU

Notre perception des points clefs ou d'attention en vue d'une évaluation environnementale	
Méthodologie	Les mixes riches en métaux et en plastiques produits par les broyeurs VHU font pour partie l'objet d'une séparation post-broyage chez des opérateurs spécialisés. Les opérations de séparation post-broyage permettent de séparer une fraction riche en plastiques cibles (il s'agit généralement de PP, PS, ABS pouvant être légèrement chargés) qui peut alors être orientée vers d'autres étapes en vue de leur recyclage. Les opérations de séparation post-broyage produisent d'autres fractions telles que des fractions métalliques destinées au recyclage, des fractions faisant l'objet d'une valorisation énergétique (par exemple sous forme de CSR), voire d'une élimination. Un **enjeu méthodologique d'allocation** des utilités, consommables, émissions et rejets de l'étape de séparation post-broyage est à considérer entre la fraction riche en plastiques cibles et les autres fractions produites.
Données à fiabiliser	Il n'existe pas, ou peu, de données d'activité ou de données rendant compte des impacts environnementaux, publiquement disponibles et portant spécifiquement sur la gestion des plastiques présents dans les VHU et orientés vers les résidus de broyage en sortie de broyeurs VHU.
Enjeu à creuser / données à établir	Diverses parties prenantes pourraient souhaiter disposer de données permettant d'établir les impacts et les bénéfices environnementaux associés à la gestion de plastiques des VHU gérés via les résidus de broyage. Cela pourrait présenter un intérêt pour positionner ce bilan par rapport à celui obtenu lorsque les plastiques sont triés en amont du broyeur. Si cet intérêt est confirmé par les parties intéressées, une collecte de données pourrait éventuellement prendre appui sur le recueil de données d'ores et déjà réalisé dans le cadre de l'observatoire des VHU de l'ADEME.





Transport depuis les broyeurs VHU jusqu'aux opérations de séparation post-broyage

Les données à recueillir sont les données usuellement collectées en ce qui concerne des étapes de transport (mode de transport, gabarit des véhicules, charge utile et charge réelle, distance, taux de retour à vide). Pour plus de détails, le lecteur pourra se reporter aux autres étapes de transport de la chaine de recyclage des VHU précédemment décrites.

Des mixes riches en métaux et en plastiques en entrée de séparation post-broyage à un mix riche en plastiques cibles en sortie

Les résidus de broyage lourds et légers, riches en morceaux de plastiques, obtenus en sortie des broyeurs VHU sont pour partie orientés chez des opérateurs de séparation post-broyage disposant de procédés permettant de séparer certains plastiques afin de les orienter vers un recyclage. Rappelons que d'autres modes de gestion sont possibles, en particulier une gestion de ces résidus dans les installations de séparation post-broyage qui vont plutôt chercher à valoriser énergétiquement les matériaux ayant un pouvoir calorifique.

Les opérateurs en charge de la séparation post-broyage vont mettre en œuvre des étapes successives de process en tenant compte :

- des divers matériaux présents dans les résidus de broyage et de leur proportion respective
- d'arbitrages technico-économiques, ceux-ci conduisant par exemple à cibler certains polymères en vue d'un recyclage et à gérer selon d'autres modalités les polymères non ciblés (valorisation sous forme de CSR, incinération avec valorisation énergétique, enfouissement).

D'autres équipements seront mobilisés chez ces opérateurs pour extraire les métaux ferreux et les métaux non ferreux, les matériaux légers (ex : mousses et morceaux de plastiques légers).

Il est à noter que les étapes de régénération peuvent dans certains cas être conduites en partie (ex : séparation des différents polymères et production de plastiques broyés lavés) ou en totalité (séparation des différents polymères, lavage, broyage et extrusion/granulation) sur le même site que la séparation post-broyage ou au contraire être effectuées par des opérateurs distincts sur d'autres sites industriels.

Remarque : de nouvelles dispositions réglementaires pourraient être adoptées en ce qui concerne la gestion des plastiques contenant des retardateurs de flamme bromés présents dans les VHU. La nature de ces dispositions et leurs incidences possibles sur les modalités de gestion des plastiques ne sont pas connues à date. Elles ne sont donc pas prises en compte dans cette étude.

1 Input

Les déchets entrant chez les opérateurs de séparation post-broyage sont les fractions riches en métaux et en plastiques produites par les broyeurs VHU.

Ces opérateurs peuvent également traiter des fractions riches en métaux et en plastiques qui sont issues du traitement d'autres produits arrivant en fin de vie tels que des DEEE par exemple.

2 Output Mix riche en plastiques cibles

A l'issue des différentes opérations de séparation, une fraction riche en plastiques cibles en vue du recyclage est produite.

Selon notre compréhension, ces opérateurs vont préférentiellement cibler les polyoléfines (PP, PE) et les styréniques (ABS, PS). Une technique communément utilisée pour séparer ces plastiques cibles des autres plastiques (ceux-ci ayant une densité plus élevée que celles des plastiques cibles) est un tri densimétrique, l'opérateur déterminant une densité seuil.

4 Outputs destinés au recyclage ou à une valorisation énergétique

D'autres fractions sont par ailleurs produites au cours des opérations de séparation post-broyage des fractions riches en métaux et en plastiques :

- Métaux ferreux ;
- Métaux non ferreux en mélange ou triés par type de métal (cuivre, aluminium, inox…) ;
- Fraction riches en matériaux combustibles orientés en préparation de CSR
- Fraction riches en matériaux combustibles orientés en incinération avec valorisation énergétique…

Lorsque cela est possible, les opérateurs cherchent à orienter ces fractions vers une valorisation matière ou énergétique, soit chez un opérateur intervenant directement en aval de son installation (recyclage des métaux ferreux en aciérie par exemple), soit après une nouvelle étape de préparation (séparation d'une fraction de métaux non ferreux en mélange par exemple, préparation de CSR).

Des plastiques cibles (ex : PP, PE) peuvent être présents sous forme « d'impuretés », et dans des proportions variables, dans certaines de ces fractions ; celles-ci ne feront probablement pas, pour des raisons technico-économiques, l'objet d'une extraction ciblée en vue d'un recyclage lors des étapes suivantes de gestion de ces différentes fractions.

4 Output déchets non destinés au recyclage ou à une valorisation énergétique

Certaines fractions extraites lors des étapes successives de séparation peuvent également être orientées en enfouissement, voire en destruction thermique.

Cela peut par exemple concerner des fines de broyage, des poussières sèches captées ou des boues produites lors du captage des poussières, des boues de décantation ou de prétraitement des eaux de lavage, des matériaux présents dans les déchets entrants et extraits en cours de process mais ne pouvant pas être recyclés ou valorisés pour des raisons techniques, économiques, réglementaires.

Il s'agira donc d'identifier les fractions et matériaux pouvant être concernés et leur destination effective.

5 Consommables et utilités

Le procédé de séparation post-broyage des mixes riches en métaux et en plastiques consomme de l'énergie (carburant et électricité par exemple) pour les étapes de manutention (engins) et pour le fonctionnement des tapis de convoyage et équipements mobilisés au cours du traitement.

De l'eau peut être consommée :

- Pour le lavage des fractions ;
- Pour les bains densimétriques le cas échéant, bien que ces bains puissent fonctionner en circuit fermé (la consommation d'eau correspond alors à des appoints).
- Pour les autres opérations de lavage éventuelles (lignes de tri, équipements, engins…) ainsi que pour l'abattement des poussières (en cas de procédé par voie humide), pour les usages sanitaires, la gestion des risques incendie ou encore l'arrosage des espaces verts.

Outre les huiles et lubrifiants nécessairement consommés lors de l'entretien des équipements présents sur les sites, des consommables spécifiques à la préparation des bains densimétriques tels que de la magnétite, du ferro-silicium, des sels, du carbonate de calcium…peuvent également être consommés.

La consommation de produits et réactifs éventuellement utilisés pour les opérations de lavage ainsi que pour les opérations de traitement des eaux de lavage mérite également d'être investiguée.

A notre connaissance, aucune donnée n'est publiquement disponible en ce qui concerne les quantités de consommables et utilités consommées lors de la séparation post-broyage.

6 Rejets et émissions

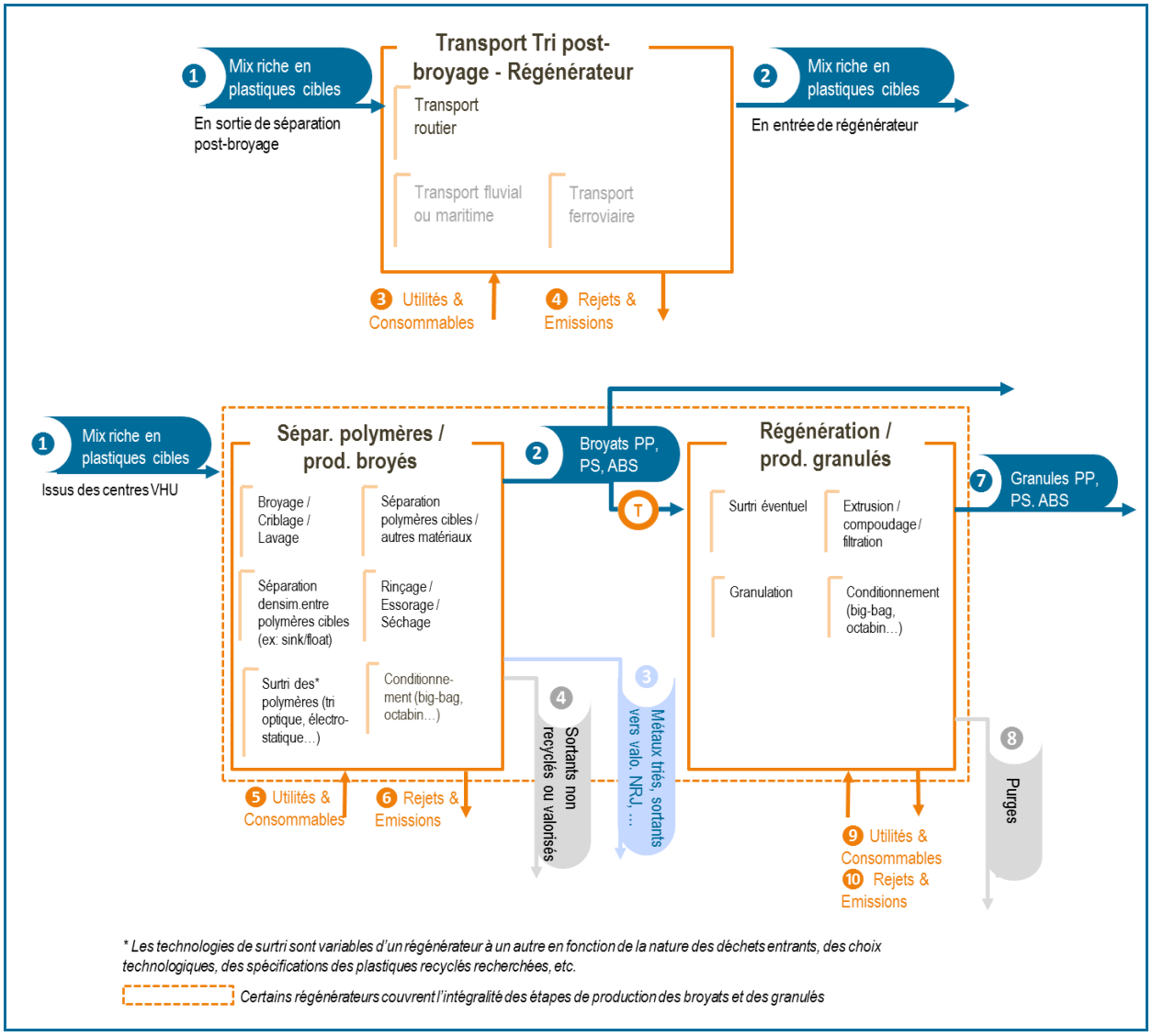
Du fait de leurs activités et de la nature des déchets qui sont traités sur les sites, les émissions et rejets suivants méritent d'être quantifiées pour les sites de séparation post-broyage :

- Emissions atmosphériques de poussières/particules, de métaux dont les métaux lourds ;
- Rejets de polluants (MES, hydrocarbures, DCO, métaux…) pouvant être présents dans les eaux de procédé (lavage, purges des bains…).
- Rejets de polluants (MES, hydrocarbures, DCO, métaux…) pouvant être présents dans les rejets d'eaux pluviales collectées sur site.
- Boues de débourbeur/déshuileur des eaux de ruissellement.
- Huiles usagées du procédé.

H.2.3.7 Traitement des mixes riches en plastiques cibles chez les régénérateurs de plastiques

Notre perception des points clefs ou d'attention en vue d'une évaluation environnementale	
Méthodologie	Comme pour l'étape précédente portant sur la séparation post-broyage des résidus de broyage contenant des métaux, des plastiques et divers autres matériaux, un **enjeu méthodologique d'allocation** entre les plastiques recyclés produits et les autres sortants peut se poser en ce qui concerne les utilités, les consommables, les émissions et les rejets des étapes mises en œuvre par les régénérateurs produisant des plastiques recyclés sous la forme de broyés et/ou granulés. Un autre point d'attention concerne la possible diversité des plastiques recyclés produits à partir de déchets plastiques de VHU par les régénérateurs en termes de formats, de niveau de pureté ou de coloris par exemple. Certains plastiques recyclés seront commercialisés sous la forme de broyés (certains broyés peuvent être directement utilisés dans des procédés de fabrication de pièces plastiques), d'autres sous la forme de granulés. Or, les besoins énergétiques sont sensiblement différents entre la production de broyés et la production de granulés. Par ailleurs, tous les plastiques broyés produits par un même régénérateur à partir d'un mix de plastiques issus de VHU ne passeront pas nécessairement par la même succession d'étapes de procédé en fonction des mélanges de polymères à séparer, des niveaux de pureté visés ou encore des types de coloris à obtenir. Là encore, les besoins énergétiques vont largement dépendre de cette succession d'étapes. Dès lors que les travaux à conduire porteront sur des profils distincts de plastiques recyclés et non sur un profil moyen (i.e. tous types de plastiques recyclés produits), il est donc recommandé d'identifier correctement cette succession d'étapes et les différences pouvant exister d'un type de recyclé à un autre. Les implications sur la collecte des données sont potentiellement fortes. Le cas échéant, des données par étape de process ou blocs de process devant être privilégiées à des données globalisées à l'échelle d'un site de régénération afin de rendre correctement compte de cette réalité.
Données à fiabiliser	Il existe peu ou pas de données d'activité ou de données rendant compte des impacts environnementaux, publiquement disponibles et portant spécifiquement sur la gestion des plastiques présents dans les VHU et orientés vers les résidus de broyage en sortie de broyeurs VHU ou sur la

	production de plastiques recyclés spécifiquement obtenus à partir plastiques présents dans les VHU.
Enjeu à creuser / données à établir	Diverses parties prenantes pourraient souhaiter disposer de données permettant d'établir les impacts et les bénéfices environnementaux associés à la gestion de plastiques des VHU gérés via les résidus de broyage. Cela pourrait notamment présenter un intérêt pour positionner ce bilan par rapport à celui obtenu lorsque les plastiques sont triés en amont du broyeur. Si cet intérêt est confirmé par les parties intéressées, une collecte de données pourrait éventuellement prendre appui sur le recueil de données d'ores et déjà réalisé dans le cadre de l'observatoire des VHU de l'ADEME. D'autres besoins pourraient concerner l'élaboration de profils environnementaux pour des plastiques recyclés (PP notamment) issus de VHU, notamment en lien avec l'évaluation de l'intérêt d'intégrer des plastiques recyclés dans la conception des produits (secteur automobile ou autres secteurs).



Transport depuis les opérateurs de séparation post-broyage jusqu'aux régénérateurs produisant des plastiques recyclés broyés et/ou des granulés

Selon les cas, cette étape de transport peut exister ou non. En effet, certains acteurs peuvent réaliser l'intégralité des étapes allant de la séparation des résidus de broyage issus des broyeurs VHU à la production de plastiques recyclés broyés et/ou granulés.

Si un transport doit être considéré, les données à recueillir sont les données usuellement collectées en ce qui concerne des étapes de transport (mode de transport, distance, en cas de transport routier : gabarit des véhicules, charge utile et charge réelle, taux de retour à vide). Pour plus de détail, le lecteur pourra se reporter aux autres étapes de transport de la chaine de recyclage des VHU précédemment décrites.

D'un mix riche plastiques cibles à des plastiques recyclés produits sous différentes formes (broyés, granulés répondant à diverses spécifications)

Le mix riche en plastiques cibles (généralement PP, PE, PS, ABS) est acheminé chez des régénérateurs en capacité de séparer les différents polymères présents.

Différentes techniques de séparation sont susceptibles d'être mises en œuvre par ces entreprises en fonction des plastiques et autres matériaux résiduels présents dans les flux entrants, des spécifications attendues des produits recyclés, des savoir-faire développés par chaque régénérateur.

Les séparations par bains densimétriques de type *sink-float* sont couramment utilisées pour extraire les impuretés et les plastiques « lourds résiduels » et pour séparer les plastiques par gammes de densité. Cependant, ces technologies ne sont pas toujours suffisantes pour séparer certains mélanges.

L'obtention de broyés présentant un haut niveau de pureté, ou encore de broyés triés par couleur, va le plus souvent nécessiter de mettre en œuvre des techniques additionnelles exploitant les différences de densité, de propriétés magnétiques ou encore électrostatiques des plastiques par exemple (tri électrostatique, tri optique, flottation par moussage, technologies brevetées et confidentielles, etc.).

Pour un même régénérateur, la chaine des étapes successives jusqu'à l'obtention de plastiques recyclés commercialisés auprès de plasturgistes ou de compounders pourra donc être différente d'un polymère à un autre, et pour une même famille de polymères lorsque différents formats et/ou qualités de recyclés seront produits.

Ces étapes de régénération peuvent être intégralement conduites par un seul et même opérateur, ou par des opérateurs successifs, ce qui impliquera d'identifier leurs localisations géographiques respectives et de prendre en compte les étapes de transport entre acteurs.

1 **Mix riche en plastiques cibles (dont PP et PE)**

Le mix riche en plastiques cibles obtenu par pos-séparation des résidus de broyage (broyeur VHU) constitue le flux entrant. On noter que ce flux peut encore contenir d'autres matériaux que des plastiques (métaux, bois, légers tels que des mousses et des textiles, etc.).

Les régénérateurs travaillent souvent avec différentes sources de déchets entrants, les plastiques issus de VHU étant l'une d'entre elles. Ils peuvent ainsi d'approvisionner en divers types de déchets post-consommateurs (ex : plastiques issus de DEEE, plastiques d'emballages, etc.) ou pré-consommateurs (ex : chutes de production, rebuts de fabrication).

Output correspondant aux plastiques triés et broyés et/ou aux granulés recyclés

2 **Production de broyés**

Les régénérateurs vont généralement mettre en œuvre des techniques telles que du broyage pour libérer les différents matériaux puis des techniques de séparation permettant d'extraire les matériaux non plastiques (ex : table vibrante, tri aéraulique, etc.) et de séparer les polymères par classe de densité (ex : tri densimétrique type *sink/float*).

Ces étapes peuvent ne pas être suffisantes pour séparer certains polymères de densité proches (par exemple, le PS, l'ABS et un PP faiblement chargé en talc peuvent avoir des densités très proches). Chez certains opérateurs, des étapes additionnelles de surtri ou encore de tri par couleur pourront être mises en œuvre.

Tous les plastiques broyés produits par un même régénérateur à partir d'un mix plastiques issus de VHU ne passeront pas nécessairement pas la même succession d'étapes de procédé. Dès

lors que les travaux à conduire porteront sur des profils distincts de plastiques recyclés et non sur un profil moyen (i.e. tous types de plastiques recyclés produits), il conviendra d'identifier correctement cette succession d'étapes et les différences pouvant exister d'un type de recyclé à un autre.

On notera que certains plastiques broyés peuvent être directement utilisés pour fabriquer des pièces plastiques, en particulier par extrusion.

7 **Production de granulés**

Selon le type de polymère, les applications recherchées pour les plastiques recyclés, les plastiques broyés pourront être transformés en granulés via des étapes additionnelles d'extrusion, éventuellement de compoundage (ex : ajout de colorants, d'additifs apportant des propriétés technique) et de granulation.

Une ligne d'extrusion est adaptée à un type de polymère (ex : PP, PS, ABS), chaque polymère ayant des caractéristiques propres en terme de densité, viscosité, températures de transition vitreuse et de fusion, etc.

3 **Outputs destinés au recyclage ou à une valorisation énergétique**

En cas de présence de matériaux autres que des plastiques dans les flux entrants, en particulier de métaux et de matériaux légers (mousses, bois, etc.), l'opérateur doit procéder à leur extraction.

Les matériaux ainsi séparés sont susceptibles de faire l'objet d'un recyclage, soit chez un opérateur intervenant directement en aval de son installation (recyclage des métaux ferreux en aciérie par exemple), soit après une nouvelle étape de préparation (séparation d'une fraction de métaux non ferreux en mélange par exemple).

Les étapes successives de séparation peuvent également conduire à écarter des plastiques non recyclables (polymères non cibles, plastiques cibles mais trop chargés, etc.). Lorsque cela est possible, les opérateurs cherchent à orienter ces fractions vers une valorisation énergétique via la préparation de CSR ou encore l'envoi en incinération avec valorisation énergétique.

Output déchets résultant de l'input non destinés au recyclage ou à une valorisation énergétique

4 Certaines fractions extraites lors des étapes successives de séparation peuvent également être orientées en enfouissement, voire en destruction thermique.

Cela peut par exemple concerner des fines de broyage, des poussières sèches captées ou des boues produites lors du captage des poussières, des boues de décantation ou de prétraitement des eaux de lavage, des matériaux présents dans les déchets entrants et extraits en cours de process mais ne pouvant pas être recyclés ou valorisés pour des raisons techniques, économiques, réglementaires.

Il s'agira donc d'identifier les fractions et matériaux pouvant être concernés et leur destination effective.

8 Le procédé d'extrusion conduit à la production de galettes de filtration en raison d'impuretés présentes dans le polymère fondu, par exemple en raison de traces d'autres polymères ayant un point de fusion plus élevé, de particules de peintures utilisées en revêtement de surface, etc. Ces déchets de filtration peuvent être ou non partiellement réintégrés dans le process (après broyage). La partie non réintégrée correspond à des déchets du procédé.

4 **Consommables et utilités**

9 Les différentes étapes de process (ex : broyage, lavage, flottation *sink-float,* séchage, divers procédés de surtri, extrusion, granulation, etc.) consomment de l'énergie pour le fonctionnement des équipements (électricité, gaz naturel, etc.). Les engins de manutention nécessaires au fonctionnement du site consomment également des carburants le plus souvent.

De l'eau est également consommée lors d'étapes tels que le lavage, les procédés de flottation, la production de granulés (eau servant à refroidir les plastiques en sortie d'extrusion). Ces besoins en eau peuvent être gérés en boucles fermées, avec des appoints d'eau.

Les étapes de tri densimétrique peuvent également nécessiter l'utilisation de consommables de nature diverses afin d'obtenir des valeurs de densité différentes de celle de l'eau.

5 Rejets et émissions

10 Divers types de déchets, rejets vers l'air ou rejets vers l'eau peuvent être générés lors des étapes de procédés précédemment décrites. Ceux-ci devront donc être quantifiés. Il peut notamment s'agir de :

- Poussières sèches captées ou boues produites lors du captage des poussières par voir humide ;
- Boues de décantation ou prétraitement des eaux de lavage ;
- Condensats générés lors du dégazage effectué lors de l'extrusion des plastiques (ceux-ci permettent de « capter » les composés organiques libérés)
- Emissions atmosphériques de poussières et particules (notamment de plastiques) ainsi que de composés organiques volatils (COV) lors de l'extrusion ;
- Rejets de polluants (MES, hydrocarbures, DCO, métaux, particules de plastiques…) pouvant être présents dans les eaux de procédé (lavage, purges des bains…) ou les eaux pluviales collectées sur site ;
- Divers déchets liés au fonctionnement des installations : huiles usagées, filtres usagés, boues de débourbeur/déshuileur des eaux de ruissellement, déchets banals divers, etc.

Ces quantifications peuvent s'avérer délicates à établir, notamment en ce qui concerne les émissions vers l'air ou vers l'eau (COV et particules de plastiques par exemple). Les arrêtés d'exploitation n'imposent pas nécessairement une surveillance réglementaire de toutes les émissions.

H.3 ANALYSE SECTORIELLE : RECYCLAGE DES PLASTIQUES DE LA FILIERE DEEE

H.3.1 INTRODUCTION SUR LA FILIERE

H.3.1.1 Cadre réglementaire

Depuis 2003, la gestion en fin de vie des équipements électriques et électroniques est encadrée par une législation européenne portant sur la collecte séparée des DEEE et leur recyclage, une refonte de cette réglementation ayant conduit à l'adoption de la Directive 2012/19/UE dite DEEE II qui vient réviser la directive initiale 2002/96/CE ; la directive DEEE II a été transposée en droit français par le décret 2014-928.

Cette réglementation prévoit la création de systèmes de collecte où les consommateurs ramènent gratuitement leurs déchets d'équipement usagés, l'objectif de ces systèmes étant :

- De privilégier les systèmes garantissant une bonne extraction des polluants et leur gestion dans le cadre des filières adéquates ;
- D'augmenter le recyclage et/ou la réutilisation des équipements électriques et électroniques.

En effet, les déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) sont actuellement considérés comme l'un des flux de déchets qui connaît la croissance la plus rapide dans l'UE. Ces déchets contiennent différentes substances qui nécessitent d'être extraites et gérées de manière adéquate afin de prévenir des risques environnementaux et sanitaires ; ils constituent par ailleurs un gisement important en vue de la production de matières premières secondaires : métaux, plastiques, métaux précieux, verre…et/ou de combustibles solides de récupération.

La réglementation précise également la distinction entre EEE ménager et professionnel et, depuis août 2018, classe les DEEE en 7 catégories dont deux sont dites « ouvertes » puisqu'elles permettent d'intégrer les EEE qui n'entreraient pas dans les catégories plus spécifiques :

- Catégorie 1) Equipement d'échange thermique
- Catégorie 2) Ecrans, moniteurs et équipements (écrans d'une surface supérieure à 100 cm²)
- Catégorie 3) Lampes
- Catégorie 4) Gros équipements (catégorie « ouverte »)
- Catégorie 5) Petits équipements (catégorie « ouverte »)
- Catégorie 6) Petits équipements informatiques et de télécommunications
- Catégorie 7) Panneaux photovoltaïques

En termes de performances à atteindre, la réglementation sur les DEEE fixe :

- Des objectifs de taux de collecte.
- Des objectifs de taux de réutilisation et de recyclage des matériaux et des substances constitutives des DEEE ; ceux-ci varient en fonction des catégories de DEEE, sans distinction entre types de matériaux.
- Des objectifs de taux de valorisation des composants, des matériaux et des substances constitutives des DEEE (avec prise en compte de la valorisation énergétique en plus de la réutilisation et du recyclage) ; ceux-ci varient en fonction des catégories de DEEE, sans distinction entre types de matériaux.

En ce qui concerne le taux de collecte, la Directive DEEE II fixe les objectifs suivants :

- Objectif à partir de 2016 : 45 % en masse des équipements vendus au cours des trois années précédentes ;
- Objectif à partir de 2019 : 65 % en masse des équipements vendus au cours des trois années précédentes ou 85 % en masse des déchets produits.

A partir du 1er janvier 2019, les taux de réutilisation et de recyclage minimum à atteindre vont de 55% (catégorie 5), à 70% (ex : catégorie 6) et même 80% (ex : catégories 1 et 4).

Quant aux taux de valorisation minimum à atteindre à partir du 1er janvier 2019, ils varient de 75% (catégorie 5), à 80% (ex : catégorie 6) et même 85% (ex : catégories 1 et 4).

H.3.1.2 Organisation opérationnelle

Au niveau français, une filière de gestion spécifique des DEEE, fondée sur le principe de responsabilité élargie des producteurs de ces équipements, est opérationnelle depuis le 22 juillet 2005 pour les DEEE professionnels et depuis le 15 novembre 2006 pour les DEEE ménagers.

Pour la période allant du 1er janvier 2015 au 31 décembre 2020, trois éco-organismes opérationnels sont agréés pour la collecte et le traitement des DEEE ménagers : Ecosystem, Ecologic et PV cycle (éco-organisme spécifique aux panneaux photovoltaïques).

Sur le terrain, ces éco-organismes organisent la collecte et le traitement par flux physiques de DEEE :

- Le GEM Froid
- Le GEM Hors froid
- Le PAM (petits appareils ménagers)
- Les écrans plats
- Les écrans CRT
- Les tubes et les lampes
- Les panneaux photovoltaïques

Cette organisation permet que chacun de ces flux de DEEE soit collecté et dépollué par le biais de procédés spécifiquement adaptés en fonction des polluants qu'il contient et des caractéristiques des équipements. Par exemple, la dépollution et le traitement des réfrigérateurs sur des unités dédiées réalisant la récupération des fluides contenus dans le circuit frigorigène et le captage des gaz d'expansion des mousses isolantes par broyage en enceinte confinée.

Elle permet également que chaque flux de DEEE collecté soit traité avec des procédés adaptés pour optimiser la séparation des matières qu'il contient et leur valorisation. Par exemple, pour les petits appareils ménagers, la mise en place de désintégrateurs permettant d'éclater les appareils afin de réaliser une première séparation avant le broyage, optimisant la valorisation des fractions minérales et plastiques.

Un autre point essentiel apporté par une gestion via la filière agréée porte sur le contrôle des performances de dépollution, recyclage et valorisation, celui-ci étant réalisé au travers d'un processus de contrôle rigoureux conforme aux standards WEEE-LABEX et/ou CENELEC :

- Les flux de DEEE sont tracés depuis leur collecte jusqu'aux centres de dépollution et traitement. Les filières de reprise des fractions sortantes font également l'objet d'une traçabilité et d'un contrôle par les éco-organismes ;
- Des audits indépendants et des contrôles internes sont réalisés pour évaluer les performances des procédés sur l'ensemble des sites de traitement ;
- Le contrôle de la dépollution est réalisé par des tests de performances, caractérisations et analyses de concentration en polluants de fractions dont les résultats sont confrontés avec des valeurs-cibles établies sur la base des meilleures techniques disponibles et d'échantillonnages détaillés.

Dans le cas de la présente étude, nous nous intéresserons plus spécifiquement au GEM F, GEM HF et au PAM.

H.3.1.3 Plastiques présents dans les DEEE

Les équipements électriques et électroniques peuvent contenir des plastiques en plus ou moins grandes proportions, la diversité des polymères rencontrés étant variable d'un flux de DEEE à un autre. D'ailleurs, la tendance observée ces dernières années sur le terrain par les acteurs de la filière est à l'augmentation de la proportion de plastiques présents dans les DEEE au détriment des métaux.

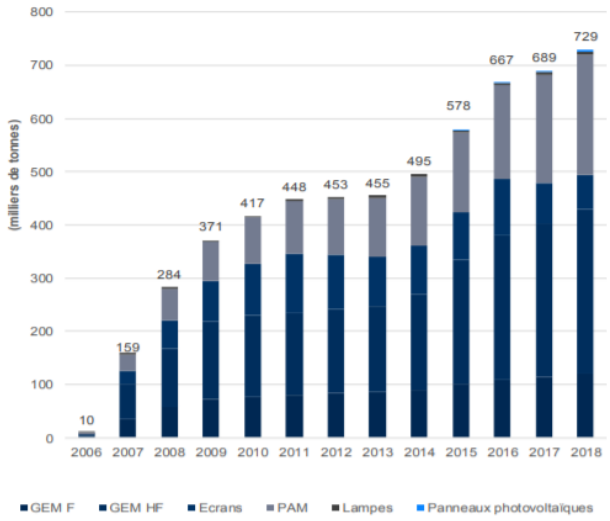
Quelques points de repère quant aux polymères les plus fréquemment rencontrés dans le GEM F, le GEM HF et le PAM sont fournis dans les sections suivantes.

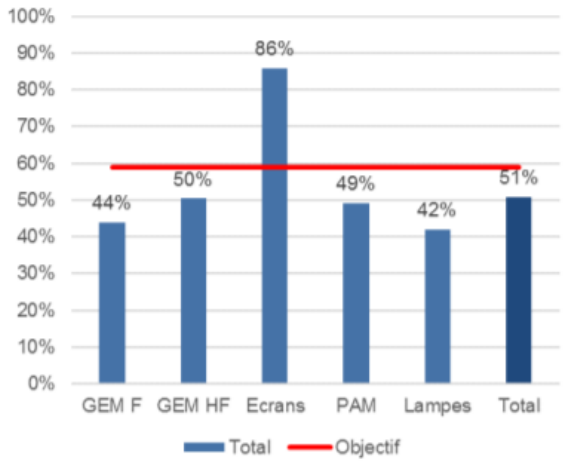
Deux autres points d'attention méritent par ailleurs d'être soulignés :

- Dans le cas du PAM, certains équipements arrivant en fin de vie à l'heure actuelle sont susceptibles de contenir des plastiques contenant des retardateurs de flamme, et en particulier des retardateurs de flamme bromés (RFB) ; afin de répondre aux obligations réglementaires, une gestion spécifique a été mise en place dans la filière agréée afin de séparer les plastiques avec et sans retardateurs de flamme bromés, ces derniers ne pouvant pas être recyclés.
- Certains plastiques utilisés dans la conception d'équipements électriques et électroniques peuvent contenir des proportions notables de charges, notamment minérales. L'utilisation de tels additifs conduit à modifier la densité des plastiques, ce qui peut conduire à les écarter du recyclage compte tenu des procédés de séparation mis en œuvre chez les régénérateurs recevant des mélanges de plastiques issus de DEEE.

H.3.1.4 Quelques chiffrés clés

Concernant les performances atteintes au niveau Français, les derniers chiffres publiés par l'Ademe via le « Rapport Annuel du registre des déchets d'équipements électriques et électroniques » portent sur l'année 2018 : 729 000 tonnes de DEEE ménagers ont été collectées et gérées dans le cadre de la filière, soit **un taux de collecte global de 51 %** environ par rapport à la moyenne des équipements mis sur le marché au cours des trois années précédentes.





Quantites collectees (en tonnes)	GEM F	GEM HF	Ecrans	PAM	Lampes	PV	Total
2006	2 603	2 731	523	4 503	6	-	**10 365**
2007	33 795	66 962	24 050	31 550	2 706	-	**159 063**
2008	56 665	110 204	52 716	60 486	3 849	-	**283 920**
2009	73 181	145 792	75 987	72 943	3 489	-	**371 392**
2010	76 755	153 336	96 833	86 398	3 654	-	**416 976**
2011	80 497	152 993	112 455	97 873	4 042	-	**447 861**
2012	82 762	159 195	102 757	103 757	4 261	-	**452 732**
2013	84 917	162 915	92 714	110 077	4 591	-	**455 214**
2014	90 034	179 856	90 358	130 280	4 779	-	**495 307**
2015	100 042	234 327	88 992	149 436	4 764	366	**577 927**
2016	108 405	271 662	106 086	175 918	4 894	295	**667 261**
2017	114 345	289 243	74 821	203 525	4 939	2 450	**689 323**
2018	120 613	309 586	64 126	226 035	4 868	3 341	**728 569**

Les données plus détaillées par flux de DEEE montrent que le taux de collecte varie d'un flux à un autre, le taux atteint en 2018 étant de 44% pour le GEM F contre 49% pour le PAM et 50% pour le GEM HF.

Le « Rapport Annuel du registre des déchets d'équipements électriques et électroniques » apporte également des informations sur les taux de réutilisation et de recyclage d'une part et les taux de valorisation d'autre part par catégorie de DEEE, il s'agit toutefois de taux « tous types de matériaux et substances confondus » établis afin de mesurer l'atteinte ou non des objectifs réglementaires.

En revanche, ces taux ne nous renseignent pas sur le taux de recyclage atteint dans le cadre de la filière agréée aux bornes des plastiques (ou de chaque type de polymère) présents dans chaque flux de DEEE.

H.3.2 FOCUS MATERIAL FLUX ANALYSIS (MFA) SUR LA GESTION EN FIN DE VIE A L'ECHELLE DE LA FRANCE DE QUELQUES PLASTIQUES CONSTITUTIFS DES DEEE

Les figures présentées dans cette section représentent la gestion de quelques cas particuliers de pièces plastiques constitutives des DEEE à l'échelle de la France. Ils visent à distinguer le **flux principalement suivi** et les **flux secondaires**, ceux-ci pouvant être d'importance plus ou moins marquée.

Les représentations proposées restent ici qualitatives. Dans l'objectif d'une évaluation environnementale, ces représentations devront être quantifiées. Elles sont en effet incontournables pour les raisons suivantes :

- Elles permettent d'identifier les étapes qui seront à prendre en compte dans le périmètre d'évaluation et les tonnages auxquels s'appliquent ces étapes ;
- Elles permettent éventuellement d'identifier les étapes qui pourraient faire l'objet d'approximation ou qui pourraient être négligées (tonnages minimes par exemple) ;
- Elles permettent enfin de déterminer l'ensemble des flux susceptibles de correspondre à des pertes de matière.

Les représentations proposées s'appliquent à la gestion en fin de vie d'une catégorie de DEEE donnée à l'échelle de la France pour la période actuelle. Pour un même type de pièce plastique (ex : même polymère, mêmes charges), elles pourraient être différentes :

- Dans le cas d'une autre catégorie de DEEE ;
- Dans un autre pays ;
- En France à une autre période, par exemple dans 10 ans.

Trois cas particuliers de pièces plastiques ont été sélectionnés pour illustrer cet aspect des travaux :

- Le cas d'une pièce PS intégrée à un GEM F ;
- Le cas d'une pièce PP intégrée à un GEM HF ;
- Le cas d'une pièce PP chargée en talc intégrée à un PAM.

H.3.2.1 Cas d'une pièce PS d'un GEM F

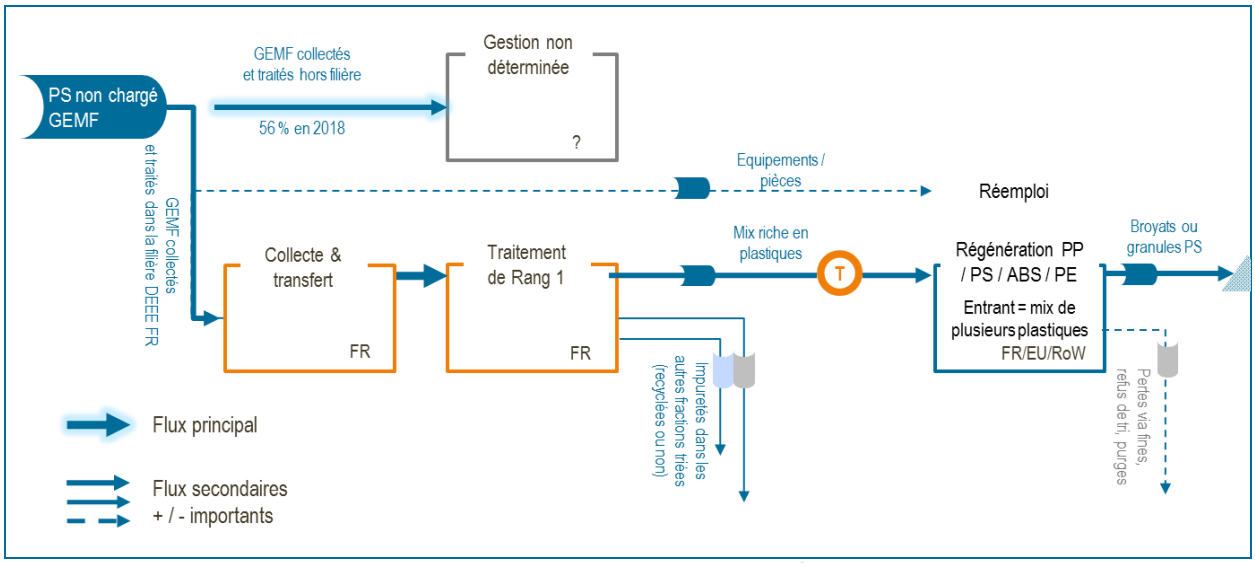


FIGURE 20 : FOCUS MFA SUR UNE PIECE PS D'UN GEM F

Dans le cas des pièces en PS non chargé ou faiblement chargé entrant dans la constitution des GEM F, le flux entrant en régénération est un mix riche en plastiques cibles (ABS et PS) qui a directement été produit par les opérateurs de traitement de rang 1 des GEM F.

Les pertes de plastiques PS tout au long de la chaîne visant à passer des GEM F mis au rebut par les habitants au PS recyclé sont les suivantes :

- GEM F qui ne sont pas collectés et traités dans le cadre de la filière DEEE : il s'agit du poste de perte le plus important. La visibilité sur le devenir des DEEE collectés et traités hors filière est limitée ; il est toutefois plausible de supposer que, si les métaux (ou composants contenant des métaux précieux) font bien l'objet – au moins pour partie – d'une extraction pour recyclage en cas de traitement « hors filière » du fait de leur valeur économique, il est peu probable que cela soit le cas pour les autres matériaux dont les plastiques.
- Fragments de PS qui sortent sous forme d'impuretés dans les fractions autres que les fractions riches en plastiques qui sont produites par les opérateurs de traitement de rang 1 des GEM F (ex : fraction mousse polyuréthane, fraction métaux ferreux).
- PS éventuellement perdu à différentes étapes de la régénération (tri densimétrique, surtri, purges d'extrusion…). Il s'agit ici du poste de pertes le moins important des trois postes.

H.3.2.2 Cas d'une pièce PP d'un GEM F

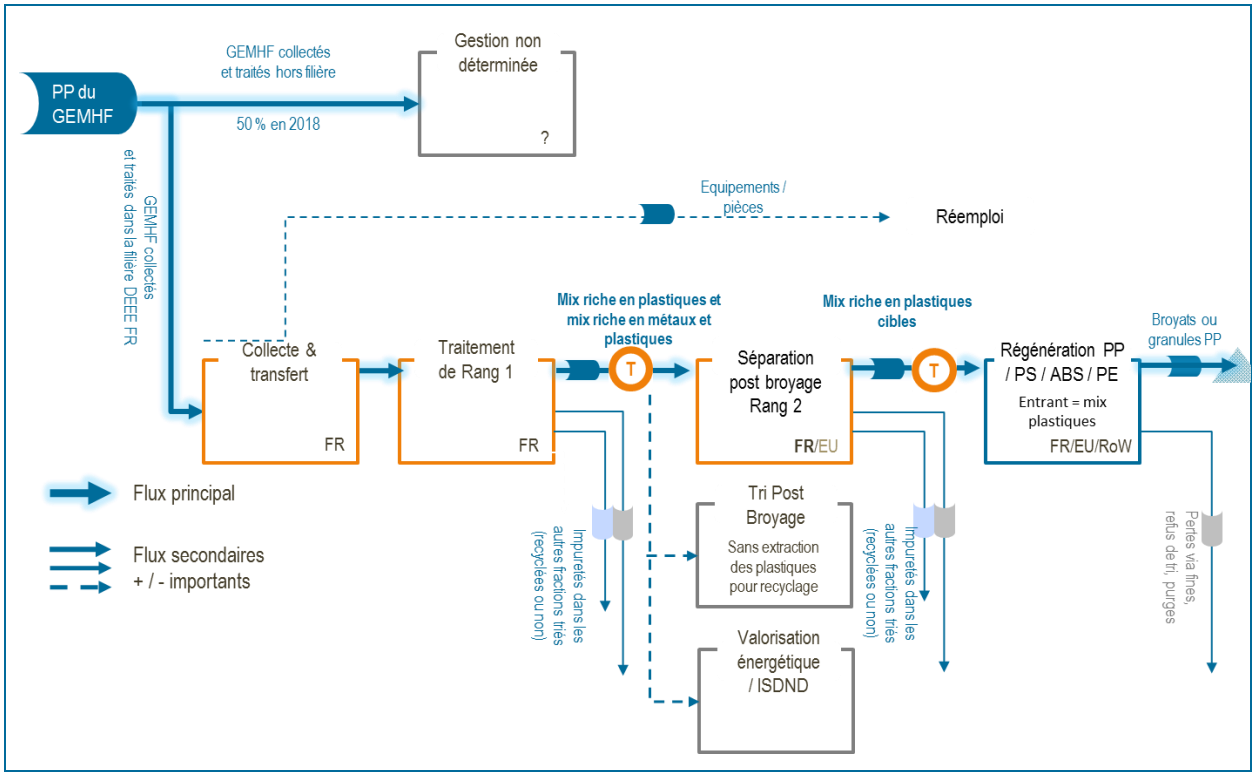


FIGURE 21 : FOCUS MFA SUR UNE PIECE PP D'UN GEM HF

Dans le cas des pièces PP (non chargé ou faiblement chargé) entrant dans la constitution des GEM HF, le flux entrant en régénération est un mix riche en plastiques cibles (PP notamment) qui a été produit par les opérateurs de séparation post-broyage (rang 2) qui traitent des mélanges riches en métaux et en plastiques.

Les pertes de plastiques PP tout au long de la chaîne visant à passer des GEM HF mis au rebut par les habitants au PP recyclé sont les suivantes :

- GEM HF qui ne sont pas collectés et traités dans le cadre de la filière DEEE : il s'agit du poste de perte le plus important. La visibilité sur le devenir des DEEE collectés et traités hors filière est limité ; il est toutefois plausible de supposer que, si les métaux (ou composants contenant des métaux précieux) font bien l'objet – au moins pour partie – d'une extraction pour recyclage lors d'une gestion « hors filière » du fait de leur valeur économique, il est peu probable que cela soit le cas pour les autres matériaux dont les plastiques.
- Fragments de PP présents dans les fractions autres que les fractions riches en métaux et plastiques qui sont produites par les opérateurs de traitement de rang 1 des GEM HF (ex : fluff et résidus de broyage non orientés vers un recyclage matière)

- Fragments de PP présents dans des fractions riches en plastiques qui ne font pas l'objet d'une valorisation ultérieure ou qui font l'objet d'une séparation post-broyage au cours de laquelle seuls les métaux sont récupérés (cas marginal pour les GEM HF).
- En rang 2, fragments de PP qui sortent sous forme d'impuretés dans les fractions autres que la fraction riche en plastiques cibles qui est produite par les opérateurs en charge de la séparation post-broyage (ex : plastiques présents dans les fractions métalliques triées).
- PP éventuellement perdu à différentes étapes de la régénération (ex : séparation par résine via tri densimétrique, surtri, purges d'extrusion…).

H.3.2.3 Cas d'une pièce PP chargée en talc d'un PAM

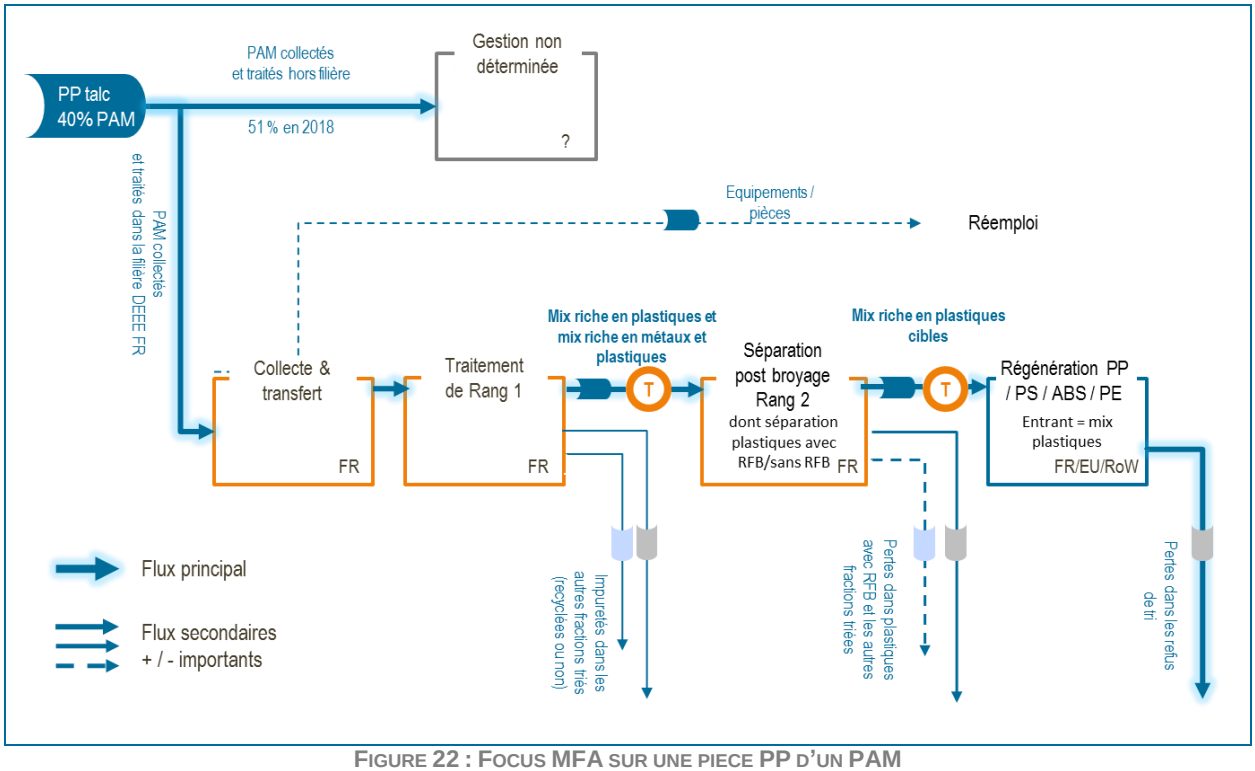


FIGURE 22 : FOCUS MFA SUR UNE PIECE PP D'UN PAM

Dans le cas des pièces en PP fortement chargé en talc entrant dans la constitution des PAM, le flux entrant en régénération est un mix riche en plastiques cibles (PP, ABS, PS) qui a été produit par les opérateurs de séparation de post-broyage (rang 2) qui traitent des mixes riches en métaux et en plastiques. Dans le cas des PAM, les opérateurs de séparation post-broyage qui traitent ces mixes doivent également procéder à une séparation entre les plastiques avec RFB (retardateurs de flamme bromés soumis à restrictions) et les plastiques sans RFB.

Les pertes de plastiques PP tout au long de la chaîne visant à passer des PAM mis au rebut par les habitants au PP recyclé sont les suivantes :

- PAM qui ne sont pas collectés et traités dans le cadre de la filière DEEE : il s'agit du poste de perte le plus important. La visibilité sur le devenir des DEEE collectés et traités hors filière est extrêmement faible ; il est toutefois plausible de supposer que, si les métaux (ou composants contenant des métaux précieux) font bien l'objet d'une extraction pour recyclage lors d'une gestion « hors filière » du fait de leur valeur économique, il est peu probable que cela soit le cas pour les autres matériaux dont les plastiques.
- Fragments de PP qui sortent sous forme d'impuretés dans les fractions autres que les fractions riches en métaux et plastiques qui sont produites par les opérateurs de traitement de rang 1 des PAM (ex : fractions métaux ferreux, résidus de broyage)
- En rang 2 lors de la séparation post-broyage des fractions riches en métaux et plastiques, des fragments de PP sans RFB peuvent être orientés dans la fraction des plastiques avec RFB qui est produite par ces opérateurs. En fonction des techniques de séparation des plastiques avec et sans RFB qui sont mises en œuvre par les opérateurs (densimétrie, rayons X ou tri optique) et en

fonction de la proportion de talc dans le PP, ces pertes pourront être plus ou moins importantes. Au niveau de ces mêmes opérateurs de séparation post-broyage, des fragments de PP peuvent également sortir dans les autres fractions (ex : impuretés dans les fractions métalliques, fragments de faibles dimensions dans les fines).

- Sauf pour des niveaux de charge en talc limités (< 20 %), le PP talc qui entre en régénération sera intégralement (ou quasi intégralement) orienté vers les refus du tri qui est opéré par les régénérateurs de PP (PS, ABS) qui traitent des mixes riches en plastiques, ceci en raison de la forte modification de densité résultant de teneurs élevées en talc. En d'autres termes, le PP talc initialement présent dans des pièces constitutives de PAM ne sera pas recyclé (ou de manière marginale sous forme d'impuretés passant avec le PP non chargé).

H.3.3 DETAILS DE LA GESTION PAR ETAPE

Cette section détaille les différentes étapes de la gestion des DEEE ménagers depuis l'étape de collecte des équipements jusqu'à la régénération de certains des plastiques présents dans ces équipements.

Chacune des étapes est abordée selon une même structure :

- Un récapitulatif des points clefs ou d'attention en vue d'une évaluation environnementale
- Une figure mettant en lumière la qualité du(des) flux entrant(s), la qualité du(des) flux sortant ainsi que les utilités, consommables, rejets et émissions ; de même, cette figure fait apparaître, de manière schématique, des sous-étapes possibles au sein de l'étape.
- Une explication générale de ce en quoi consiste l'étape ;
- Des informations plus détaillées sur :
  - Le(s) flux entrant(s) ;
  - Le(s) flux sortant(s) ;
  - Les utilités et consommables ;
  - Les rejets et les émissions.

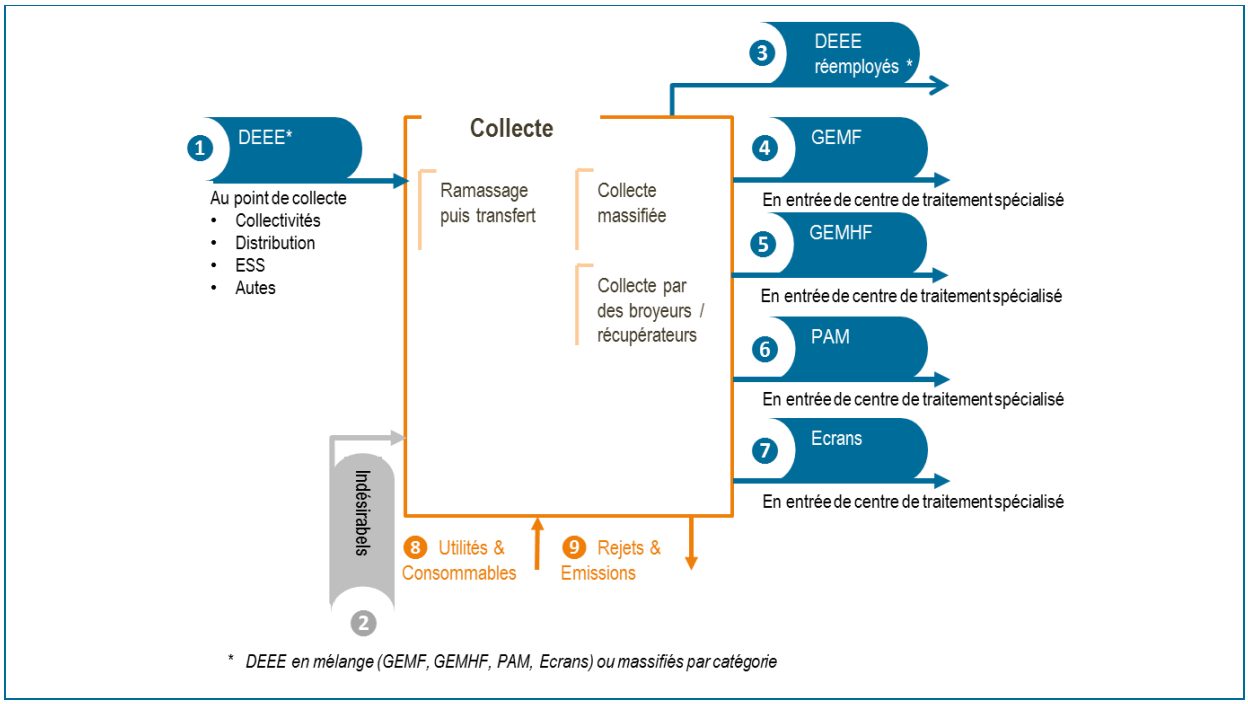
Des informations ou données potentiellement utiles dans le cadre d'une évaluation environnementale sont présentées au fil de l'eau. Elles sont identifiées par la **police suivante**.

La section dédiée à une étape donnée se conclut par une présentation de la bibliographie potentiellement utile.

H.3.3.1 Collecte

Notre perception des points clefs ou d'attention en vue d'une évaluation environnementale	
Méthodologie	Les DEEE ménagers sont des équipements de composition complexe, avec de multiples matériaux susceptibles de rentrer dans leur composition, qu'il s'agisse de métaux (ferreux et non ferreux), de plastiques (PS, PP, ABS, PC, ABS/PC, POM, nylon, PUR…), d'inertes (béton, verre, laine de verre…), de bois ainsi que des composants complexes riches en métaux précieux ou semi-précieux (cartes électroniques par exemple). Les résines ciblées en vue d'un recyclage ultérieur (PS, PP, ABS, ABS/PC notamment) ne constituent qu'une partie de la composition des DEEE ménagers. Par ailleurs au stade de la collecte, les DEEE ménagers sont majoritairement collectés en multi-flux depuis les points d'enlèvement (ex : déchetteries, distributeurs…) avant d'être triés en grandes catégories de DEEE (PAM, écrans, GEM HF…) au niveau des centres de regroupement. Dans le cadre d'une évaluation environnementale portant sur une résine donnée (par exemple le PS) issue d'une catégorie de DEEE ménager donnée (par exemple GEM F) des enjeux d'allocation sont à considérer : – Entre la catégorie de DEEE ciblée et les autres catégories de DEEE pour la sous-étape de ramassage multi-flux ; – Entre la résine ciblée et tous les autres matériaux aux différentes sous-étapes de la collecte.

	Concernant la résolution de ces enjeux d'allocation, nous recommandons de procéder à une allocation massique ; aucun élément d'information ou donnée portée à notre connaissance au cours des travaux réalisés pour ecosystem ne conduisant à remettre en question la pertinence de ce choix.
Données à collecter / données à fiabiliser	Les données nécessaires à la modélisation des impacts environnementaux de l'étape de collecte des DEEE peuvent être produites à partir d'une exploitation des données détaillées de suivi logistique des éco-organismes de la filière ; elles ne sont en revanche pas diffuser de manière publique.
Enjeu à creuser / données à établir	-



La collecte des DEEE ménagers se répartit en trois grands types de logistique :

a) **Ramassage puis transport massifié entre les centres de regroupement et les centres de traitement** : cette logistique en deux étapes consiste tout d'abord dans une collecte non massifiée multi-flux puis dans une étape de transport massifiée mono-flux (ex : PAM) : la collecte non massifiée permet de collecter les DEEE en mélange auprès des points de collecte ouverts aux ménages puis de les acheminer jusqu'à des centres de regroupement ; les DEEE collectés en mélange sont alors triés par catégorie dans ces centres avant d'être acheminés vers les centres de traitement dédiés.

b) **Collecte/transport massifiés directs entre les points d'enlèvements et les centres de traitement** : dans certains cas, les flux de DEEE peuvent être triés par catégorie et massifiés dès les points de collecte ouverts aux ménages ; ils sont alors acheminés directement vers les centres de traitement dédiés sans passer par des centres de regroupement.

c) **Collecte par des opérateurs de traitement** : depuis quelques années, une partie des DEEE ménagers traités dans le cadre de la filière DEEE est issue d'une collecte qui est directement effectuée par des broyeurs (opérateurs de traitement du GEM HF) et par des récupérateurs. Ce gisement peut par exemple initialement provenir d'artisans ayant procédé au démontage et au remplacement d'équipements auprès des ménages.

De manière générale, la logistique en deux étapes avec ramassage puis transport massifié après passage en centres de regroupement constitue la logistique dominante dans la collecte des DEEE ménagers.

1 Input DEEE

La majorité des DEEE ménagers collectés par la filière proviennent de trois catégories de points de collecte mis à disposition des ménages :

- Par les collectivités (déchetteries) ;
- Par la distribution ;
- Par l'Economie Sociale et Solidaire (ESS).

Ces points de collecte sont nombreux sur le territoire. A titre d'exemple, ecosystem revendique un réseau de 12 000 points de collecte pour un tonnage de DEEE ménagers collecté de l'ordre de 530 kt en 2017.

Une partie des DEEE est également collectée directement par des broyeurs et des récupérateurs (point de collecte « Autres » sur le schéma). Dans le dernier rapport annuel du registre des déchets d'équipements électriques et électroniques, l'ADEME souligne que cette collecte directe par des broyeurs ou des récupérateurs est en augmentation ; elle représenterait 22 % des tonnages collectés en 2018 **[1, p. 92]**.

Les DEEE ménagers sont, dans la majorité des cas, collectés en mélange : les PAM, les GEM F, les GEM HF et les Ecrans se retrouvent ainsi au sein d'un même chargement qui est acheminé depuis les points de collecte vers les centres de regroupement. Lorsque des massifications par catégorie d'équipements sont possibles dès le point de collecte, ils sont collectés de manière séparée et directement acheminés vers les sites de traitement spécifiques.

Il est enfin à noter qu'une partie des DEEE correspondant aux points de collecte ESS peut faire l'objet d'un réemploi, soit que l'équipement est intégralement réemployé, soit que des pièces sont extraites pour être réemployées.

2 Indésirables

Des indésirables correspondants aux erreurs de tri des habitants peuvent également être collectés avec les DEEE ménagers : il peut s'agir d'éléments d'emballages, d'équipements qui ne sont pas des DEEE (tondeuse thermique à gazon, piles) ou de produits/déchets ayant été laissés à l'intérieur des DEEE (papier d'une imprimante, contenu d'un réfrigérateur, sac de récupération des poussières d'un aspirateur…). Le taux d'indésirables collectés avec les DEEE ménagers reste relativement minime (par exemple, en comparaison avec les taux de refus que l'on peut avoir dans le cas de la collecte des emballages ménagers).

3 Outputs

4 5 6 7 Une partie des DEEE collectés par l'ESS peut faire l'objet d'une préparation au réemploi ou l'objet d'une récupération de pièces en vue de leur réemploi. Dans le dernier rapport annuel du registre des déchets d'équipements électriques et électroniques, l'ADEME indique que la préparation d'équipements au réemploi et le réemploi de pièces représente respectivement de l'ordre de 1 % et moins de 1 % du tonnage total de DEEE collectés dans la filière **[1, p. 63]**.

A l'issue de la collecte, pour les DEEE ménagers qui ne font pas l'objet de réemploi, les DEEE ont été séparés par catégorie et acheminés en entrée des centres de traitement spécifiquement dédiés à chacune de ces catégories.

Dans le cas d'ecosystem, on dénombre par exemple :

- GEM F : 11 sites de traitement dédiés au GEM F sur la France, pour un tonnage de 98 kt en 2018 (121 kt pour l'ensemble de la filière)
- GEM HF : 19 sites de traitement dédiés au GEM HF sur la France pour un tonnage de 270 kt en 2018 (310 kt pour l'ensemble de la filière)
- PAM : 18 sites de traitement dédiés au PAM sur la France pour un tonnage de 156 kt en 2018 (226 kt pour l'ensemble de la filière)
- Ecrans : les écrans sont séparés en deux sous-catégories, les écrans plats d'une part avec 8 sites de traitement dédiés et les écrans à tube cathodique (écrans CRT) d'autre part avec 17 sites de traitement dédiés pour un tonnage total d'écrans de près de 47 kt en 2018 (64 kt pour l'ensemble de la filière).

5 Consommables et utilités

Dans les points de collecte, les GEM F et les GEM HF qui sont apportés par les ménages sont généralement directement déposés au sol ; dans le cas des PAM et des écrans, ils sont plutôt déposés dans des box palettes métalliques réutilisables, une partie marginale des PAM pouvant quant à elle être déposée dans des bornes.

La question de la prise en compte ou non des box palettes métalliques dans le cadre d'une évaluation environnementale de la collecte des PAM (ou des Ecrans) doit être considérée au regard de deux types d'enjeux :

1) Un enjeu lié aux impacts environnementaux de production et de gestion en fin de vie des box palettes ;
2) Un enjeu lié aux impacts environnementaux de la masse de box palettes transportée lors de la collecte d'une masse donnée de PAM (différence entre le poids brut et le poids net).

Le premier enjeu nécessite de connaître la masse des box palettes utilisées, la masse de PAM (Ecrans) qu'une box palette transporte et le nombre de rotations effectué sur leur durée de vie (afin de pouvoir ramener les impacts de production et de fin de vie des box palettes au service rendu, c'est-à-dire une quantité de PAM (écrans) transportée sur leur durée de vie).

Le second enjeu est plus simple à couvrir et nécessite seulement de connaître la masse des box palettes utilisées et la masse de PAM (Ecrans) qu'une box palette transporte.

Les box palettes utilisées dans la collecte du PAM et des écrans sont majoritairement constituées d'acier. En consultant la documentation technique associée à différents types de box palettes métalliques proposés par des fournisseurs d'emballages, on observe une masse allant de l'ordre de 40 kg à 80 kg environ pour des dimensions de l'ordre de 120 x 80 x 100[34].

La masse de PAM (Ecrans) transportée en moyenne dans une box palette est une donnée connue par les éco-organismes de la filière DEEE mais elle n'est pas diffusée publiquement.

La collecte des DEEE ménagers fait ensuite intervenir des camions de différents types et gabarits (petits porteurs, porteurs à hayon de différents gabarits, bennes solo de 30 m3, bennes duo de 2 x 30 m3, semi-tautliners…), ceux-ci étant optimisés en fonction de l'étape de collecte (ramassage, transfert ou collecte massifiée) et des quantités à collecter.

Le taux de charge des camions et les distances parcourues lors des étapes de ramassage, lors des étapes de transfert ainsi que lors de la collecte massifiée constituent des données accessibles aux éco-organismes de la filière DEEE ; ces données peuvent être produites à partir de la consolidation des données détaillées de suivi logistique. En revanche, ces données ne sont pas diffusées publiquement.

Concernant la prise en compte des taux de trajet à vide, et en l'absence de données spécifiques sur ce sujet, nous recommandons a minima de prendre en compte les valeurs moyennes nationales afin de ne pas négliger cet aspect. D'après la dernière enquête TRM, le taux de trajet à vide pour le transport national de marchandises (dont déchets) est de 18,4 % du trafic en t.km **[2, p. 1]**

6 Rejets et émissions

Les rejets et les émissions associés à la collecte des DEEE ménagers sont liés à la consommation de carburant par les camions (et autres émissions potentiellement associées à leur fonctionnement telles que les émissions de particules par usure des pneumatiques et des plaquettes de frein).

	Références
[1]	ADEME. Erwann FANGEAT, Deloitte Développement Durable, Alice DEPROUW, Marion JOVER, Sarah CHOUVENC, Alexandra PENSEC. 2019. Rapport Annuel du registre des déchets d'équipements électriques et électroniques. 112 p.

[34] Les différences de masses observées dans les box palettes métalliques semblent corrélées à une résistance mécanique différente, notamment vis-à-vis d'un écrasement statique

[2] COMMISSARIAT GENERAL AU DEVELOPPEMENT DURABLE. Les transports routiers de marchandises sous pavillon français en 2018. Data Lab. Juin 2019. 4. p.

H.3.3.2 Traitement des DEEE ménagers par les opérateurs de rang 1

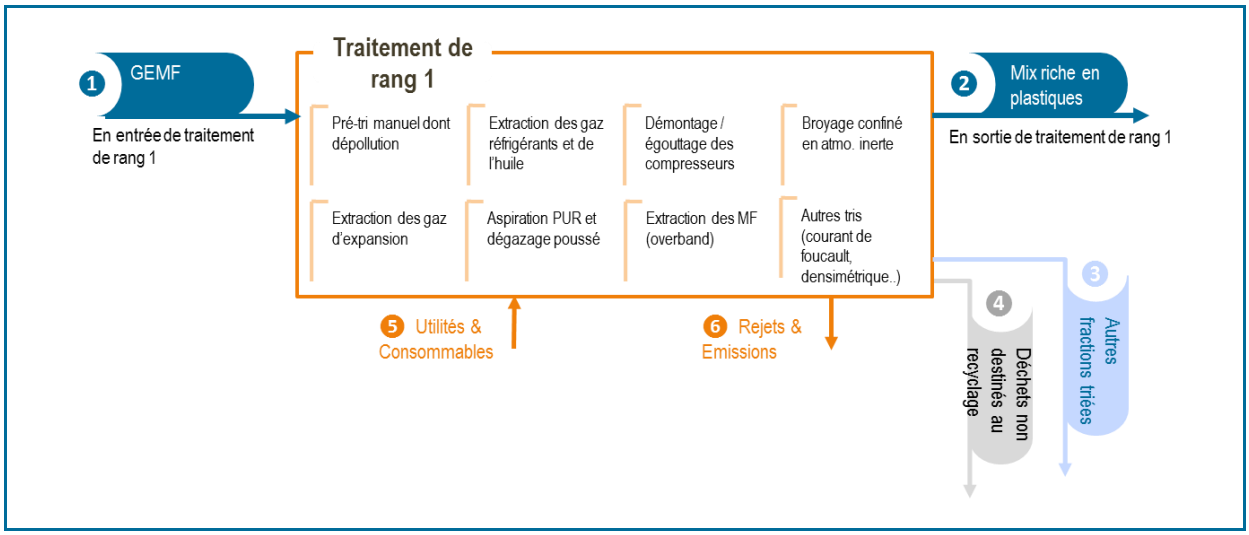
Le traitement et la valorisation des DEEE ménagers correspond à une arborescence d'opérations complexes qui ont lieu sur des sites de traitement spécialisés.

Le traitement par les opérateurs de rang 1 désigne la première grande phase de dépollution et de traitement de chaque catégorie de DEEE au cours de laquelle les substances réglementées (gaz réfrigérants, gaz d'expansion, contacteurs au mercure, cartes électroniques, condensateurs…) sont extraites des équipements afin d'être ensuite orientées vers des centres de traitement (ex : incinération des gaz réfrigérants en unité d'incinération de déchets dangereux ou UIDD) ou de valorisation adaptés (ex : valorisation des cartes électroniques dans les affineries de cuivre/métaux précieux). Outre l'extraction des substances réglementées, cette première grande phase de traitement permet également de produire diverses fractions qui pourront faire l'objet d'une valorisation matière ou énergétique chez un opérateur de rang 2 ou qui devront au contraire faire l'objet de plusieurs étapes de préparation par des opérateurs successifs afin d'être valorisé de manière optimale.

Notre perception des points clefs ou d'attention en vue d'une évaluation environnementale	
Méthodologie	Les plastiques cibles, au sens des polymères qui seront séparés en vue d'un recyclage chez les régénérateurs de plastiques, contenus dans les DEEE entrent chez les opérateurs de traitement de rang 1 sous la forme de matériau constitutifs d'équipements intègres (ou quasi intègres). Différentes fractions, dont certaines destinées à une élimination appropriée et d'autres destinées à une valorisation matière ou énergétique ultérieure, sont produites lors de cette étape de traitement. Les plastiques cibles sortent très majoritairement (> 80 %) du traitement de rang 1 dans des fractions riches en plastique, celles-ci pouvant également contenir des métaux, notamment des non ferreux, et présenter des granulométries variables. Dans ce cas, les plastiques cibles peuvent faire l'objet d'une extraction en vue de leur recyclage chez des opérateurs de rang 2 post-broyage (PAM et GEM HF) ou chez des opérateurs de régénération (GEM F). Les plastiques cibles ne sortant pas dans ces fractions riches en plastiques sortent dans d'autres fractions sous la forme d'impuretés. Dans ce cas, ils ne seront généralement pas extraits ultérieurement en vue de leur recyclage lors des étapes ultérieures de valorisation ou de préparation à la valorisation de ces fractions. Un **enjeu méthodologique d'allocation** des utilités, consommables, émissions et rejets du traitement des DEEE en rang 1 est à considérer entre les fractions riches en plastiques dans lesquelles sortent préférentiellement les plastiques cibles et les autres fractions produites. Certaines émissions ayant lieu au niveau du traitement de rang 1 sont générées par certains matériaux/substances présents dans les DEEE : c'est notamment le cas des émissions fugitives de gaz d'expansion ou de gaz réfrigérants dans le cas du traitement des GEM F ou le cas des émissions bromées générées lors de l'échauffement des plastiques contenant des RFB dans le cas du PAM. La résolution de la problématique d'allocation méritera ainsi sans doute de distinguer : – Le cas général des utilités, consommables, émissions et rejets du traitement de rang 1 ; – Le cas des émissions et rejets qui peuvent être directement mis en relation avec certains matériaux ou substances contenus dans les DEEE.

Données à collecter / données à fiabiliser	L'ensemble des données nécessaires à la modélisation de cette étape de traitement des DEEE, qu'il s'agisse des GEM F, des GEM HF, des PAM ou des autres catégories de DEEE ménagers sont d'ores et déjà disponibles auprès des éco-organismes en charge de la filière (nature et quantité des fractions produites en sortie de traitement de rang 1 et composition de ces fractions en termes de matériaux) et peuvent être collectées auprès d'opérateurs de traitement (utilités, consommables, émissions et rejets). Ce type de travail a été entrepris par ecosystem lors de travaux conduits récemment et portant sur l'élaboration d'une base de données d'inventaires de gestion en fin de vie des matériaux constitutifs des DEEE. En revanche, ces données d'activité ne sont pas publiques.
Enjeu à creuser / données à établir	-

H.3.3.2.1 Traitement du GEM F



Des GEM F en entrée de traitement de rang 1 aux fractions riches en plastiques en sortie de traitement de rang 1

A leur arrivée sur les sites dits de rang 1, les équipements sont stockés en attente de leur traitement. Une première étape de pré-tri manuel permet d'extraire certaines substances/composants réglementés et de préparer les équipements en vue de leur traitement :

- Les condensateurs et les contacteurs au mercure sont retirés des équipements.
- Les indésirables sont écartés ;
- Les clayettes en verre ainsi que les câbles sont retirés afin de ne pas endommager l'installation de broyage ; ils font ensuite l'objet d'une valorisation ultérieure.

Les GEM F sont alors placés sur la ligne de traitement. Une première étape manuelle permet d'extraire les gaz réfrigérants et l'huile contenue dans le compresseur ; lorsque le compresseur est vide, il est retiré de l'équipement afin de ne pas endommager le broyeur et placé sur un égouttoir de manière à extraire l'huile résiduelle. Le compresseur vide fera ensuite l'objet d'une valorisation ultérieure. Les gaz réfrigérants extraits seront envoyés en incinération de déchets dangereux. Selon les cas, l'huile pourra être orientée vers une régénération ou en valorisation énergétique (ex : cimenterie) ou encore en incinération de déchets dangereux.

Les GEM F vidés des gaz réfrigérants et de l'huile et dont le compresseur a été retiré sont alors introduits dans le broyeur. Le broyage est réalisé de manière confinée sous atmosphère inerte afin de prévenir les risques d'incendie/explosion. Cette étape de broyage permet notamment de fractionner les mousses isolantes des appareils (mousse PUR) et de libérer une partie des gaz d'expansion qu'elles contiennent.

La mousse PUR et les gaz d'expansion libérés pendant l'étape de broyage confiné sont aspirés vers une ligne dédiée permettant une extraction plus poussée des gaz d'expansion (par une étape de broyage confiné complémentaire et chauffage puis récupération sur charbons actifs ou par condensation cryogénique). Les gaz d'expansion récupérés seront envoyés en incinération de déchets dangereux. La fraction riche en mousse PUR fait l'objet d'une valorisation matière ou énergétique ultérieure.

En sortie de broyage confiné, les autres composants et matériaux du GEM F font l'objet de diverses étapes de tri (récupération des métaux ferreux par tri magnétique, récupération des métaux non ferreux par induction…) visant à séparer au mieux les différents matériaux les uns des autres.

1 Input

Les GEM F arrivant en entrée de centre de traitement de rang 1 sont des équipements complexes comportant de multiples matériaux. Les travaux préparatoires de la Directive EuP (Energy using products) de 2005 [2] apportent des enseignements quant à la composition de certains équipements (profil d'équipements mis sur le marché dans le milieu des années 2000). Bien que ces données datent d'une vingtaine d'années, elles restent probablement pertinentes dans la mesure où les équipements frigorifiques sont très matures dans leur conception générale et qu'ils évoluent donc peu à l'exception des gaz réfrigérants et d'expansion dont la nature évolue sous la pression réglementaire).

Les métaux ferreux constituent les matériaux dominants des GEM F avec une part de l'ordre de 60 % de la masse de ce flux. Les plastiques, toutes résines confondues (dont PUR), représentent plutôt une proportion de l'ordre de 25 % avec trois résines dominantes : PUR, PS et ABS. Les autres matériaux constitutifs des GEM F sont essentiellement les métaux non ferreux, le verre les gaz et l'huile.

2 Outputs Mix riche en plastiques

Hormis le cas du PUR qui fait l'objet d'une opération de dépollution spécifique, les autres plastiques constitutifs des GEM F sont principalement extraits dans une fraction de plastiques en mélange qui peut par ailleurs contenir des métaux sous forme d'impuretés (principalement non ferreux).

Environ 80 % du PS initialement présent dans les GEM F en entrée de traitement se retrouve dans cette fraction riche en plastiques. Compte tenu de la bonne qualité de cette fraction (richesse en PS et en ABS, faible taux d'impuretés), celle-ci n'est généralement pas orientée vers un opérateur de tri post-broyage mais peut directement être envoyée vers les régénérateurs.

4 Outputs coproduits

Plusieurs fractions destinées au recyclage ou à une valorisation matière sont par ailleurs produites par le procédé de traitement des GEM F :

- Verre ;
- Compresseurs ;
- Câbles ;
- Métaux ferreux ;
- Métaux non ferreux ;
- Mousse PUR (ex : valorisation matière sous forme d'absorbants) ;
- …

Les plastiques rigides, notamment le PS et l'ABS peuvent être présent sous forme d'impuretés, et dans des proportions variables, dans certaines de ces fractions, notamment dans la fraction des mousses PUR ; ces impuretés de PS ne feront pas, pour des raisons technico-économiques, l'objet d'une extraction ciblée en vue d'un recyclage lors des étapes suivantes de gestion de ces différentes fractions.

4 Outputs déchets non destinés au recyclage

Plusieurs fractions exclusivement ou préférentiellement destinées à une valorisation énergétique ou à une destruction thermique sont par ailleurs produites par le procédé de traitement des GEMF :

- Gaz réfrigérants ;

- Gaz d'expansion ;
- Huile ;
- Mousse PUR (ex : valorisation sous forme de CSR) ;
- Indésirables.

Les indésirables arrivant en centre de traitement avec les GEM F sont présents en quantité limitées ; ils correspondent à des macro-objets extraits manuellement lors de l'étape de pré-tri.

A noter que les mousses PUR peuvent faire l'objet d'une valorisation matière comme d'une valorisation énergétique.

5 Consommables et utilités

Le traitement des GEM F consomme de l'énergie (carburant et électricité) pour les étapes de manutention (engins), pour le fonctionnement des tapis de convoyage et équipements mobilisés au cours du traitement.

Il n'y a pas de consommation d'eau autre que celle dédiée aux usages sanitaires, aux opérations de lavage des équipements/engins (voire également à l'arrosage des espaces verts) et à la gestion des risques incendie.

Le traitement des GEM F mobilise également les utilités spécifiques suivantes :

- De l'azote pour le maintien d'une atmosphère inerte dans le broyage confiné ; l'azote peut être produit sur site ou faire l'objet d'un approvisionnement externe.
- Des charbons actifs : ceux-ci peuvent être utilisés pour capter les gaz d'expansion. Les charbons actifs peuvent faire l'objet d'une régénération en interne (cycles absorption/désorption des gaz d'expansion).

A notre connaissance, aucune donnée n'est publiquement disponible en ce qui concerne les quantités de consommables et utilités consommés lors du traitement des GEM F. En revanche, des données de ce type peuvent être collectées auprès des opérateurs de traitement, comme cela a été le cas dans le cadre des travaux d'élaboration de la base de données ICV de fin de vie des DEEE (travaux ayant couvert 9 opérateurs de traitement de GEM F représentant 100 % du tonnage des GEM F collecté par ecosystem en 2014).

6 Rejets et émissions

Des enjeux notables en termes d'émissions directes de gaz à effet de serre se posent pour les opérateurs de traitement des GEM F. Les gaz réfrigérants et les gaz d'expansion utilisés dans les GEM F peuvent notamment être des CFC, HCFC, HFC (également des hydrocarbures et du CO_2) qui présentent des PRG élevés, c'est-à-dire des gaz présentant des enjeux importants en termes d'effet de serre. Les performances de récupération des gaz réfrigérants (de l'huile) et des gaz d'expansion chez chacun des opérateurs font l'objet d'un audit régulier de la part des éco-organismes ; des valeurs seuils de récupération de 90 % des gaz doivent être respectées[35]. Toutefois, dès lors que le taux de récupération des gaz réfrigérants et des gaz d'expansion mesuré chez un opérateur est inférieur à 100 %, se pose alors la question de la destination des gaz non captés et de leur éventuelle émission à l'atmosphère.

Des enjeux en termes d'émissions de COV peuvent également, et pour les raisons exposées ci-dessus, se poser. Parmi les gaz réfrigérants et les gaz d'expansion susceptibles d'être utilisés dans les GEM F, on trouve en effet du pentane et de l'isobutane.

Contrairement à d'autres catégories d'opérateurs de traitement des DEEE, les enjeux en termes d'émissions de poussières/particules restent limités du fait du broyage confiné des équipements.

Les enjeux en termes de rejets sont limités et concernent essentiellement la gestion des eaux sanitaires et des eaux pluviales de voierie et de lavage.

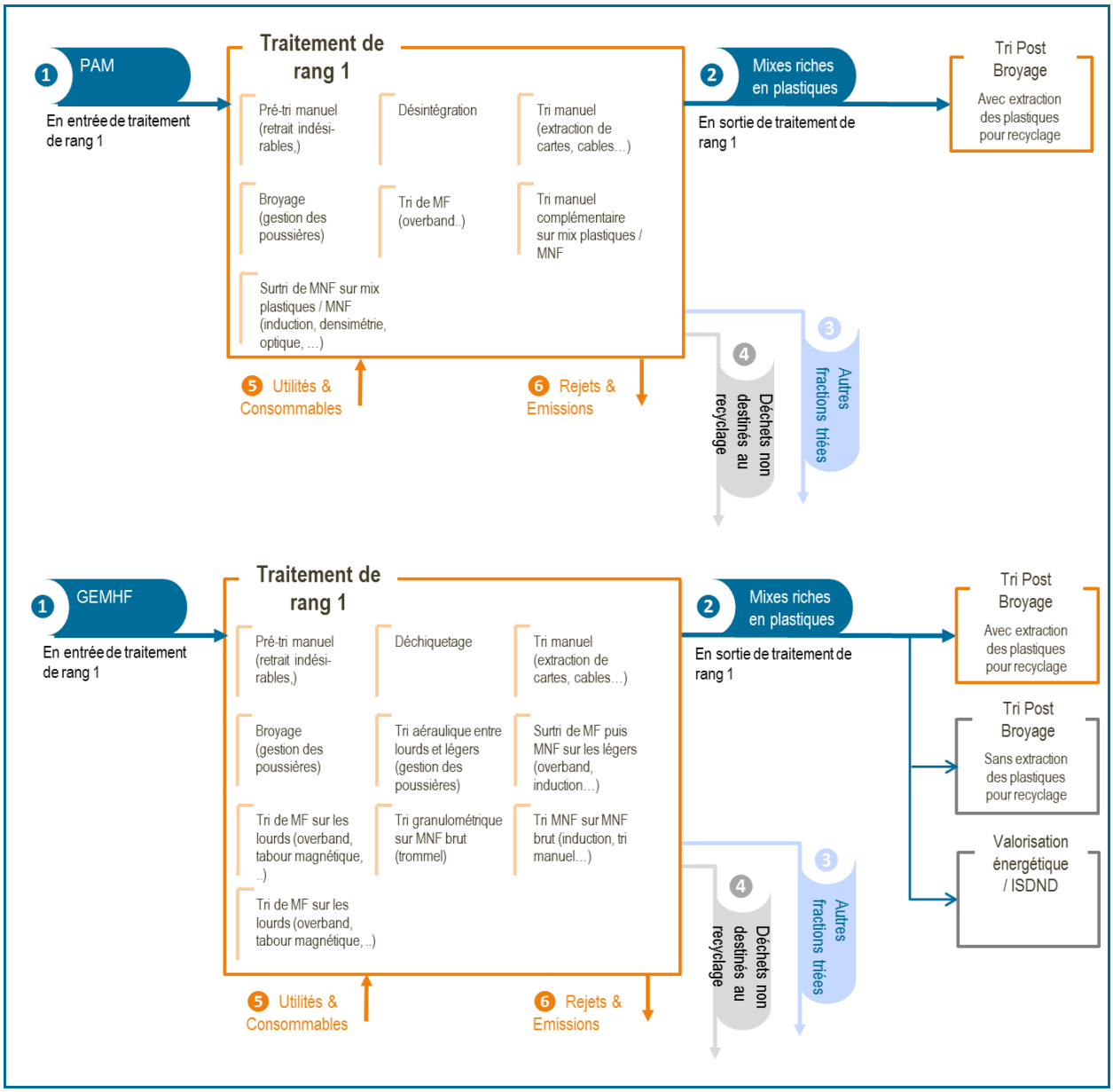
[35] Ces audits, désignés par audit de performance de phase 1 et audits de performance de phase 2, comportent d'autres critères de vérification que les seuls taux de récupération des gaz et de l'huile, par exemple le taux de gaz d'expansion résiduel dans la fraction mousse PUR et le taux de mousse PUR dans les autres fractions triées (plastiques en mélange, métaux ferreux, métaux non ferreux…).

La bonne gestion des nuisances telles que le bruit, le transit de camions, les envols de déchets (stockage des fractions produites) mérite une attention en vue de l'intégration des sites de traitement dans leur environnement immédiat.

Comme précisé précédemment, certaines de ces émissions peuvent être directement mises en relation avec des matériaux ou substances spécifiques contenus dans les GEM F plutôt qu'être affectées à l'ensemble des matériaux présents dans ce type d'équipements.

	REFERENCES
[1]	ECOSYSTEM. Le traitement des gros équipements de froid. Plaquette pédagogique présentant le principe de traitement des GEM F. Non daté. 1 p.
[2]	COMMISSION EUROPÉENNE. Methodology Study Eco-design of Energy-using Products – Final Report – Product Cases Report. 2005. 466 p.

H.3.3.2.2 Traitement du PAM et du GEM HF



Des PAM (GEM HF) en entrée de traitement de rang 1 aux fractions riches en plastiques en sortie de traitement de rang 1

A leur arrivée sur les sites, les équipements sont stockés en attente de leur traitement. Une première étape de pré-tri manuel permet d'extraire certaines substances réglementées accessible (condensateurs, batteries), de retirer les indésirables et d'extraire différentes fractions (câbles, moteurs/induits, certaines cartes électroniques qui ne nécessitent pas ou doivent éviter de passer par une étape de désintégration (PAM) ou de déchiquetage (GEM HF).

Les PAM (GEM HF) sont alors placés sur la ligne de traitement où une première étape consiste dans une désintégration (déchirage dans le cas des GEM HF, réalisé ou non selon les opérateurs), c'est-à-dire une opération permettant d'ouvrir et/ou d'éclater les équipements en plusieurs fragments afin de faciliter la libération et l'accès à un certain nombre de composants.

Cette désintégration est alors suivie d'un tri manuel, celui-ci permettant d'extraire à la fois des substances réglementées (condensateurs, cartes électroniques, piles, cartouches…) mais également des fractions d'intérêt en vue de leur valorisation (câbles, moteurs, disques durs… pour les PAM ; socle de machines en béton ou en fonte, hublot en verre, cuve inox… pour les GEM HF).

A l'issue de ce tri manuel, les PAM (GEM HF) sont broyés. Le mélange de matériaux produit par ce broyage fait l'objet de plusieurs étapes de tri spécifiques (magnétique, inductif, aéraulique, densimétrique, criblage, optique…) visant à isoler autant que possible des fractions riches en métaux ferreux, des fractions riches en métaux non ferreux, des fractions riches en plastiques…

Dans le cas des GEM HF, ces étapes de séparation et de tri après le broyage débutent avec une séparation aéraulique entre une fraction lourde et une fraction légère ; des étapes de surtri successives sont alors conduites sur chacune de ces fractions : tri magnétique des MF, tri des MNF par induction, criblage des fines et étapes éventuelles de tri manuel.

Dans le cas particulier des GEM HF également, il convient de noter que les opérateurs de traitement des GEM HF sont également, dans la plupart des cas, des opérateurs de traitement des VHU ; les DEEE et les VHU ne sont pas traités en mélange mais lors de campagnes dédiées (outre une exigence de la part des éco-organismes, il s'agit également en France d'une obligation réglementaire).

1 Input

Les PAM (GEM HF) arrivant en entrée de centre de traitement de rang 1 sont des équipements complexes comportant de multiples matériaux.

La composition moyenne de ces deux catégories de DEEE est connue par les éco-organismes français qui pilotent la filière. Ecosystem réalise ainsi chaque année des campagnes de caractérisation sur les différentes catégories d'équipement, dont le PAM et le GEM HF, qui arrivent dans les centres de traitement : plusieurs tonnes d'équipement sont démontées et caractérisées appareil par appareil à travers une matrice de l'ordre de 50 à 60 matériaux distincts.

De manière générale, les GEM HF sont des équipements riches en métaux ferreux ; les matières minérales (béton et verre notamment) représentent une proportion non négligeable ; les plastiques, toutes résines confondues, représentent de l'ordre de 15 % de la masse de cette catégorie d'équipements ; plusieurs résines sont présentes dans ces équipements mais le PP domine largement. Contrairement au PAM (ou aux Ecrans) les plastiques des GEM HF sont réputés ne pas contenir de RFB, ils peuvent en revanche contenir des taux de charges minérales importants.

En comparaison des GEM HF, les PAM sont des équipements moins riches en métaux ferreux et plus riches en plastiques ; ils contiennent toutefois davantage de composants plus riches en métaux précieux. Les plastiques des PAM représentent, toutes catégories confondues, de l'ordre de 30 % de la masse des équipements ; les résines peuvent être variées mais trois résines (ABS, PP et PS) représentent plus des deux tiers des plastiques à l'heure actuelle. Certaines pièces plastiques présentes dans les PAM sont susceptibles de contenir des RFB, dont certains peuvent être classés POP.

2 Output Mixes riches en plastiques

Les plastiques constitutifs des PAM (de même que les plastiques des GEM HF) sont principalement extraits dans des fractions de plastiques en mélange qui peuvent être plus ou moins riches en métaux et d'une granulométrie variable en fonction de leur point de sortie dans la succession des étapes du procédé.

PAM

Dans le cas des PAM, de l'ordre de 80 % du PP (de l'ABS ou du PS) initialement présent dans ces équipements en entrée de traitement et susceptible d'être recyclé (absence de RFB, taux de charge limité) se retrouve dans ces fractions riches en plastiques.

Du fait de la présence de RFB, voire de RFB classées POP, dans les plastiques des PAM, les fractions de plastiques en mélange sont classées déchets dangereux et elles doivent obligatoirement faire l'objet d'une séparation afin d'extraire les plastiques avec RFB, qui doivent être éliminés selon les modes de gestion autorisés par la réglementation (recyclage interdit), des autres plastiques.

GEM HF

Dans le cas des GEM HF, de l'ordre de 70 % à 75 % du PP initialement présent dans ces équipements en entrée de traitement et susceptible d'être recyclé (taux de charge limité) se retrouve dans des fractions riches en plastiques. Ce PP fera pour partie seulement l'objet d'une extraction chez des opérateurs de tri post-broyage en vue de son recyclage ultérieur ; en effet, lors des opérations post-broyage de ces fractions, les plastiques sont également susceptibles d'être orientés vers une valorisation énergétique ou vers de la mise en décharge.

3 Outputs coproduits

D'autres fractions, autres que les fractions riches en plastiques, sont produites par le procédé de traitement des PAM (GEM HF) afin de faire l'objet d'un recyclage ou d'une valorisation matière ultérieure :

- Métaux ferreux ;
- Métaux non ferreux ;
- Inox non ferreux (GEM HF) ;
- Câbles ;
- Cartes électroniques ;
- Carcasses (PAM) ;
- Fraction minérale (GEM HF) ;
- Fluff (GEM HF)
- Résidus combustibles
- …

Certaines de ces fractions doivent faire l'objet d'étapes de préparation additionnelles avant recyclage (câbles par exemple) alors que d'autres fractions peuvent d'ores et déjà faire l'objet d'un recyclage par l'opérateur de reprise situé directement en aval de l'opérateur de traitement de rang 1 (cartes électroniques par exemple).

Dans tous les cas, les plastiques cibles (PP, ABS ou PS) qui sont présents sous forme d'impuretés dans ces autres fractions triées ne font généralement pas, pour des raisons technico-économiques, l'objet d'une extraction en vue d'un recyclage.

4 Outputs déchets non destinés au recyclage

Plusieurs fractions préférentiellement destinées à une valorisation énergétique, voire à une mise en décharge sont par ailleurs produites par le procédé de traitement des PAM (GEM HF) :

- Fluff ;
- Résidus combustibles ;
- Résidus de broyage ;
- Indésirables
- …

Les indésirables arrivant en centre de traitement avec les GEM HF (PAM) sont présents en quantité limitées ; ils correspondent plutôt à des macro-objets extraits manuellement lors de l'étape de pré-tri.

5 Consommables et utilités

Le traitement des PAM (GEM HF) consomme de l'énergie (carburant et électricité) pour les étapes de manutention (engins) et pour le fonctionnement des tapis de convoyage et équipements mobilisés au cours du traitement.

Sauf dans le cas d'un procédé équipé d'un captage des poussières par lavage humide, il n'y a pas de consommation d'eau notable autre que celle dédiée aux usages sanitaires, aux opérations de lavage des équipements/engins (voire également à l'arrosage des espaces verts) et à la gestion des risques incendie.

A notre connaissance, aucune donnée n'est publiquement disponible en ce qui concerne les quantités de consommables et utilités consommées lors du traitement des PAM et du GEM HF. En revanche, des données de ce type peuvent été collectées auprès des opérateurs de traitement, comme cela a été le cas dans le cadre des travaux d'élaboration de la base de données ICV de fin de vie des DEEE d'ecosystem (travaux ayant concernés 13 opérateurs de traitement de PAM, représentant 95 % du tonnage des PAM collecté par ecosystem en 2014 et 14 opérateurs de traitement du GEM HF, représentant 90 % du tonnage des GEM HF collecté par ecosystem en 2014).

6 Rejets et émissions

Les principaux enjeux en termes d'émissions et rejets concernent, pour le PAM comme pour le GEM HF :

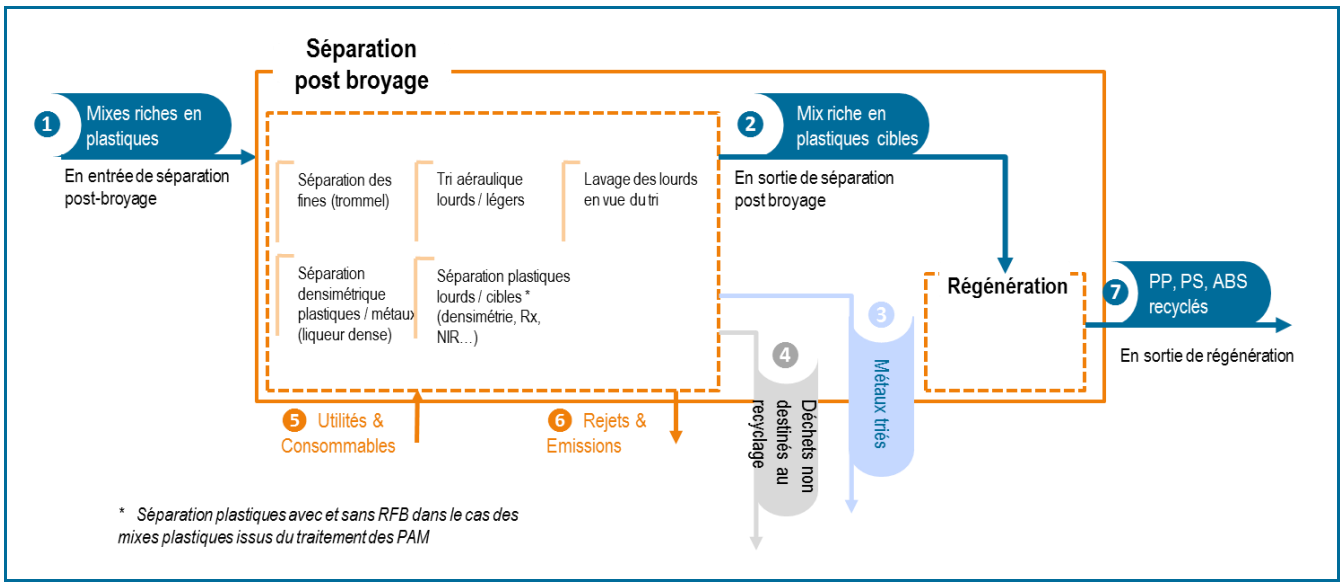
- Les émissions de poussières/particules à l'atmosphère qu'il s'agisse d'émissions fugitives ou d'émissions résiduelles post-abattement ; les poussières/particules captées constituent en outre des déchets à prendre en compte (ces déchets pouvant être secs ou humides en fonction des techniques de captage, par cyclone par exemple ou par tour de lavage humide).
- Les émissions de métaux dont les métaux lourds ;
- Les émissions de brome dans le cas spécifique du PAM ;
- La gestion de la qualité des eaux pluviales de voieries et de lavage.

La bonne gestion des nuisances telles que le bruit, le transit de camions, les envols de déchets (stockage des fractions produites) mérite une attention en vue de l'intégration des sites de traitement dans leur environnement immédiat.

	REFERENCES
[1]	ECOSYSTEM. Le traitement des gros équipements hors froid. Plaquette pédagogique présentant le principe de traitement des GEM HF. Non daté. 1 p.
[2]	ECOSYSTEM. Le traitement des petits appareils en mélange. Plaquette pédagogique présentant le principe de traitement des PAM. Non daté. 1 p.

H.3.3.3 Séparation post-broyage en rang 2 des mixes riches en plastiques issus du traitement des GEM HF et des PAM

Notre perception des points clefs ou d'attention en vue d'une évaluation environnementale	
Méthodologie	Les mixes riches en métaux et en plastiques produits par les opérateurs de traitement de rang 1 des GEM HF et des PAM font l'objet d'une séparation post-broyage chez des opérateurs spécialisés. Dans le cas des mixes riches en métaux et en plastiques issus du traitement du PAM, ces opérateurs doivent également être en capacité d'opérer une séparation entre les plastiques contenant des RFB et les plastiques qui n'en contiennent pas. Les opérations de séparation post-broyage vont permettre de séparer une fraction riche en plastiques cibles (il s'agit généralement de PP, PS, ABS ne contenant pas d'additifs soumis à restriction et dont la densité n'est pas ou peu modifiée) qui peut alors être orientée vers d'autres étapes en vue de leur recyclage. Les opérations de séparation post-broyage vont également produire d'autres fractions tels que des fractions métalliques destinées au recyclage, des fractions faisant l'objet d'une valorisation énergétique, voire d'une élimination ; les plastiques tels que le PP, PS, ABS, présents dans ces autres fractions ne seront pas extraits en vue d'un recyclage. Un **enjeu méthodologique d'allocation** des utilités, consommables, émissions et rejets de l'étape de séparation post-broyage est à considérer entre la fraction riche en plastiques cibles et les autres fractions produites. Certaines émissions (brome) peuvent être directement associées à certaines catégories de matériaux (plastiques avec RFB). Certains consommables tels que les consommables utilisés pour les liqueurs denses sont préférentiellement ou exclusivement destinés à des opérations de séparation des plastiques (avec/sans RFB ou résines cibles/ non cibles). La résolution de la problématique d'allocation mérite ainsi sans doute de distinguer : – Le cas général des utilités, consommables, émissions et rejets des opérations de séparation post-broyage ; – Le cas des consommations et émissions qui peuvent être directement mis en relation avec certains matériaux ou substances contenus dans les DEEE.
Données à fiabiliser	Des données relatives à l'efficacité de séparation des matériaux à l'étape de tri post-broyage sont connues des opérateurs et des éco-organismes en charge de la filière. En revanche, ces données ne sont pas publiquement disponibles.
Enjeu à creuser / données à établir	Des données représentatives des consommations, émissions et rejets associées aux opérations de séparation post-broyage mériteraient d'être établies.



Des mixes riches en métaux et en plastiques en entrée de séparation post-broyage à un Mix riche en plastiques cibles en sortie

Les opérateurs de séparation post-broyage (rang 2 de traitement) reçoivent les mixes riches en métaux et plastiques qui sont produits par les opérateurs de traitement de rang 1 des PAM et par les opérateurs de traitement de rang 1 des GEM HF (ces opérateurs peuvent également recevoir d'autres fractions issues du traitement d'autres catégories de DEEE ou du traitement d'autres équipements/produits).

Pour le GEM HF, est traité dans cette section le cas des opérateurs visant à extraire une partie des plastiques en vue d'un recyclage ultérieur. Rappelons en effet que d'autres opérateurs de traitement post-broyage privilégient d'autres modes de gestion des plastiques (ex : incinération, production de CSR).

Ces mixes font tout d'abord l'objet d'une séparation granulométrique : la fraction la plus fine est extraite du flux principal qui sera quant à lui l'objet des étapes suivantes.

Qu'il s'agisse du PAM ou du GEM HF, les opérateurs vont mettre en œuvre des techniques permettant d'extraire au mieux les métaux présents dans le mix entrant (opérations permettant de séparer les métaux des plastiques et autres matériaux, séparation des métaux entre eux).

Dans le cas du GEM HF, les fractions reçues pouvant contenir une proportion importante de matériaux légers, un tri aéraulique peut être effectué de manière à séparer une fraction lourde (dont métaux, une partie des plastiques rigides) d'une part et une fraction légère d'autre part (dont mousses, des morceaux plastiques légers). La fraction lourde est lavée afin de la débarrasser des impuretés, souillures, fines... qui peuvent être associées à cette fraction : ce lavage permet notamment de préserver autant que possible les qualités des bains qui sont ensuite utilisés en séparation densimétrique.

S'agissant de la gestion des plastiques, les points suivants peuvent être soulignés.

Dans le cas du PAM pour lequel les opérateurs ont l'obligation de séparer les plastiques contenant des RFB des autres plastiques, différentes techniques de séparation ou combinaisons de techniques peuvent être mises en œuvre :

- La technique de tri densimétrique va produire une fraction de « plastiques sans RFB », dans laquelle les plastiques restent en mélange, et une fraction de « plastiques avec RFB ». Soulignons toutefois que cette technique va conduire à orienter vers la fraction « plastiques avec RFB » des plastiques sans RFB mais ayant une densité élevée (ex : PVC, PC) ainsi que des plastiques sans RFB mais fortement chargés (ex : PP ou PS avec taux de charge important)
- La technique de tri par rayons X peut détecter l'élément brome présents dans les plastiques et séparer les plastiques le contenant.
- La technique Near-Infrared va permettre d'identifier les matrices polymères et ainsi de séparer – dès cette étape – certains polymères présentant un intérêt pour le recyclage. Les plastiques cibles ainsi triés pourront contenir ou non des charges minérales.

Dans le cas du GEM HF, les opérateurs pourront par exemple séparer par tri densimétrique les plastiques susceptibles d'intéresser les régénérateurs (polyoléfines et styréniques) des autres plastiques présentant une densité plus élevée (PA, PC, PMMA, PVC…), ces derniers n'étant pas orientés vers un recyclage.

La fraction riche en plastiques cibles restant en mélange obtenue après la séparation avec/sans RFB ou la séparation plastiques cibles/non cibles va suite être orientée vers des étapes ultérieures en vue de leur régénération.

Il est à noter que les étapes de régénération peuvent dans certains cas être conduites en partie (ex : séparation des différents polymères et production de plastiques broyés lavés) ou en totalité (séparation des différents polymères, lavage, broyage et extrusion/granulation) sur le même site que la séparation post-broyage ou au contraire être effectuées par des opérateurs distincts sur d'autres sites industriels.

Séparation post-broyage

1 **Input**

Les déchets entrant chez les opérateurs de séparation post-broyage sont les fractions riches en métaux et en plastiques produites par les opérateurs de traitement des GEM HF ou par les opérateurs de traitement des PAM.

Pour mémoire, du fait de la présence de RFB dans certains plastiques des PAM, les fractions riches en métaux et en plastiques issus du traitement des PAM sont considérées comme des déchets dangereux ; les opérateurs de séparation post-broyage qui reçoivent ce type de fractions doivent nécessairement effectuer une séparation entre les plastiques avec RFB et les plastiques dans RFB.

Les opérateurs de séparation post-broyage peuvent traiter des fractions riches en métaux et en plastiques qui sont issues du traitement d'autres équipements ou produits que le PAM ou le GEM HF ; ces mixes peuvent provenir d'autres catégories de DEEE ménagers (écrans plats par exemple), de certaines catégories de DEEE professionnelles (PEP, Petits Equipements Professionnels par exemple), des VHU…

2 **Output Mix riche en plastiques cibles**

A l'issue des différentes opérations de séparation, une fraction riche en plastiques cibles en vue du recyclage est produite. Dans le cas des GEM HF et dans le cas du PAM, cette fraction concentre les polyoléfines et les styréniques ; dans le cas du PAM, cette fraction de plastiques cibles en mélange doit par ailleurs respecter une teneur maximale en brome résiduel (< 2000 ppm de brome).

4 **Outputs destinés au recyclage**

D'autres fractions sont par ailleurs produites au cours des opérations de séparation post-broyage des fractions riches en métaux et en plastiques :

- Métaux ferreux ;
- Métaux non ferreux en mélange ;
- Métaux non ferreux triés par type de métal (cuivre, aluminium, inox…) ;
- …

La plupart des fractions produites à l'issue de cette étape de séparation post-broyage font l'objet d'une valorisation matière ou énergétique ultérieure, soit chez un opérateur intervenant directement en aval de l'opérateur de séparation (recyclage des métaux ferreux en aciérie par exemple), soit après une nouvelle étape de préparation (séparation d'une fraction de métaux non ferreux en mélange par exemple).

Le PP, le PS ou l'ABS peuvent être présents sous forme d'impuretés, et dans des proportions variables, dans certaines de ces fractions ; ces impuretés ne feront pas, pour des raisons technico-économiques, l'objet d'une extraction ciblée en vue d'un recyclage lors des étapes suivantes de gestion de ces différentes fractions.

4 **Output déchets non destinés au recyclage**

Certaines fractions produites lors de la séparation des mixes post-broyage riches en métaux et en plastiques sont préférentiellement destinées à des opérations de valorisation énergétiques ultérieures, voire à une destruction thermique :

- Fractions légères riches en plastiques ;
- Plastiques avec RFB ;
- Plastiques lourds ;
- …

5 Consommables et utilités

Le procédé de séparation post-broyage des mixes riches en métaux et en plastiques consomme de l'énergie (carburant et électricité) pour les étapes de manutention (engins) et pour le fonctionnement des tapis de convoyage et équipements mobilisés au cours du traitement.

De l'eau peut être consommée :

- Pour les bains densimétriques dans le cas d'un procédé de séparation par flottaison ou par flottation, bien que ces bains puissent fonctionner en circuit fermé.
- Pour le lavage de la fraction lourde ;
- Pour les autres opérations de lavage éventuelles (lignes de tri, équipements, engins…) ainsi que pour l'abattement des poussières (en cas de procédé par voie humide), pour les usages sanitaires, la gestion des risques incendie ou encore l'arrosage des espaces verts.

Outre les huiles et lubrifiants nécessairement consommés lors de l'entretien des équipements présents sur les sites, des consommables spécifiques à la préparation des bains densimétriques tels que de la magnétite, du ferro-silicium, du carbonate de calcium… peuvent également être consommés.

La consommation de produits et réactifs éventuellement utilisés pour les opérations de lavage ainsi que pour les opérations de traitement des eaux de lavage mérite également d'être investiguée.

A notre connaissance, aucune donnée n'est publiquement disponible en ce qui concerne les quantités de consommables et utilités consommées lors de la séparation post-broyage.

6 Rejets et émissions

Du fait de leurs activités et de la nature des déchets qui sont traités sur les sites, les émissions et rejets suivants méritent d'être quantifiées pour les sites de séparation post-broyage :

- Emissions atmosphériques de poussières/particules, de métaux dont les métaux lourds et de brome dans le cas des sites traitant des mixes produits à partir de PAM ;
- Rejets de polluants (MES, hydrocarbures, DCO, métaux…) pouvant être présents dans les eaux de procédé (lavage, purges des bains…).
- Rejets de polluants (MES, hydrocarbures, DCO, métaux…) pouvant être présents dans les rejets d'eaux pluviales collectées sur site.
- Poussières sèches captées ou boues produites lors du captage des poussières.
- Boues de décantation ou prétraitement des eaux de lavage.
- Boues de débourbeur/déshuileur des eaux de ruissellement.
- Huiles usagées du procédé.

H.3.3.4 Traitement des mixes riches en plastiques cibles chez les régénérateurs de plastiques

Les installations traitant ces mix de plastiques cibles en vue de la production de plastiques sous forme de broyés ou de granulés mettent en œuvre des procédés proches de ceux décrits en section H.2.3.7 concernant les VHU. Le lecteur est donc invité à se reporter à cette section.

H.4 ANALYSE SECTORIELLE : RECYCLAGE DES EMBALLAGES INDUSTRIELS ET COMMERCIAUX EN POLYSTYRENE EXPANSE

Les informations présentées dans cette section ont été recueillies à partir de recherches bibliographiques. Le niveau d'information recherché et restitué est moins approfondi que dans le cas des analyses sectorielles réalisées pour les emballages ménagers, les VHU et les DEEE. Ainsi, cette section vise essentiellement à apporter une vue d'ensemble de l'organisation de la gestion des emballages industriels et commerciaux en PSE arrivant en fin de vie en France.

En France, le recyclage des emballages industriels et commerciaux en PSE s'est organisé depuis 1993 par l'intermédiaire d'EcoPSE (marque commerciale d'ELIPSO depuis 2015) qui regroupe des fabricants de produits en PSE et des recycleurs.

Le secteur de l'emballage constitue en effet un des principaux marchés pour le PSE, un autre secteur d'application prépondérant pour ce matériau étant le secteur du bâtiment.

D'après les données consultées, de l'ordre de 40 000 tonnes d'emballages en PSE sont mises sur le marché chaque année en France, dont environ 21 000 tonnes d'emballages industriels et commerciaux[36].

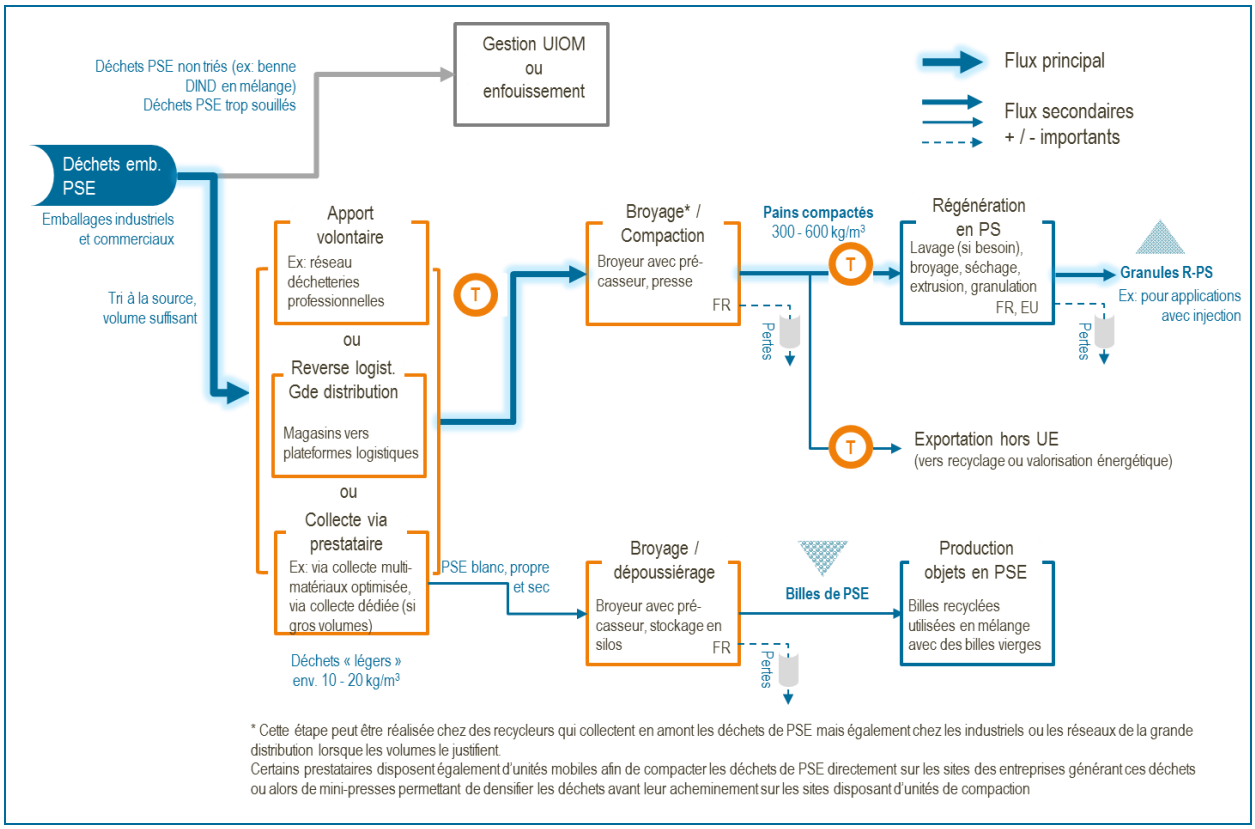


FIGURE 23 : GESTION EN FIN DE VIE DES EMBALLAGES INDUSTRIELS ET COMMERCIAUX EN PSE MIS SUR LE MARCHE EN FRANCE

Une des conditions nécessaires à un recyclage des emballages industriels et commerciaux en PSE est que ces flux de déchets soient triés à la source par les producteurs de déchets. Ainsi, lorsque le PSE est géré via des bennes de déchets non dangereux en mélange, il ne sera pas recyclé.

Les emballages en PSE étant légers, ceux-ci contiennent en effet 98% d'air et ont une masse volumique de l'ordre de 10 à 20 kg/m³, leur gestion en fin de vie nécessite de réunir un certain nombre d'autres conditions :

- Pouvoir collecter des quantités suffisamment importantes auprès des détenteurs de déchets
- Bénéficier d'une proximité géographique entre le gisement de déchets et les acteurs de la chaine de recyclage.

Sur son site internet, Eco PSE précise ainsi que « *l'intérêt environnemental de la filière de recyclage est fortement liée aux distances de transport. Au-delà d'une distance de 150 kilomètres entre le gisement de PSE et le site de recyclage, le transport et le procédé de recyclage deviennent plus coûteux en énergie que le processus de production de PSE vierge* » **[1]**).

[36] La différence correspond aux emballages ménagers et assimilés en PSE.

En ce qui concerne les déchets triés à la source, deux grands types de recyclage coexistent :

1/ Une voie visant à produire **des granulés de PS recyclé**. Cette voie peut accepter des PSE blancs et colorés et un niveau de souillure si celui-ci reste limité.
Les déchets de PSE collectés vont être compactés afin d'augmenter leur masse volumique (facteur 30 à 50 selon les cas) et ainsi réduire les coûts logistiques. Selon les schémas de collecte, cette compaction pourra se faire chez des recycleurs mais également au plus près des producteurs de déchets via des prestations utilisant des presses mobiles par exemple. Les pains de PSE compactés sont ensuite acheminés jusque chez des régénérateurs de plastiques, et suivre un certain nombre d'étapes (broyage, lavage éventuel, séchage, extrusion, granulation) jusqu'à l'obtention de granulés de R-PS qui pourront être utilisés pour fabriquer des objets par injection notamment.

2/ Une voie visant à désagréger les déchets afin de récupérer des **billes de PSE** qui seront ensuite utilisées dans les procédés de fabrication d'objets en PSE, a priori en mélange avec des billes neuves. Ceci suppose toutefois de disposer de déchets en PSE blanc, propres et secs **[2]**.
La voie « production de billes PSE recyclé » suppose une proximité géographique entre le gisement et les fabricants d'emballages PSE, ces déchets ne pouvant pas être compactés.

Selon les données rendues publiques par Eco PSE et Elipso, la voie « production de granulés PS » est majoritaire (de l'ordre de 75 à 80% des quantités recyclées).

En pratique, des points d'apports volontaires, en particulier dans les déchetteries professionnelles, ont été progressivement déployés par Eco PSE (environ 800 points à l'échelle nationale à l'heure actuelle **[1]**). La collecte se fait par exemple en grands sacs de 1 m^3 environ via des caisses grillagées.

Pour les industriels générant de volumes importants de déchets d'emballages en PSE, des collectes peuvent être directement contractualisées avec des collecteurs de déchets ou avec des fabricants d'emballages PSE, qui vont s'organiser pour réduire le plus possible les distances de transport et pour densifier les déchets le plus en amont possible **[4]**.

Les collecteurs de déchets peuvent également proposer aux entreprises de collecter leurs déchets d'emballages en PSE en même temps que d'autres déchets d'emballages industriels (par exemple, des cartons) et ainsi organiser des collectes sélectives multi-matériaux.

Certaines grandes enseignes de la distribution organisent également la collecte de déchets d'emballages PSE depuis leurs magasins jusqu'à leurs plateformes et entrepôts afin de massifier les flux et de les compacter avant envoi chez un régénérateur de PS **[3]**.

Les statistiques établies par ELIPSO concernant les emballages PSE fait également apparaître d'une proportion notable des déchets d'emballages PSE compactés sont ensuite exportés vers l'international. ELIPSO précise d'après exportation, « *le PSE sera recyclé, réintégré dans le process ou utilisé pour valorisation énergétique* » **[1]**.

Quelques chiffres

Les statistiques de valorisation des emballages industriels et commerciaux en PSE établies par ELIPSO via son enquête ELISTAT 2014 **[1]** sont les suivantes (NDLR : a priori hors déchets non valorisés dont la proportion n'est pas citée) :

- Recyclage sous forme de granulés PS : 54%
- Réincorporation sous forme de billes de PSE : 17%
- Exportation à l'international sans traitement : 20%
- Valorisation énergétique : 9%

	REFERENCES
[1]	ECO PSE. Site internet, dernière consultation le 19 juin 2020.
[2]	KNAUF. Le recyclage chez Knauf Industries. Rencontres Techniques. Le recyclage des matières plastiques - 4 & 5 Octobre 2011. Support de présentation, 21 pages
[3]	CLEMENT SPITERI / ECO PSE. L'emballage polystyrène expansé. Réseau IDEAL. 2 juillet 2009. Nouveaux matériaux : les filières émergentes. Présentation, 45 pages.
[4]	ADEME. Création d'une filière de valorisation du polystyrène expansé en Occitanie. Fiche, 2 pages. Octobre 2019