FEDEREC

ADEME
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

Évaluation environnementale du recyclage en France selon la méthodologie de l'analyse de cycle de vie



Mai 2017

FEDEREC, la Fédération Des Entreprises du Recyclage

FEDEREC est le syndicat professionnel des entreprises du recyclage.

Créée en 1945, **FEDEREC** fédère 1 300 entreprises du recyclage, de la TPE au grand groupe, répartis sur l'ensemble du territoire français et dont l'activité consiste à la collecte, le tri, la valorisation matière des déchets industriels et ménagers ou le négoce/courtage de matières premières recyclées.

FEDEREC est structurée en 12 Branches et 8 Syndicats régionaux.

Elle représente et défend les intérêts de ses adhérents, les accompagne au moyen d'une expertise et d'une assistance personnalisée et valorise les métiers des professionnels du recyclage.

www.federec.com

L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale. L'Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, les économies de matières premières, la qualité de l'air, la lutte contre le bruit, la transition vers l'économie circulaire et la lutte contre le gaspillage alimentaire.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer et du ministère de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche. www.ademe.fr ou suivez-nous sur @ademe

RDC Environment a été créé en 1992 avec l'ambition de soutenir les décisions des acteurs privés et publics dans le sens du développement durable.

L'expertise de RDC est reconnue sur le plan européen grâce à notre équipe expérimentée et motivée ainsi qu'à la qualité et l'innovation de nos outils et méthodes. Ainsi, nous fournissons à nos

« Nous contribuons à la prise de décision dans le sens du développement durable »
(Bernard De Caevel, fondateur, RDC Environment)



Bruno LECHEVIN, Président ADEME

D'ici 2050, nous devrions être plus de 9 milliards de personnes, à consommer toujours plus de ressources et à exercer une pression toujours plus forte sur la planète. Il faut donc, sans attendre, engager une évolution profonde de notre modèle de production et de consommation. C'est un impératif pour préserver notre planète et assurer notre bien-être, mais c'est aussi une formidable opportunité pour les entreprises d'innover et de renforcer leur compétitivité.

La France, avec la loi de transition énergétique pour la croissance verte d'août 2015, s'est résolument engagée dans ce changement de modèle dont l'économie circulaire est un des piliers. Fer de lance de la mise en œuvre de cette Loi, l'ADEME accompagne tous les acteurs, territoires comme entreprises, pour engager cette transition, mettre en place des actions, innover tant en matière de procédés que d'organisation, et pérenniser leurs démarches d'économie circulaire.

Ainsi, dans le domaine du recyclage, qui est un axe fort pour optimiser l'usage des ressources, nous soutenons le développement de capacités de recyclage et l'utilisation de matières premières de recyclage, par exemple au travers du dispositif Orplast.

L'étude publiée avec Federec apporte de nouveaux éléments qui permettront de mesurer les bénéfices environnementaux de recyclage et de faire progresser l'ensemble des filières pour améliorer sans cesse ce bilan. Ce travail, totalement novateur dans sa démarche, démontre que ce secteur peut être un acteur majeur dans l'atteinte des objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Ces nouveaux éléments doivent donc nous conforter dans notre volonté d'appuyer ce secteur, moteur de croissance verte, pour qu'il relève les défis de l'innovation et de l'optimisation de ses impacts afin de renforcer sa contribution positive à la transition énergétique et écologique de notre pays.



Jean-Philippe CARPENTIER, Président FEDEREC

La lutte contre le changement climatique est un enjeu planétaire qui implique une action collective. C'est pourquoi FEDEREC a lancé mi-2015, une étude approfondie sur les principales filières du recyclage en France afin de mesurer les bénéfices environnementaux du secteur.

Cette étude liée à l'usage des matières premières de recyclage est un événement majeur pour la branche du recyclage et pour La Fédération des Entreprises du Recyclage.

Menée en partenariat avec l'ADEME et réalisée par RDC Environnement, elle démontre de manière qualitative et quantitative que l'usage de matières premières de recyclage en substitution des matières premières fossiles ou primaires permet de contribuer à l'atteinte des objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre de la France (diviser par quatre ses émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2050).

Pour cela deux conditions sont nécessaires : le gisement de déchets triés entrant dans la voie du recyclage ne doit cesser de croître, d'une part, et les matières premières de recyclage doivent être utilisées par l'industrie française afin que les réductions d'émission et les économies d'énergie réalisées puissent bénéficier à la France, d'autre-part. Il faut donc développer le tri des déchets et développer notre industrie consommatrice de matières premières de recyclage.

Cette étude et le logiciel de calcul des bénéfices environnementaux développé en parallèle, constituent une pépite qu'il convient de faire briller. Cela donne du sens à nos métiers et des arguments qui dépassent le simple rapport économique.

Cette étude a vocation à être, en permanence, mise à jour et enrichie pour affiner les données et les compléter. Rendez-vous donc pour la version 2 !



Synthèse

Synthèse

Présentation de l'étude

Au sein du défi global qu'est le développement durable, l'économie circulaire est un levier important pour les autorités publiques et les industriels. Le recyclage est l'un des leviers qui permet d'atteindre les objectifs d'économie de ressources et de diminution des émissions de gaz à effet de serre fixés à travers différents textes européens et nationaux. Ainsi, En France, on peut citer la loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte fixant, parmi d'autres, l'objectif d'augmentation de la quantité de déchets non dangereux non inertes valorisés sous forme de matière à 55% (en masse) en 2020 et 65% en 2025 ainsi que l'objectif spécifique aux déchets du bâtiment et des travaux publics de valoriser sous forme de matière 70 % des déchets en 2020.

Dans ce contexte, FEDEREC a pour ambition de réaliser le bilan environnemental du recyclage selon la méthode d'analyse de cycle de vie (ACV) pour les filières de recyclage les plus représentatives du marché français selon une méthodologie homogène. Les filières étudiées sont les ferrailles, les métaux non ferreux : Aluminium et Cuivre, les papiers et cartons, le verre d'emballage, le PET et PEhd d'emballage, les déchets du bâtiment à destination des techniques routières et les chiffons textiles. Les deux indicateurs environnementaux étudiés sont l'effet de serre et la consommation d'énergie primaire (renouvelable et non renouvelable).

Le choix de l'ACV permet d'évaluer ces filières au travers de plusieurs indicateurs environnementaux et donc de dresser un profil le plus exhaustif possible. Ce rapport constitue une première étape de ce projet global. Le nombre de filières étudiées ainsi que le nombre d'indicateurs environnementaux pourront évoluer progressivement au cours des prochaines années.

Enfin, ce rapport, recueil des données et choix méthodologiques réalisés, accompagne un outil web, calculette environnementale des impacts du recyclage. Cet outil permettra aux adhérents de FEDEREC d'évaluer l'impact de leurs propres processus de production mais aussi à la fédération, conjointement avec l'ADEME, de rééditer ce bilan environnemental chaque année.

Ce rapport a été relu, commenté et modifié en conséquence lors d'un travail de revue critique par le cabinet Deloitte Par ailleurs, dans le cadre de l'évaluation environnementale du recyclage pour l'étude Bilan National du Recyclage 2014 de l'ADEME, les « experts métiers » du comité de suivi de cette étude ont été consultés. Les commentaires réalisés ont été soit intégrés dans cette étude soit non retenus et une réponse argumentée a été fournie au demandeur.

Aspects méthodologiques :

L'Unité Fonctionnelle (UF) définit précisément la fonction qui est remplie par le système étudié et pour laquelle les impacts environnementaux vont être quantifiés. Cette unité est définie à partir de l'objectif de l'étude. Dans le cadre de ce projet, l'unité fonctionnelle est : **Analyse de la collecte, du tri et de la transformation d'une tonne de déchets afin de produire des matériaux intermédiaires issus de MPR en substitution de matériaux intermédiaires issus de ressources vierges**

Les flux de référence concernés sont les déchets collectés et triés en France. Le périmètre géographique de la suite des étapes de production pour arriver aux matériaux intermédiaires issus de MPR dépendent des exportations annuelles.

Le périmètre d'évaluation de la filière mesure les impacts tout au long de la chaine de recyclage ainsi que les impacts découlant de de cette filière de recyclage : c'est-à-dire, quelle est la collecte évitée, la fin de vie évitée et la production évitée de matières premières vierges. La méthode de calcul appliquée se base sur la formule de fin de vie recommandée par l'ADEME dans son référentiel méthodologique sur l'affichage environnemental en France (ex BPX-30-323-0).

Le matériau issu de matières premières de recyclage (MPR), bien que remplissant les mêmes fonctions que le matériau d'origine primaire ou fossile, ne se substitue pas toujours complétement. En effet, il est parfois nécessaire d'utiliser une quantité de matériau d'origine recyclée supérieure au matériau vierge pour atteindre les mêmes caractéristiques techniques. Cet aspect est considéré à travers un taux de substitution définit pour chacune des filières.

Enfin, les critères de priorisation des données utilisées dans ce rapport sont les suivants : recherche de la donnée la plus à jour possible pour le critère temporel, recherche de données françaises sinon européennes pour le critère géographique et recherche de données représentatives des technologies moyennes utilisées actuellement.

Résultats :

Les résultats sont détaillés selon les phases de cycle de vie suivantes : la collecte des déchets à recycler, le tri de ces déchets, la production des matières premières de recyclage (MPR), la consommation de MPR (autrement appelée dans le document : production de matériaux intermédiaires issus de MPR), la production évitée de matériaux intermédiaires d'origine vierge et la collecte et la fin de vie évitée grâce à la mise en place d'une filière de recyclage.

En 2014, les filières de recyclage ont permis d'éviter environ 22,5 Mt CO2-eq et 123 500 GWh d'énergie primaire. A titre d'exemple, cela représente 4.9% des émissions totales du territoire français qui s'élèvent à 461 Mt CO2-eq. en 2014 (source MEDDE) et 10.3 % de la consommation d'énergie primaire pour la production d'électricité en France en 2014 (calcul expliqué en Annexe 13).

Pour chaque indicateur environnemental, les résultats sont détaillés comme suit :

- Concernant l'indicateur effet de serre, le recyclage des métaux ferreux représente 76% du bilan total (12 900 kt collectées soit 25.4% des tonnages), le recyclage de l'aluminium contribue à hauteur de 20 % du bilan total (589 kt collectées soit 1.2% des tonnages) et les autres flux contribuent à hauteur de 4% du bilan global (37 390 kt collectées soit 73.4% des tonnages, dont 27 700 kt de déchets inertes du bâtiment).
- Concernant la consommation d'énergie primaire, le recyclage des cartons représente 33% du bilan total (4 500 kt collectées soit 8.8% des tonnages), 28% pour les métaux ferreux, 20% pour l'aluminium et 13% pour le papier (2 800 kt collectées soit 5.5% des tonnages). Les autres flux contribuent à hauteur de 7% du bilan (30 090 kt collectées soit 59.1% des tonnages, dont 27 700 kt de déchets inertes du bâtiment).

Cette étude a permis d'évaluer le pourcentage de production de matière primaire évitée pour chaque tonne recyclée : **le recyclage d'une tonne de ferrailles permet d'éviter l'équivalent de 57% des émissions de CO_2 nécessaires à la production d'une tonne d'acier primaire**. Ce pourcentage monte **à 89% pour le recyclage du PEHD, 93% pour le recyclage de l'aluminium et 98% pour le recyclage des textiles.**

Concernant la consommation d'énergie, **le recyclage d'une tonne de ferraille permet d'éviter 40% de la consommation énergétique primaire d'une tonne d'acier primaire, 89% pour le recyclage du PEHD, 94% pour le recyclage de l'aluminium et 99% pour le recyclage des textiles.**

Compte tenu des hypothèses et des données utilisées, on constate que le recyclage du carton donne un résultat algébriquement positif sur l'effet de serre. En effet, selon FEFCO, l'industrie du vierge utilise, en moyenne en Europe, une plus grande quantité d'énergie d'origine renouvelable (biomasse) que

l'industrie du recyclé. La combustion de cette biomasse émet du carbone d'origine biogénique[1] qui n'est pas comptabilisé dans cette étude ou, qui s'il était comptabilisé, aurait un bilan neutre sur l'indicateur effet de serre (le carbone émis pendant la combustion a été capté pendant la croissance de la biomasse). Il est important de noter que les résultats sur l'effet de serre ne reflètent pas la plus grande sobriété énergétique de la filière du recyclage, comme le montrent les résultats sur l'indicateur de consommation d'énergie primaire.

Par ailleurs, les caractéristiques des données utilisées (disponibles au moment de l'étude) limitent la validité des conclusions :

- Les données utilisées pour la transformation des balles de papiers en pâte à papier (source : ADEME-COPACEL 2013) correspondent à la production de pâte à papier pour ramettes de papier. Le recyclage des journaux et magazines est approximé via ces données, alors qu'il est réalisé dans des usines intégrées où la pâte produite est immédiatement transformée en bobines de papier. Les résultats actuels désavantagent le recyclage.
- Les données d'inventaire de la régénération du carton (recyclage) et les données de production de carton vierge sont des données issues de moyennes européennes (FEFCO) alors que la part des fibres de récupération, utilisées par les usines papetières en France, a été de 73.6% du tonnage collecté en 2014. Enfin, selon FEDEREC[2], la part respective de l'utilisation de la biomasse entre les usines consommant des fibres vierges et celles consommant des fibres recyclées n'est pas la même en France que dans certains pays d'Europe, ce qui ne permet pas de mettre en évidence l'éventuelle économie de gaz à effet de serre que pourrait procurer le recyclage de la fibre.

[2] Le taux d'utilisation des fibres récupérées par l'industrie papetière en France était de 66,3% en 2015 (source : CEPI). La France se place au 7ème rang européen, contre un taux d'utilisation européen moyen de 53,2% (il est de 5.5% en Finlande et 11.9% en Suède, pays gros consommateurs de fibres vierges). Ce ratio montre bien que la part des usines de vierge, supposées consommer davantage de biomasse selon FEFCO, sont minoritaires en France.

Summary

Study presentation

The Circular economy offers an opportunity to reinvent our economy, making it more sustainable and competitive. This is a major issue for public authorities and industries. Recycling is one the important aspects of circular economy to reach the objectives of natural resource saving and greenhouse gas reduction, set through European directives and national laws. Thus, the French law n° 2015-992 of the August 17th 2015, related to energy transition for green growth can be quoted as one of the last examples. This text describes the following objectives: to increase the material recovery of non-hazardous and non-inert waste to 55% in 2020 and 65% in 2025 and to increase the material recovery of building waste to 70% in 2020.

Within this context, FEDEREC has the ambition to perform the environmental assessment of recycling in France following a homogeneous methodology which is the life cycle assessment (LCA) methodology. A life cycle assessment (LCA) approach accounts for all direct and indirect environmental effects for several environment indicators in order to obtain an exhaustive profile. This report constitutes a first step to a global project. The number of sectors studied and the number of environmental indicators will gradually evolve over the following years.

This report presents the methodological choices and the data sources used in the associated web tool: this environmental recycling calculator will enable FEDEREC members to evaluate the impact of their own production processes but also to the federation, together with ADEME, to publish the results annually.

The sectors studied are ferrous metals, non-ferrous metals (aluminium and copper), paper and cardboard, packaging glass, PET and PEhd packaging, building waste for road technology and textile rags.

This report has been peer reviewed by an LCA expert from Deloitte. Furthermore, in the framework of the ADEME study on national balance of recycling activities in 2014, the "sectorial experts" from the study monitoring committee were consulted. The comments made were either incorporated into this study or an argued response was provided to the applicant.

Methodological aspects:

The functional unit (FU) defines precisely the qualitative and quantitative aspects of the function performed by the system under study. This unit, built from the goal of the study, is the following: **Collect, sort and transform one ton of waste in order to produce secondary raw materials (at an intermediate level of transformation).**

The reference flows are the waste collected and sorted in France. The geographical scope of the next transformation steps depends on annual exportations.

The two environmental indicators studied are the greenhouse effect and the cumulative energy demand.

The study assesses the impacts throughout the recycling chain as well as the situation in the absence of this recycling process, meaning the end-of life scenario avoided in absence of a recycling situation and the avoided production of virgin raw materials. The calculation method applied is based on the formula of end-of-life recommended by ADEME in its methodological guidelines on environmental labelling in France (ex BPX-30-323-0).

The recycled material, although fulfilling the same functions as the material of virgin origin, is not always completely substitutable. Indeed, it is sometimes necessary to use a greater amount of recycled material

than virgin material to reach the same technical characteristics. This aspect is considered through a substitution rate defined for each sector.

Finally, the criteria for prioritizing the data used in this report are as follows: prioritize the most up-to-date data for the temporal criterion, prioritize the French data otherwise European data for the geographical criterion and prioritize the data representative of the average technologies used actually.

Results

The results are detailed according to the following life cycle stages: waste collection, waste sorting, waste recycling, transformation of recycled materials, avoided production of virgin material, avoided end-of-life scenario.

In 2014, the recycling industry (for the sector studied) prevented about 22,100 kt CO2-eq and 124,000 GWh of primary energy. For example, this represents 4.9% of the total French emissions counting for 461 Mt COE-eq (source: French ministry of environment) and 24% of the French electricity production of 546 TWh in 2014 (source: RTE, French transmission system operator of electricity).

These results should be put in perspective with the tons of recycled waste and the unit contribution of each of the sectors studied.

- Regarding the greenhouse effect indicator, the ferrous metals recycling sector contributes to 76% of the total results (12 900 kt collected), the aluminium recycling sector contributes to 20% of the total results (623 kt collected) and the other sectors contribute to 4% of the total results (32,900 kt collected, including 27 700 kt of inert building waste).
- Regarding the cumulative energy demand, the cardboard recycling sector represents 33% of the total results (4,500 kt collected), 28% for ferrous metals recycling sector, 20% for aluminium recycling sector and 13% for paper recycling sector (2,800 kt collected). The other sectors contribute to 6% of the balance sheet.

The study also shows that the two most contributing life cycle stages are the avoided production of virgin materials and the transformation of recycled materials for all sectors.

The results of this study can also be expressed as follows: recycling a ton of ferrous metals avoids the equivalent of 57% of CO_2 emissions needed to produce one ton of primary steel. This percentage rises to 89% for PET recycling, 93% for aluminum recycling and 98% for textiles recycling.

Concerning the cumulative energy demand, recycling a ton of ferrous metals avoids 40% of primary energy consumption of one ton of primary steel. This percentage rises to 89% for PET recycling, 94% for aluminum recycling and 98% for textiles recycling.

Given the assumptions and data used, we find that cardboard recycling gives an algebraically positive result of the greenhouse effect. Indeed, according to FEFCO, the virgin industry uses (on average in Europe) a greater amount of energy from renewable sources (biomass) than the recycled industry. The combustion of this biomass would have[3] a neutral balance on the greenhouse effect indicator (carbon emitted during combustion was captured during the growth of biomass). It is important to note that the results on the greenhouse effect do not reflect the greater energy sobriety of the recycling sector, as shown by the results on the cumulative energy demand.Moreover, the data used (available at the time of the study) limit the validity of the conclusions:

[3] This study do not take into biogenic carbon

- . The data used for the transformation of paper bales into pulp (source: ADEME-COPACEL 2013) corresponds to the production of paper pulp for graphic paper like office paper reams. The recycling of newspapers and magazines is approximated with these data, whereas it is carried out in integrated factories where the pulp produced is immediately transformed into reels of paper, which makes it impossible to conclude.
- Datasets for cardboard recycling and virgin production are representatives of European averages (FEFCO) whereas the share of recovered fibres used by paper mills in France was 73.6% of the tonnage collected in 2014. Finally, according FEDEREC[4], the extent of the use of biomass from plants consuming virgin fibres and those consuming recycled fibres is not the same in France than in European countries. This does not make it possible to highlight the potential greenhouse gas savings that fibre recycling could provide.

[4] The share of fibres recovered by the paper industry in France was 66.3% in 2015 (source: CEPI). France ranks 7th in Europe, compared to an average European utilization rate of 53.2% (5.5% in Finland and 11.9% in Sweden, major consumers of virgin fibres). This ratio clearly shows that the share of virgin plants, supposed to consume more biomass according to FEFCO, is a minority in France.

Table des matières

I. Introduction 14
I.1. Contexte 14
I.1.1. Contexte législatif 14
I.1.2. Évaluations environnementales existantes 15
I.1.3. Inscription de cette étude dans le projet de FEDEREC 16
I.2. Description de la méthodologie d'analyse de cycle de vie 17
I.3. Démarche 18
II. Objectif et Champ de l'étude 20
II.1. Objectif de l'étude 20
II.2. Public cible 20
II.3. Revue critique 20
II.4. Les filières étudiées 21
II.5. L'unité fonctionnelle 22
II.6. Matériaux issus des filières de recyclage 22
II.7. Indicateurs environnementaux 24
II.8. Frontières du système 25
II.9. Méthode de calcul appliquée 26
II.10. Champs géographique et temporel 27
II.11. Principales sources des données 29
II.12. Critère de coupure 30
III. Description du calcul de l'inventaire 32
III.1. Aspects méthodologiques communs à toutes les filières 32
III.2. Caractérisation des déchets multi-matériaux alimentant plusieurs filières de recyclage 32
III.2.1. Véhicules hors d'usage 32
III.2.2. Déchets d'équipements électriques et électroniques 34
III.3. Données et hypothèses des chaines de recyclage par filière 35
III.3.1. Métaux Ferreux et non Ferreux (Aluminium et cuivre) 35
III.3.2. Papiers et cartons 49
III.3.3. Verre d'emballage 55
III.3.4. Plastiques d'emballages 60
III.3.5. Granulats 65
III.3.6. Textiles 67
III.4. Hypothèses et données sur les filières de production des matériaux d'origine vierge évitées par le recyclage 71
III.5. Hypothèses et données sur les filières de fin de vie évitées par le recyclage 75
IV. Évaluation de la qualité et la représentativité des données 77

V. Évaluation des indicateurs pour le bilan national de l'année 2014 80
V.1. Tonnages collectés et recyclés en 2014 80
V.2. Rappel des phases du cycle de vie prises en compte 80
V.3. Contribution au changement climatique 81
V.4. Consommation d'énergie primaire 85
V.5. Analyses de sensibilité 89
V.5.1. Analyse de sensibilité avec RangeLCA 89
V.5.2. Toutes filières 89
V.5.3. Filière ferraille : source de données 91
V.5.4. Filière aluminium : source de données 93
V.5.5. Filière papier : source de données de la matière première évitée 94
VI. Conclusions 96
VI.1. Principaux enseignements de l'étude 96
VI.2. Limites de l'étude 101
VII. Annexes 102

Table des annexes

Annexe 1 : Modélisation des mix énergétiques 102
Annexe 2 : Modélisation du transport 103
Annexe 3 : Modélisation de l'incinération et de l'enfouissement 106
Annexe 4 : Données de modélisation de la collecte sélective 110
Annexe 5 : données de modélisation de la découpe des métaux au gaz propane 112
Annexe 6 : Résultats de l'ACV de la pâte à papier recyclée et de la pâte marchande moyenne 113
Annexe 7 : Données sur la régénération des emballages PET et PEhd en granulés 114
Annexe 8 : Données utilisées pour le calcul de la consommation électrique de la filière granulats 117
Annexe 9 : Données de modélisation du mix textile évité 118
Annexe 10 : Données de tonnages collectés utilisées pour les résultats de cette étude 119
Annexe 11 : Résultats ACV détaillés 123
Annexe 12 : Facteurs de caractérisation des méthodes associées aux indicateurs environnementaux 125
Annexe 13 : Consommation d'énergie primaire : équivalence des résultats de l'étude avec la consommation d'énergie primaire pour la production d'électricité en France 130
Annexe 14 : Liste du comité de pilotage 131
Annexe 15 : Rapport de revue critique 132
Annexe 16 : Commentaires de la revue critique réalisée par Deloitte 136
Annexe 17 : Commentaires des « experts métiers » du comité de suivi de l'étude sur le Bilan National du Recyclage 2014 de l'ADEME 167

I. Introduction

I.1. Contexte

I.1.1. Contexte législatif

Au sein du défi global qu'est le développement durable, l'économie circulaire est un levier important pour les autorités publiques et les industriels. Au sein de l'économie circulaire, le recyclage est l'un des leviers qui permet d'atteindre les objectifs d'économie de ressources et de diminution des émissions de gaz à effet de serre.

Ainsi, de nombreux textes règlementaires européens ou nationaux mettent en avant l'importance du recyclage des produits et matériaux. Ces réglementations/directives fixent également des objectifs quantitatifs à atteindre selon les filières (Emballages, VHU, DEEE, Papiers graphiques…). La France s'est notamment fixée les objectifs suivants au travers de la loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte :

- Augmenter la quantité de déchets faisant l'objet d'une valorisation sous forme de matière, notamment organique, en orientant vers ces filières de valorisation, respectivement, 55 % en 2020 et 65 % en 2025 des déchets non dangereux non inertes, mesurés en masse
- Étendre progressivement les consignes de tri à l'ensemble des emballages plastique sur l'ensemble du territoire avant 2022, en vue, en priorité, de leur recyclage, en tenant compte des prérequis issus de l'expérimentation de l'extension des consignes de tri plastique initiée en 2011
- Valoriser sous forme de matière 70 % des déchets du secteur du bâtiment et des travaux publics en 2020
- Réduire de 30 % les quantités de déchets non dangereux non inertes admis en installation de stockage en 2020 par rapport à 2010, et de 50 % en 2025
- Réduire de 50 % les quantités de produits manufacturés non recyclables mis sur le marché avant 2020

Pour atteindre ces objectifs, deux leviers doivent continuellement se développer :

- l'industrialisation du recyclage pour recycler en quantité et en qualité ;
- la recherche de débouchés à haute valeur ajoutée pour les matières premières de recyclage (MPR).

Pour le second point, les MPR sont aujourd'hui confrontées à une compétition vive avec les matières vierges dans la mesure où le contexte économique tend à la chute des prix du pétrole et des matières premières.

Les critères de prix, de qualité, de sécurisation de l'approvisionnement, ne sont pas suffisants pour développer une demande suffisante et des marchés stables et pérennes de matières premières de recyclage (MPR). Promouvoir les bénéfices du recyclage touchant les 3 piliers du développement durable est nécessaire afin d'apporter des arguments aux potentiels utilisateurs de la matière recyclée.

De plus, en décembre 2015, la commission européenne a adopté une série de mesures sur l'économie circulaire (appelé « paquet économie circulaire »). Ces mesures ont pour ambition de faciliter la transition de l'Europe vers une économie circulaire dans un objectif de favoriser une économie durable et compétitive. Partant du constat que 600 millions de tonnes de matières contenues dans les déchets sont perdues et pourraient être recyclées ou réemployées, ce paquet de mesures contient des

propositions relatives aux déchets instaurant des objectifs ambitieux à long terme de recyclage. Ces objectifs de recyclage communs au niveau de l'union européenne sont les suivants :

- Recycler 65% des déchets municipaux d'ici 2030,
- Recycler 75% des déchets d'emballages d'ici 2030.

I.1.2. Évaluations environnementales existantes

En France, plusieurs évaluations environnementales du recyclage ont été effectuées en utilisant l'analyse de cycle de vie. Cependant, les études identifiées n'avaient pas pour objectif de dresser un bilan global du recyclage et leur périmètre était donc restreint. On peut citer :

- *« Leviers d'amélioration environnementale de la gestion des déchets ménagers et assimilés »*, ADEME et Eco-Emballages, réalisée en 2012 par RDC Environment s'est attachée à évaluer les filières de gestion des déchets ménagers et assimilés » en France via la méthode d'analyse de cycle de vie.
- *« Bilan environnemental du projet d'extension des consignes de tri à l'ensemble des emballages ménagers plastiques »*, ADEME et Eco-Emballages, réalisé en 2014 par le cabinet Bleu Safran
- *« Bilan environnemental de filières de traitement de plastiques de différentes origines »*, Eco-Emballages, réalisée en 2006 par Bio Intelligence Service.
- Bilan environnemental comparé de différentes fins de vie pour les emballages présents dans les ordures ménagères (comparaison de la collecte sélective avec les traitements mécanobiologiques), Eco-Emballages, réalisée en 2009 par RDC Environment.
- Bilan environnemental et monétarisation du recyclage des plastiques et papiers cartons, MEDAD, réalisée en 2009 par RDC Environment

De plus, le logiciel WISARD 4.0, propriété de PwC ECOBILAN, a été développé pour évaluer et comparer des scénarios de gestion des déchets selon la méthode d'analyse de cycle de vie. Cet outil, développé pour les ordures ménagères, permet la modélisation de la fin de vie de produits et permet ainsi de représenter les impacts et d'évaluer la performance environnementale relative des filières de gestion de déchets suivantes : incinération des ordures ménagères et assimilés, centre de stockage de déchets, compostage, méthanisation, recyclage des emballages ménagers.

En Belgique, une étude sur « Bilan des émissions de gaz à effet de serre du recyclage des emballages ménagers », réalisée en 2007 par RDC Environment pour Fost Plus. Celle-ci ne traite pas non plus de recyclage dans son ensemble.

En Grande-Bretagne, le « Bureau of International Recycling »[5] a calculé les bénéfices environnementaux du recyclage pour 8 matériaux (aluminium, cuivre, ferreux, plomb, nickel, étain, zinc et papier). Les limites de cycle de vie considérées sont définies de manière à comparer la production d'un matériau primaire à partir de la matière première livrée à l'usine au produit final et la production d'un matériau recyclé livré à l'usine de recyclage au produit final. Le bilan est fait pour la consommation d'énergie et les émissions de dioxyde de carbone équivalent associées.

Enfin, l'état de l'art nommé « Environmental benefits of recycling, 2010 update », réalisé par Bio Intelligence Service et le *Copenhagen Resource Institute* pour le WRAP (*Waste and Resources Action Programme*) visant à identifier les études ACV traitant de la fin de vie des déchets confirme qu'il n'existe pas de sources récentes sur l'évaluation globale de la filière de recyclage.

[5] Report on the Environmental Benefits of Recycling, Bureau of International Recycling (BIR), october 2008.

Le recyclage est également évalué au travers de projets d'évaluation plus large que la fin de vie des déchets, à l'image de l'outil BEE d'Eco-Emballages et Adelphe. Cet outil a pour vocation d'apporter aux entreprises un appui opérationnel permettant de les aider dans leur démarche d'éco-conception des emballages. Au travers de cet exemple, le recyclage est évalué mais intégré dans un périmètre d'étude spécifique aux emballages.

I.1.3. Inscription de cette étude dans le projet de FEDEREC

FEDEREC a pour ambition de réaliser le bilan environnemental du recyclage selon la méthode d'analyse de cycle de vie pour les filières de recyclage les plus représentatives du marché français. Le choix de l'ACV permet d'évaluer ces filières au travers de plusieurs indicateurs environnementaux et donc de dresser un profil le plus exhaustif possible. Ce rapport constitue une première étape de ce projet global. Le nombre de filières étudiées ainsi que le nombre d'indicateurs environnementaux pourront évoluer progressivement au cours des prochaines années.

Par ce projet, FEDEREC rejoint l'engagement 265 du Grenelle de l'environnement et continue d'améliorer l'état des connaissances des impacts environnementaux du recyclage des déchets. Ce projet s'inscrit dans la continuité des conclusions et recommandations du volume 3 du bilan du recyclage[6] : évaluation de l'impact environnemental à savoir **:**

- *« ... Les évolutions méthodologiques récentes, l'âge de certaines données et le manque de facteurs d'émissions pour certaines matières rendent cependant nécessaires le développement ou l'adaptation de ces facteurs à moyen terme… »*
- *« …différentes recommandations apparaissent concernant l'amélioration de la fiabilité, robustesse, répétabilité et/ou l'actualisation des facteurs d'émissions du recyclage des matériaux »*

[6] Bilan national du recyclage 2001-2010 ; Volume 3 : Évaluation de l'impact environnemental – septembre 2012 - ADEME

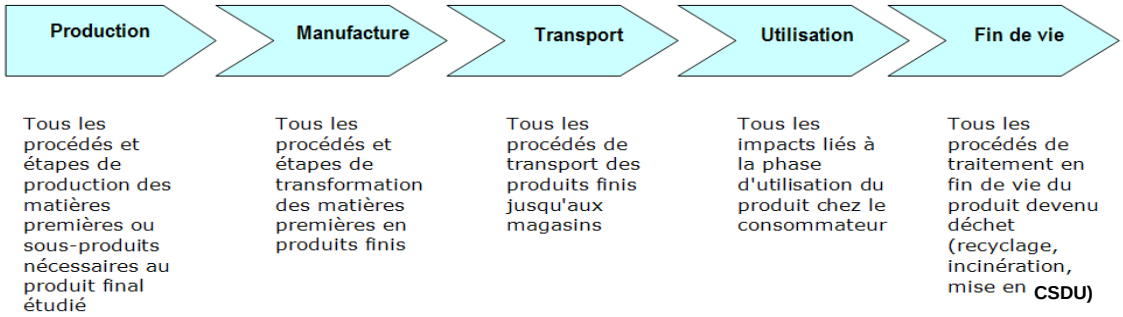
I.2. Description de la méthodologie d'analyse de cycle de vie

La méthodologie d'analyse de cycle de vie permet d'évaluer les impacts environnementaux potentiels sur tout le chemin parcouru par un produit, du moment de sa production jusqu'à son élimination réelle. Cette méthodologie est standardisée par les normes internationales ISO 14040 et ISO 14044, qui décrivent les différentes étapes de la réalisation d'une Analyse de Cycle de Vie :

1. Objectif et champ d'étude ;
2. Calcul et analyse de l'inventaire ;
3. Évaluation d'impacts ;
4. Interprétation des résultats.

En pratique, chaque système est décomposé en plusieurs étapes reposant sur l'identification des **procédés unitaires** qui les composent. Chacun de ces procédés correspond à une action précise dans la filière, de telle sorte que, mis bout à bout, ces procédés conduisent à l'élaboration d'un **arbre de procédés** pour chaque chaîne d'actions ou système.

Figure I-1 : Étapes du cycle de vie prises en compte traditionnellement en ACV



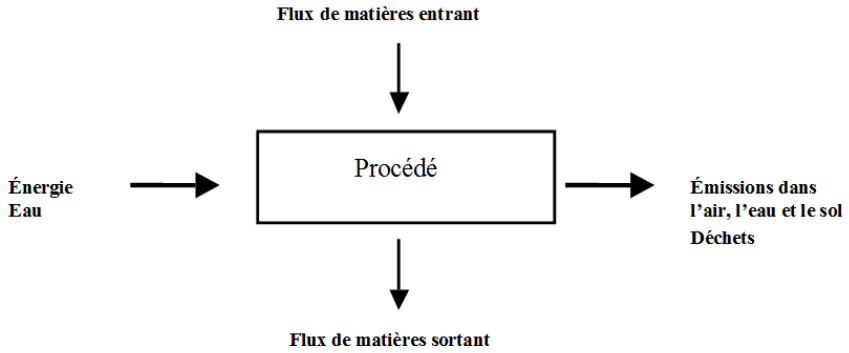
Note : les étapes du cycle de vie prises en compte dans cette étude sont présentées au chapitre *II.8* page *25.*

Les principales phases de la seconde étape (calcul et analyse de l'inventaire) sont les suivantes :

- Élaboration de l'arbre de procédés pour chaque système ;
- Description des entrées et sorties de chaque procédé unitaire ;
- Recherche des données de chaque procédé : consommations de ressources naturelles et émissions dans l'air, l'eau et le sol.

De façon schématique, chaque procédé unitaire reprend les informations suivantes :

Figure I-2 : Informations typiques pour l'inventaire d'un procédé



Une fois les procédés identifiés, leur intégration va permettre de reconstituer l'ensemble de la chaîne. La construction de l'arbre des procédés est progressive et part de **l'Unité Fonctionnelle** (fonction remplie par le système étudié). La chaîne comprend également les impacts évités grâce au recyclage, soit la non-production de matières premières vierges.

Lors de l'étape 3 (évaluation d'impacts), les différents flux sont regroupés en catégories d'impacts selon leur contribution à un problème environnemental. Pour chaque catégorie d'impacts, des *facteurs de caractérisation* spécifiques sont associés à chaque valeur de flux afin d'exprimer cet effet sur l'environnement dans une unité commune (par exemple, pour l'indicateur de contribution au changement climatique, le kg CO_2-eq est retenu comme unité commune). Les indicateurs d'impacts sur l'environnement peuvent être ainsi quantifiés et évalués.

Lors de l'étape 4 (Interprétation des résultats), les phases du cycle de vie et les flux élémentaires qui contribuent le plus aux indicateurs d'impacts environnementaux, sont identifiés. Des actions peuvent être menées afin de prévenir ou limiter les impacts. L'approche ACV, multicritères, contribue en outre à éviter les transferts de pollutions (d'une problématique environnementale vers une autre et d'une phase du cycle de vie vers une autre) lors de la prise de décision.

I.3. Démarche

La démarche itérative a été suivie pour la modélisation environnementale des filières, notamment sur base :

- Du retour d'expérience avec les présidents de branche FEDEREC (la liste du comité de pilotage de l'étude est présentée en *Annexe 13)* ;
- Les modélisations et données ACV déjà existantes ;
- La recherche de données pour affiner les résultats avec :
  - Des éco-organismes (Eco-Emballages, Eco-TLC, Eco-folio),
  - Les fédérations de producteurs de matières premières vierges,
  - Les entreprises du secteur du recyclage adhérentes à FEDEREC.

Deux types de données doivent être distingués :

- Données d'inventaire

Ces données sont le plus souvent des inventaires de cycle de vie (ICV), reprenant pour une activité ou un produit donné l'ensemble des émissions de polluants et les consommations de ressources. Ces facteurs d'émissions sont le plus souvent repris dans des bases de données (ex : Ecoinvent).

- Données d'activité

Cette notion est définit dans le BPX-30-323-0[7] à travers la notion de « donnée primaire d'activité ». C'est la « valeur quantifiée issue d'une mesure directe ou d'un calcul à partir de mesures directes d'une activité ou d'un processus du cycle de vie du produit. Cette valeur permet, après multiplication par un facteur d'émission ou de caractérisation, de calculer un indicateur de catégorie d'impact ».

Ces paramètres caractérisent chacun des procédés, produits et/ou activités liés au cycle de vie du produit/procédé étudié. Exemple : distance de transport, consommation énergétique, taux d'indésirables dans un flux collecté…

La recherche de données pour affiner les résultats est essentiellement accomplie sur les données d'activité.

[7] Guide des bonnes pratiques de l'affichage environnementale en France

II. Objectif et Champ de l'étude

II.1. Objectif de l'étude

Ce projet a pour objectif de réaliser le bilan national gaz à effet de serre et consommation d'énergie des filières de recyclage au moyen de la méthodologie d'Analyse de Cycle de Vie (ACV).

L'intérêt de ce projet est également de rendre le bilan reproductible dans le temps et de permettre d'identifier les principaux contributeurs de ce bilan et les leviers d'amélioration du bilan.

Il s'articule ainsi en trois étapes :

1. Créer ou mettre à jour et homogénéiser la modélisation ACV pour les différentes filières de recyclage ;
2. Établir et analyser les résultats du recyclage en France pour l'année 2014 ;
3. Réaliser un outil web, pour rendre les calculs spécifiques pour chacune des filières de recyclage étudiées et permettre la reproductibilité de ces bilans. Cet outil aura deux types d'utilisateurs :
    - Les adhérents de FEDEREC, qui pourront évaluer leurs filières au regard de leurs tonnages et de leurs étapes de cycle de vie (par exemple, le choix du broyage ou du cisaillage dans le cas des métaux). Ils pourront également modifier des données techniques telles que les distances de transport, les consommations d'énergie, les pertes, etc.
    - FEDEREC et l'ADEME, qui pourront éditer les bilans annuels (tonnages nationaux) et modifier des paramètres de modélisation tel que le mix électrique, le taux de substitution à la matière première vierge, le scénario de fin de vie en l'absence de recyclage, les distances de collecte sélective, etc.

Ces bilans seront alors communiqués largement aux parties prenantes.

Ce rapport, accompagnant l'outil web, constitue un recueil des choix méthodologiques, des données et des hypothèses menant aux résultats ACV. Il est donc centré sur les objectifs 1 et 2 de l'étude.

II.2. Public cible

Cette étude est commanditée par FEDEREC en partenariat avec l'ADEME. Ce rapport a pour but de présenter et justifier les choix méthodologiques pour la réalisation de l'outil Web qui sera utilisé par les adhérents de FEDEREC. Cet outil pourra également être utilisé par l'ADEME, notamment pour ajouter une dimension d'évaluation environnementale du recyclage dans ses publications du Bilan National du Recyclage. Enfin, une revue critique a été réalisée afin de positionner l'étude et son rapport par rapport aux exigences des normes ISO 14040-44 : 2006.

Ce rapport s'adresse donc aux utilisateurs des résultats, non-experts ACV, que sont les adhérents de FEDEREC et l'ADEME ainsi qu'aux experts ACV qui réaliseront la revue critique de l'étude.

II.3. Revue critique

Ce rapport a été relu, commenté et modifié en conséquence lors d'un travail de revue critique par le cabinet Deloitte représenté par Emmanuelle Schloesing, Augustin Chanoine et Véronique Monier.

Le rapport de revue critique est présenté en *Annexe 15* et les commentaires associés en *Annexe 16.*

Par ailleurs, dans le cadre de l'évaluation environnemental du recyclage pour l'étude Bilan National du Recyclage 2014 de l'ADEME, les « experts métiers » du comité de suivi de cette étude ont été consultés. Les commentaires réalisés ont été soit intégrés dans cette étude soit une réponse argumentée a été fournie. Le détail des commentaires réalisés et des réponses apportées est annexé à ce rapport (cf. *Annexe 17)*.

II.4. Les filières étudiées

Les filières retenues de l'étude sont issues des discussions entre FEDEREC, l'ADEME et RDC Environment. Les huit filières sélectionnées ainsi que les principaux critères de sélection sont présentés dans le tableau suivant [8] :

Filières	Importance du volume collecté	Présence de la filière en France	Disponibilité des données ACV
1/Ferrailles	+++	+++	+++
Métaux non ferreux : 2/Aluminium 3/Cuivre	++	++	+++
4/Papiers et cartons	++	+++	++
5/Verre d'emballage	++	+++	+++
6/PET et PEHD d'emballage	++	++	++
7/Granulat	+++	+++	++
8/Textile	++	+++	+

Quatre autres filières (ou sous-filières) sont identifiées comme importantes mais dans un second temps et ne sont donc pas incluses dans ce premier projet :

- le plomb pour des questions de tonnages élevés
- le PVC et le verre plat qui sont des filières en développement
- les solvants pour l'intérêt environnemental fort de leur régénération à priori (impact 2 à 20 fois inférieur à celui d'un solvant vierge[9]).

Les filières bois (matière et énergie) sont également identifiées comme importantes (en matière de tonnages recyclés), cependant les risques de ne pas aboutir à un résultat satisfaisant pour toutes les parties prenantes dans les temps sont trop grands, ces filières ne sont donc pas retenues.

Note : Les filières présentées dans le tableau ci-dessus peuvent être alimentées par différentes sources : déchets collectés auprès des industriels, déchets apportés par les ménages ou les entreprises en déchèterie, déchets issus des collectes sélective…

[8] Ces évaluations sont qualitatives

[9] Source: Carbon Footprints of recycled solvents, study for European Solvent Recycler Group (ESRG), August 2013.

II.5. L'unité fonctionnelle

L'Unité Fonctionnelle (UF) définit précisément la fonction qui est remplie par le système étudié et pour laquelle les impacts environnementaux vont être quantifiés. Cette unité est définie à partir de l'objectif de l'étude.

Dans le cadre de ce projet, l'unité fonctionnelle est :

Analyse de la collecte, du tri et de la transformation d'une tonne de déchets afin de produire des matériaux intermédiaires issus de MPR en substitution de matériaux intermédiaires issus de ressources vierges

Les flux de référence concernés sont les déchets collectés et triés en France. Le périmètre géographique de la suite des étapes de production pour arriver aux matériaux intermédiaires issus de MPR dépend des exportations annuelles (cf. chapitre *II.10. Champs géographique et temporel*).

II.6. Matériaux issus des filières de recyclage

Les trois terminologies utilisées dans ce rapport, précisant l'état de la matière pendant les étapes successives du recyclage, sont :

- Les matériaux à recycler : les déchets
- **Les matières premières de recyclage (MPR) :** Matériau répondant à des caractéristiques techniques définies et issu de matériaux ayant déjà servi dans un cycle économique. En pratique, cette étape consiste en un broyage, un cisaillage, un tri afin d'éliminer les déchets indésirables accompagnant le flux à recycler.

  Dans le cas de plastiques, la MPR est la matière prête à être introduite dans un processus de production, avec ou sans « compoundage » (i.e. avec ou sans mélange avec d'autres substances telles que des charges, des colorants, etc.). .
- **Les matériaux intermédiaires issus de MPR :** matériaux transformés à partir de la matière première de recyclage (MPR) (étape autrement appelée : Consommation de MPR).

Le choix des matériaux intermédiaires s'est fait en fonction de trois objectifs :

1. Être comparable aux matières premières vierges. C'est-à-dire que le niveau de transformation des matériaux intermédiaires issus de MPR doit être équivalent aux matières premières vierges ;
2. Être représentatif de la filière du recyclage des déchets collectés en France (description de la filière réalisée en concertation avec les experts de FEDEREC ;
3. Disposer d'une donnée fiable, représentative de la filière et le plus à jour possible.

Dans le cas de la filière papier, afin de répondre aux objectifs 1 et 3, c'est le niveau de transformation en « pâte à papier » (données disponibles dans la source de données utilisée) qui permet une comparaison entre le recyclé et le vierge.

Tableau II-1 : Matières premières de recyclage et matériaux intermédiaires considérés dans cette étude

Filières	Matériaux à recycler	Matières premières de recyclage	Matériaux intermédiaires issus de MPR
Ferrailles	Ferrailles apportées par les ménages dans les déchèteries ou directement sur les recycleurs de ferrailles[10], déchets de démolition, Déchets industriels, déchets ménagers (notamment DEEE, VHU, Emballages)	Déchets débris et chutes de ferrailles conditionnés (ou balles d'emballages acier pour emballages ménagers)	Mix représentatif des matériaux intermédiaires issus des fours à arc électrique dans le monde (ex : billette d'acier)
Métaux non ferreux - Cuivre	Idem	Déchets débris et chutes de cuivre conditionnés	Cathodes en cuivre
Métaux non ferreux - Aluminium	Idem	Déchets débris et chutes d'aluminium conditionnés (ou balles d'emballages aluminium pour emballages ménagers)	Billettes d'aluminium
Papiers /cartons	Papier graphique (belles sortes et moyennes sortes), carton d'emballage	Balles de papier / carton	Pâte à papier PPO (papier pour ondulé) / Carton plat
Verre	Verre d'emballage	Calcin	Verre fondu
Plastiques	Plastique d'emballage PET et PEhd	Balles de PET ou déchets de PET	50 % granulés PET amorphes, 50% paillettes
Plastiques	Plastique d'emballage PEhd	Balles de PEhd ou déchets de PEhd	Granulés PEhd
Granulats	Déchets de chantiers et gravats issus des ménages et assimilés collectés en déchèterie	-	Granulats[11]
Textiles	Vêtements, linge de maison et textiles issus de blanchisseries	Textile découpé	Chiffons

[10] Recycleur de ferrailles : opérateur recevant des déchets métalliques sur une installation prévue et organisée à cet effet, et les réexpédiant après avoir procédé à la séparation des différentes fractions élémentaires les composant, dans le but de les valoriser dans des unités dédiées

[11] Les granulats sont directement issus du procédé de recyclage, ils ne subissent pas de procédé de transformation

II.7. Indicateurs environnementaux

Les indicateurs étudiés sont les suivants :

Tableau II-2 : Indicateurs environnementaux et méthodes associées

Indicateur et son unité	Catégorie d'impact	Méthode
Forçage radiatif infrarouge en tant que potentiel de réchauffement planétaire - **kt éq. CO_2 (ou kg éq. CO_2)**	Changement climatique	Bern model – Global Warming potentials (GWP) over a 100-year time horizon, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007
Consommation d'énergie primaire totale **GWh (ou kWh)**	na	Cumulative energy demand (CED), total energy resources, non-renewable&renewable

Effet de serre

La méthodologie utilisée pour évaluer le potentiel de réchauffement planétaire est la méthode recommandée par le JRC[12] publiée dans le document "Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context". Depuis cette publication, ces recommandations influencent la grande majorité des travaux ACV, notamment les travaux d'expérimentation de l'affichage environnemental, en France (BPX 30 323) et en Europe (PEF guide).

Chaque gaz à effet de serre a un pouvoir de réchauffement global différent. Ce potentiel est calculé sur la base d'une référence : le pouvoir de réchauffement global du CO_2 à un horizon temporel de 100 ans. Pour chaque gaz à effet de serre, un facteur de caractérisation est attribué. Ce dernier exprime, sur l'horizon de temps considéré, le potentiel de réchauffement de ce gaz à effet de serre par rapport à celui du CO_2 (dont le facteur de caractérisation est par définition égal à 1). Les facteurs de caractérisation utilisés sont issus du GIEC (rapport de 2007).

Note : Pour la catégorie d'impact sur l'effet de serre, le carbone biogénique n'est pas pris en compte[13].

Consommation d'énergie primaire

La méthodologie utilisée pour évaluer la consommation d'énergie primaire (ou consommation d'énergie cumulée) est une méthode d'inventaire des flux énergétiques (ressources renouvelables et fossiles).

La demande d'énergie représente la consommation d'énergie directe et indirecte[14] tout au long du cycle de vie, y compris l'énergie consommée lors de l'extraction, de la production et l'élimination des matières premières et auxiliaires. Les facteurs de caractérisation sont divisés en cinq catégories : *l'énergie non renouvelable fossile, l'énergie non renouvelable nucléaire, l'énergie renouvelable issue de la biomasse, l'énergie renouvelable issue de l'eau et l'énergie renouvelable issue du vent, de la géothermie et du soleil.*

Dans le cadre de cette première étape d'un projet ayant une ambition plus grande (en nombre de filières étudiées et en nombre d'indicateurs étudiés), il a été choisi de limiter l'analyse à deux indicateurs environnementaux. Ces indicateurs sont sélectionnés pour les raisons suivantes :

- Problématiques environnementales les mieux comprises par un large public ;
- Robustesse des méthodes associées aux indicateurs ;
- Accessibilité des données de modélisation.

[12] Joint Research Centre (Commission Européenne)

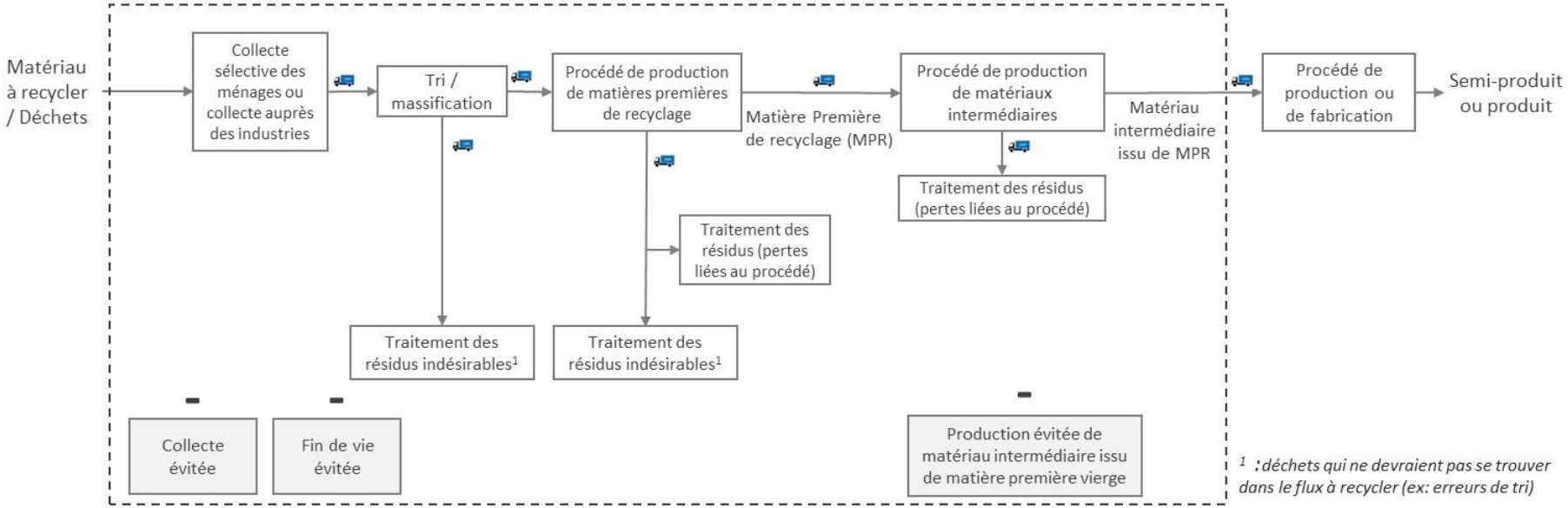
[13] Carbone fixé par la photosynthèse à partir du CO_2 de l'atmosphère.

[14] Par indirecte, il faut comprendre : le contenu énergétique des matières premières utilisées à des fins non énergétiques (ex: bois pour le papier)

II.8. Frontières du système

Le périmètre de l'étude, commun à toutes les filières, est présenté sur le schéma suivant :

Frontières du système ACV



Ce périmètre nous permet d'évaluer les impacts tout au long de la chaine de recyclage mais aussi de définir quelle serait la situation en cas d'absence de cette filière de recyclage : c'est-à-dire, quelle est la collecte évitée, la fin de vie évitée et la production évitée de matières premières vierges.

Le scénario de fin de vie des résidus est considéré comme identique avec ou en l'absence de filière de recyclage.

La nature des pertes issues du procédé de production de matières premières de recyclage est identique à la matière traitée sauf indication contraire dans le chapitre sur la description des données utilisées (cf. chapitre *III.3*).

La nature des pertes et plus globalement des déchets générés par le procédé de production des matériaux intermédiaires, ainsi que leur traitement, sont intégrés dans l'inventaire de cycle de vie utilisé.

Les déchets collectés en vue de leur recyclage peuvent contenir :

- des souillures issues de leur utilisation antérieure (résidus des produits contenus dans les emballages par exemple),
- des déchets autres que ceux destinés à être recyclés (erreurs de tri des ménages par exemple),
- ainsi qu'un taux d'humidité variable selon la contamination du flux de déchets.

Ces éléments sont considérés sur tout le cycle de vie du déchet à travers ce qui est appelé les « taux de pertes » ou les « taux d'indésirables » (pour une phase de tri par exemple) ainsi qu'à travers la « masse de déchets nécessaire pour la production d'une tonne de matériaux intermédiaires issus de MPR »[15]. Des valeurs moyennes par phase de cycle de vie sont utilisées (étape de tri et étapes de production des MPR et matériaux intermédiaires), il n'est cependant pas possible de détailler les éléments conduisant à ces valeurs (ex : contribution des indésirables par rapport au taux d'humidité sur le taux de pertes global en centre de tri).

II.9. Méthode de calcul appliquée

Le recyclage remplit deux fonctions :

- c'est un mode de traitement des déchets,
- c'est un mode de production de matière première de recyclage.

Les impacts d'une filière de recyclage se calculent donc de la façon suivante :

Lors de l'évaluation ACV d'un produit, d'un matériau pour tout son cycle de vie, les formules à appliquer (selon le BPX-30-323-0) sont les suivantes :

$$\mathbf{ER_{amont}/\rho 1 - EV*\sigma 1 - ED_{aval}}$$

Avec

$$ED_{aval} = I*(Ei - r1n*PCI*E_{chaleur} - r2n*PCI*E_{élec}) + (1-I)\,Ed$$

- **ER_{amont}** Émissions spécifiques et ressources consommées du fait du recyclage de la matière recyclée, y compris les processus de collecte, de tri et de transport.
- **ρ1** Rendement de recyclage du process permettant de produire la matière recyclée ;
- **EV** Impacts liés à l'extraction ou production de la matière première brute + impacts liés à la transformation de la matière brute en matière première vierge ;
- **σ1** Taux de substitution entre la matière recyclée et la matière vierge ;
- **ED_{aval}** Émissions spécifiques et ressources consommées du fait de l'élimination des déchets de matière à la fin de la vie du produit analysé (par ex. mise en décharge, incinération, pyrolyse).
- I Taux national d'incinération des ordures ménagères ou des déchets industriels non recyclés.

[15] Ce dernier paramètre considère d'autres facteurs comme le taux d'oxydation du matériau à recycler par exemple

- Ei Impacts liés à la collecte des déchets incinérés + impacts liés à l'incinération du matériau ;
- r1n Rendement lié à la production de chaleur dans les usines d'incinération des ordures ménagères ou des déchets industriels;
- r2n Rendement lié à la production d'électricité dans les usines d'incinération des ordures ménagères ou des déchets industriels ;
- PCI Pouvoir calorifique inférieur du matériau incinéré
- Echaleur Impacts moyens nationaux de la production de chaleur par unité d'énergie produite ;
- Eélec Impacts moyens nationaux de la production d'électricité par unité d'énergie produite ;
  Ed Impacts liés à la collecte des déchets mis en décharge + impacts liés à la mise en décharge (avec récupération du biogaz).

II.10. Champs géographique et temporel

Le scope géographique considéré est la France pour la collecte des déchets et le tri/regroupement.

La production des MPR et des matériaux intermédiaires est fonction de la destination des déchets collectés[16]. Le scope géographique est donc variable selon les années. On peut cependant indiquer qu'il s'articule autour de trois grandes zones géographiques : France (Mix énergétique français), Europe (mix énergétique européen) et hors Europe (mix énergétique asiatique)[17]. Pour l'année 2014, la destination des déchets est exposée au chapitre *V.1* page *80.*

Le scope géographique des jeux des données utilisées pour réaliser cette ACV est présenté dans le tableau suivant :

Tableau II-3 : Champ géographique de la production des MPR et matériaux intermédiaires

Filière	Champ géographique de la production de la MPR		Champ géographique de la production des matériaux intermédiaires	
	Représentativité géographique	Mix électrique/ énergétique associé	Représentativité géographique	Mix électrique/énergétique associé
Métaux Ferreux	France	France	Europe	Europe
Métaux non ferreux, Aluminium	France	France	Europe	Europe

[16] Ces destinations varient selon les années

[17] Dans le cas des textiles, une partie des operations sont réalisées en Afrique du Nord. Le mix énergétique tunisien est utilisé.

Filière	Champ géographique de la production de la MPR		Champ géographique de la production des matériaux intermédiaires	
	Représentativité géographique	Mix électrique/ énergétique associé	Représentativité géographique	Mix électrique/énergétique associé
Métaux non ferreux, Cuivre	France	France	Europe	Fonction de la zone géographique dans laquelle le flux est transformé : - 5% France - 90% Europe - 5% hors Europe (mix de l'Asie) (cf. *Tableau III-6*)
Papiers et cartons	France	France	Europe	Fonction de la zone géographique dans laquelle le flux est transformé : - 61 % France - 32 % Europe - 7 % hors Europe (mix de l'Asie) *(cf. Tableau III-9)*
Verre d'emballage	Europe	France	France	Aucun mix électrique n'intervient à cette étape
Plastiques d'emballages (PET et PEhd) issus des ménages	*Cf. champ géographique de la production des matériaux intermédiaires*		France et États-Unis	Fonction de la zone géographique dans laquelle le flux est transformé : - 80% France - 19% Europe - 1% hors Europe (mix de l'Asie) (cf. *Tableau III-14*)
Plastiques d'emballages (PET et PEhd) issus des industriels				Fonction de la zone géographique dans laquelle le flux est transformé : - 97% France - 3% Europe (cf. *Tableau III-14*)
Granulats	France	France	*Non pertinent*	*Non pertinent*
Textiles (chiffons)	France	- 44% France - 38% Europe - 18% hors Europe (mix Tunisie) (cf. *Tableau III-18*)	*Non pertinent*	*Non pertinent*

Note : La représentativité géographique est souvent dépendante de l'inventaire de cycle de vie utilisé. Dans le cas des inventaires issus de la base de données Ecoinvent, il est possible, à minima, d'adapter le mix électrique à la situation étudiée. Pour les autres inventaires (issus des fédérations), il n'est pas possible de désagréger les données et modifier le mix électrique[18].

[18] C'est le cas des métaux ferreux, de l'aluminium, des plastiques PEhd et PET vierge et du papier.

La représentativité temporelle des données utilisées est détaillée tout au long de ce rapport, on peut cependant indiquer que :

- La période temporelle des **données d'activité** correspond à la période pour laquelle les données sont collectées.
- La représentativité temporelle des **données d'inventaires** est variable en fonction des bases de données utilisées (ICV issus majoritairement d'Ecoinvent ou de fédérations/associations).

Les critères de priorisation des inventaires de cycle de vie et des données d'activités sont les suivants :

- **Représentativité temporelle :** Donnée la plus à jour possible
- **Représentativité géographique** : France puis Europe
- **Représentativité technologique :** Représentativité des technologies moyennes utilisées actuellement

II.11. Principales sources des données

Les données d'activité sont issues de sources multiples. Elles sont précisées tout au long du rapport, en voici un résumé :

- Les données définissant la filière : les tonnages de déchets recyclés en 2014, les distances de transport, les taux de pertes :
  - Données FEDEREC pour les tonnages ;
  - Données du Comité d'Information Matériaux 2014 pour les distances de transport des déchets ménagers collectés sélectivement ;
  - Données ADEME ITOM pour le taux de résidus en centre de tri des déchets ménagers ;
  - Données à dire d'experts (experts FEDEREC) pour les pertes et les autres distances de transport.
- Les données caractérisant les déchets multi-matériaux
  - ADEME
  - Observatoire économique des filières, notamment pour les VHU
- Les données définissant les procédés de tri
  - Étude Eco-emballages, Eco-Embes, Sociedad Ponto Verde et FOST Plus (de mars 2009) pour les centre de tri de déchets collectés sélectivement ;
  - Données à dire d'experts FEDEREC pour le reste ;
- Les données définissant les procédés de production des MPR :
  - Données à dire d'experts (experts FEDEREC) pour les métaux, le papier, le carton (dans le cas des DEEE, c'est un inventaire Ecoinvent qui est utilisé) ;
  - Données issues des industriels adhérents de FEDEREC pour les plastiques, les granulats et des textiles ;
  - Données issues de la littérature pour les plastiques (données combinées avec les données des industriels adhérents de FEDEREC).

Le mix textile évité est issu de l'étude nommé : « Élaboration d'un plan de développement d'une base publique de données d'ACV comme support à l'affichage », étude réalisée par BioIS pour l'ADEME, en janvier 2010.

Les données d'inventaires utilisées sont majoritairement issues de la base de données Ecoinvent v2.2[19]. Cependant, pour la production des matières premières vierges et la production des matériaux intermédiaires, les inventaires suivant sont utilisés :

- Métaux ferreux : Worldsteel 2011 (données 2005 - 2008)
- Aluminium : EAA 2013 (données 2010)
- Papier : COPACEL-ADEME, 2013 (données 2011)
- Carton : Ecoinvent v2.2 avec les données d'activité issues de FEFCO 2012
- PEhd (uniquement pour la production de matière première vieirge) : PlasticsEurope 2014
- PET (uniquement pour la production de matière première vierge) : PlasticsEurope 2010

Les unités de production d'électricité et de chaleur sont modélisées à l'aide des inventaires d'Ecoinvent v2.2 et le mix est issu d'IEA 2012.

II.12. Critère de coupure

Le principe de Pareto est appliqué pour cette étude. Les efforts de modélisations et de collecte de données sont donc mis sur les éléments influençant le plus les résultats.

En pratique, nous avons procédé de manière itérative pour la collecte de données comme il est recommandé dans l'ILCD Handbook et l'ISO 14040/44 :2006.

- Première itération : nous utilisons des valeurs par défaut (intervalles de valeurs) fournies par les acteurs ayant une vision globale de la problématique et les bases de données secondaires ou avec des hypothèses conservatrices pour identifier, de façon automatique et exhaustive, les paramètres de modélisation importants ;
- Deuxième itération : nous affinons les données qui ont un impact non négligeable via des contacts avec les acteurs de terrain. Dans la mesure du possible, les lacunes pré-identifiées dans le cadre de la première étude seront également levées ;
- Troisième itération : ultime validation et recherche de données.

Ce système permet de ne pas perdre de temps dans la recherche de données sans influence sur le bilan, et donc de mettre en place l'accent sur la recherche de données sensibles. Ainsi, un plus haut degré de fiabilité peut être atteint pour ces données sensibles.

Les critères de coupures sont respectés selon les règles établies dans le BPX-30-323-0 :

a) ***Masse*** *: lors de l'utilisation de la masse comme critère, une décision appropriée nécessiterait l'inclusion dans l'étude de tous les intrants qui, cumulativement, participent davantage qu'un pourcentage défini à l'intrant de masse du système de produits en cours de modélisation.*

[19] La base de données Ecoinvent v2.2 au lieu de la version 3 a été choisie pour des raisons techniques au démarrage de cette étude (implémentation de la base de données dans RangeLCA non disponible au démarrage du projet)

b) ***Énergie*** *: de même, lors de l'utilisation de l'énergie comme critère, une décision appropriée nécessiterait l'inclusion dans l'étude des intrants qui, cumulativement, participent davantage qu'un pourcentage défini des intrants énergétiques du système de produits.*

c) ***Portée environnementale*** *: il convient que des décisions sur les critères de coupure soient prises pour inclure des intrants qui contribuent plus qu'une quantité définie supplémentaire de la quantité estimée de données individuelles du système de produits qui sont spécialement sélectionnées en raison de leur pertinence environnementale.*

Via un travail itératif et un objectif d'atteinte de 100% des impacts modélisés, on peut affirmer que le seuil de coupure de 5% pour les trois critères cités précédemment est respecté.

III. Description du calcul de l'inventaire

III.1. Aspects méthodologiques communs à toutes les filières

Les aspects méthodologiques communs à toutes les filières sont décrits dans les annexes :

- Paramètre de modélisation des mix énergétiques : Annexe 1 ;
- Paramètre de modélisation du transport : Annexe 2 ;
- Paramètre de modélisation de l'incinération et de l'enfouissement : *Annexe 3.*

III.2. Caractérisation des déchets multi-matériaux alimentant plusieurs filières de recyclage

III.2.1. Véhicules hors d'usage

Les VHU sont des déchets multi-matériaux dont les différentes fractions obtenues post-centres VHU et post-broyage sont envoyées vers des solutions de traitement appropriées.

Note : Dans cette étude, le recyclage des métaux (ferreux et non ferreux) des VHU est pris en compte.

Le tableau suivant présente la composition moyenne des VHU ainsi que les voies de traitement par matériau selon l'observatoire de la filière des véhicules hors d'usages (données 2014)

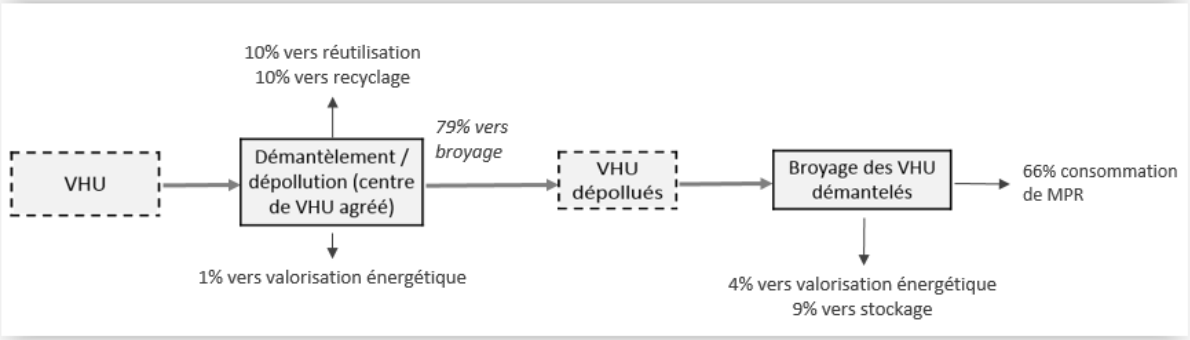
Tableau III-1 : Composition moyenne des VHU ainsi que les voies de traitement par matériau selon l'observatoire de la filière des véhicules hors d'usages (données 2014)

Positionnement filière	**Composition VHU**	Centre VHU	Centre VHU	Centre VHU	Broyeur	Broyeur	Broyeur
Matières \ Destination		Réutilisation	Recyclage	Valorisation énergétique	Recyclage	Valorisation énergétique	Stockage
Métaux ferreux	70.7%	9.3%	6.8%	0.0%	83.8%	0.0%	0.1%
Métaux non-ferreux	4.0%	9.4%	19.5%	0.0%	71.1%	0.0%	0.1%
Autres caoutchoucs	1.1%	7.4%	0.0%	0.0%	4.1%	48.4%	40.2%
Pots catalytiques	0.5%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Faisceaux électriques	1.0%	7.1%	5.1%	0.0%	38.5%	23.6%	25.8%
Peintures	0.8%	7.6%	0.0%	0.0%	4.3%	26.1%	62.0%
Mousses polyuréthanes	1.9%	7.1%	0.0%	0.0%	4.3%	35.9%	52.7%
Polypropylène(PP) parechocs	1.1%	7.3%	28.4%	0.0%	26.9%	11.8%	25.5%
Polypropylène(PP) autres pièces	4.2%	7.4%	0.5%	0.0%	29.8%	22.5%	39.9%
Polyéthylène(PE) réservoirs à carburant	0.8%	7.5%	17.5%	0.0%	50.9%	7.6%	16.4%
Polyéthylène(PE) autres pièces	0.5%	8.0%	0.0%	0.0%	32.1%	24.2%	35.6%
Polyamides (PA)	1.0%	7.1%	0.0%	0.0%	5.2%	27.4%	60.3%

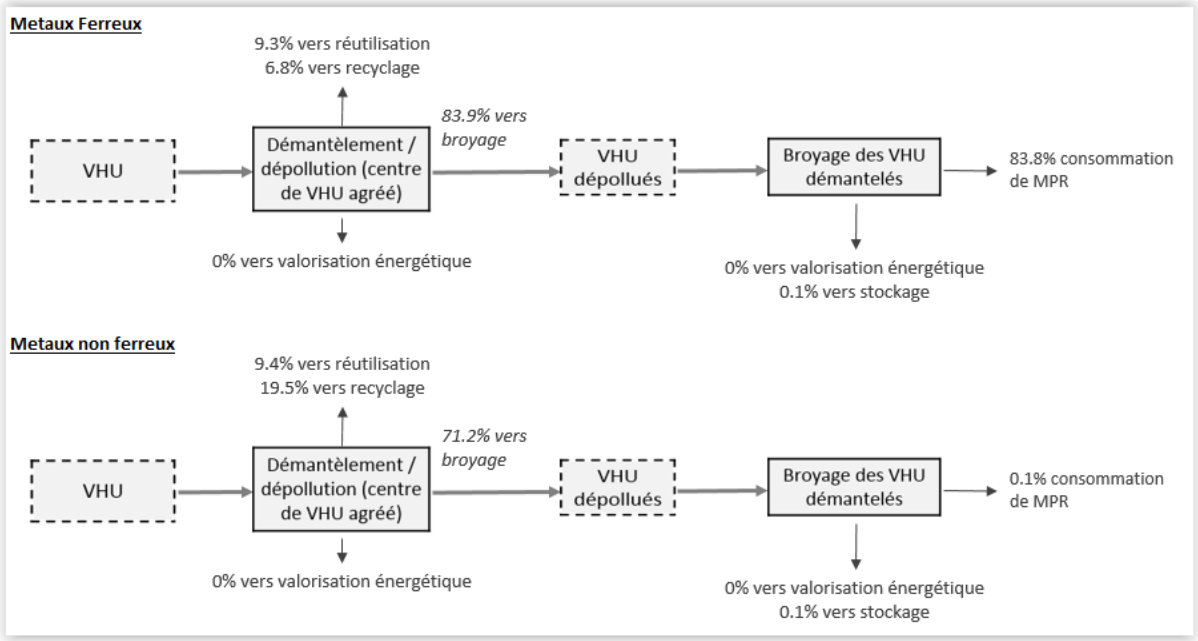
ABS, PVC, PC, PMMA, PS, etc.	2.1%	7.4%	0.0%	0.0%	9.9%	27.8%	54.9%
Textiles, autres	1.6%	7.4%	0.6%	0.0%	4.7%	32.7%	54.6%
Verre	2.9%	7.4%	6.4%	0.0%	19.4%	4.5%	62.2%
Pneus	3.4%	46.2%	43.9%	9.9%	0.0%	0.0%	0.0%
Batterie de démarrage au plomb	1.4%	20.0%	80.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Huiles usagées et filtres	0.7%	0.0%	76.5%	23.5%	0.0%	0.0%	0.0%
Liquides de refroidissement ou de freins	0.4%	0.0%	50.0%	50.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Fluides de climatisation	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
TOTAL	**100%**	**10.2%**	**10.2%**	**0.7%**	**65.6%**	**4.4%**	**8.9%**

Source : Tableau établi sur base du « Rapport Annuel de l'Observatoire de la filière des Véhicules Hors d'Usage – Octobre 2016 (données 2014), ADEME »

Toujours sur base des données 2014 l'observatoire VHU, les exutoires des différentes fractions des VHU sont les suivants :



En ce qui concerne les métaux ferreux et non ferreux, les exutoires sont les suivants :



III.2.2. Déchets d'équipements électriques et électroniques

Les DEEE sont des déchets multi-matériaux dont les différentes fractions obtenues post-broyage sont envoyées vers des solutions de traitement appropriées.

Note : Dans cette étude, le recyclage des métaux (ferreux et non ferreux) des DEEE est pris en compte. Les autres matériaux ne font pas partie du périmètre de l'étude.

Selon le BNR 2003-2012[20], la composition des DEEE et les voies de traitement sont les suivantes :

	Composition DEEE	***Voies de traitement***	
		Recyclage	**Autres solutions**
Métaux ferreux	43%	78%	22%
Métaux non ferreux	6%		
Plastique	17%		
Verre	14%		
Autres	20%		

La destination des DEEE ménagers et professionnels traités en 2013 par mode de traitement est présentée dans le tableau suivant.

[20] BILAN NATIONAL DU RECYCLAGE 2003-2012, Mars 2015, ADEME

	DEEE ménagers	DEEE professionnels	DEEE ménagers et professionnels
Tonnage traité	*453 689*	*23 200*	*476 889*
Recyclage matière	78%	69%	78%
Élimination	12%	6%	12%
Valorisation énergétique	8%	5%	8%
Préparation en vue du réemploi	1%	19%	2%
Réutilisation de pièces	1%	1%	1%

Source : Équipements électriques et électroniques, rapport annuel 2013, Collection repères – ADEME

III.3. Données et hypothèses des chaines de recyclage par filière

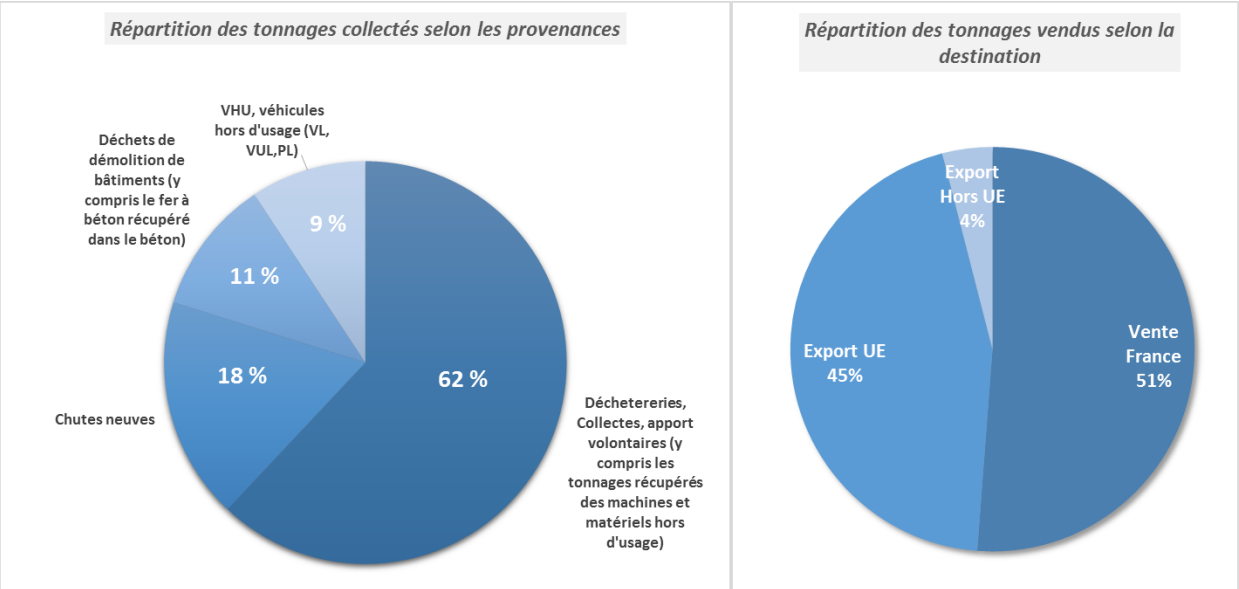
III.3.1. Métaux Ferreux et non Ferreux (Aluminium et cuivre)

III.3.1.1. Tonnages collectés et recyclés en 2014

En 2014, le tonnage de ferrailles collectées est de 12 900 kt. Le principal tonnage est issu des déchets apportés sur les recycleurs de ferrailles[21], des collectes et déchèteries avec 8000 kt. Les métaux ferreux issus des DEEE et les ferrailles des mâchefers sont comptabilisés dans ce flux. Le deuxième apport vient des chutes neuves issues des industriels avec 2 300kt. On trouve ensuite les ferrailles issues déchets de démolitions de bâtiments avec 1400 kt et les ferrailles issues des VHU avec 1200 kt.

Le tonnage des ventes de ferrailles en 2014 s'élève, quant à lui, à 12 500 kt.

La répartition des tonnages de métaux ferreux collectés selon les provenances et la répartition des tonnages de métaux ferreux vendus selon la destination sont présentées sur les graphiques suivants :



Source : FEDEREC

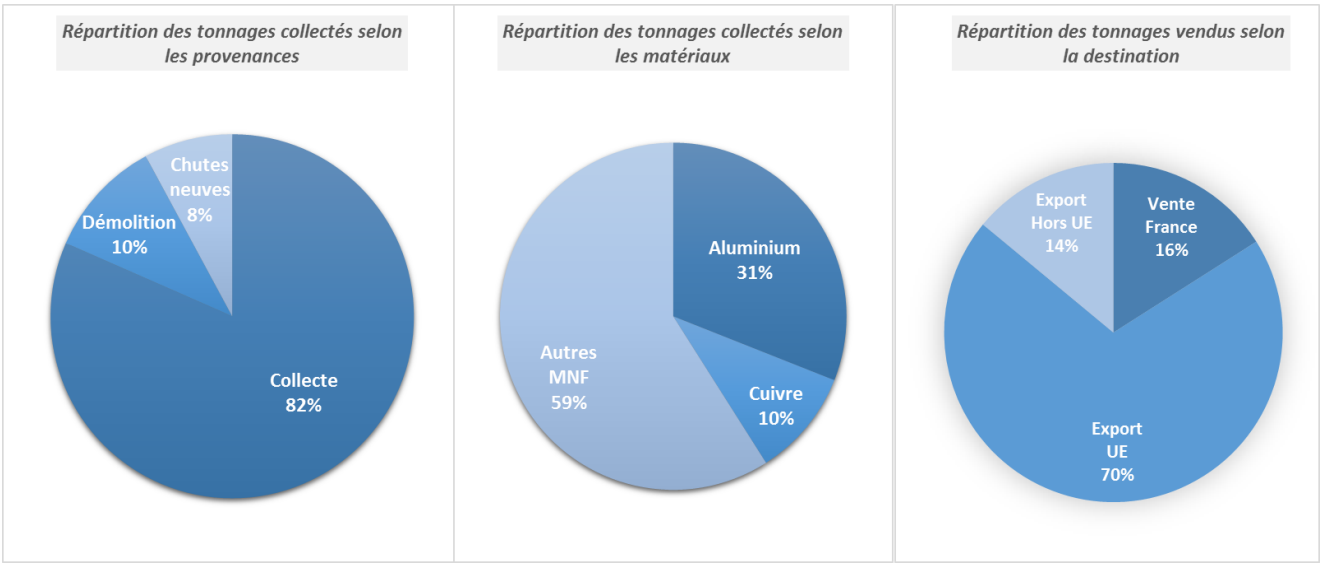
[21] Recycleur de ferrailles : opérateur recevant des déchets métalliques sur une installation prévue et organisée à cet effet, et les réexpédiant après avoir procédé à la séparation des différentes fractions élémentaires les composant, dans le but de les valoriser dans des unités dédiées

Le tonnage de métaux non ferreux collecté en 2014 s'élève à 1 900 kilotonnes. Il se répartit entre les métaux non ferreux issus de la collecte (les non ferreux issus des déchets apportés sur les recycleurs de ferrailles, des VHU et des DEEE et de la collecte sélective) avec 1500 kilotonnes, les métaux non ferreux issus des déchets de démolition avec 200kt et enfin les chutes neuves avec 150 kilotonnes.

La présente étude s'attache à déterminer le bilan environnemental du recyclage du cuivre et de l'aluminium soit respectivement 190 kilotonnes et 589 kilotonnes sur les 1 900 kilotonnes de métaux non ferreux traités en 2014.

Le tonnage des ventes de métaux non ferreux est identique au tonnage collecté.

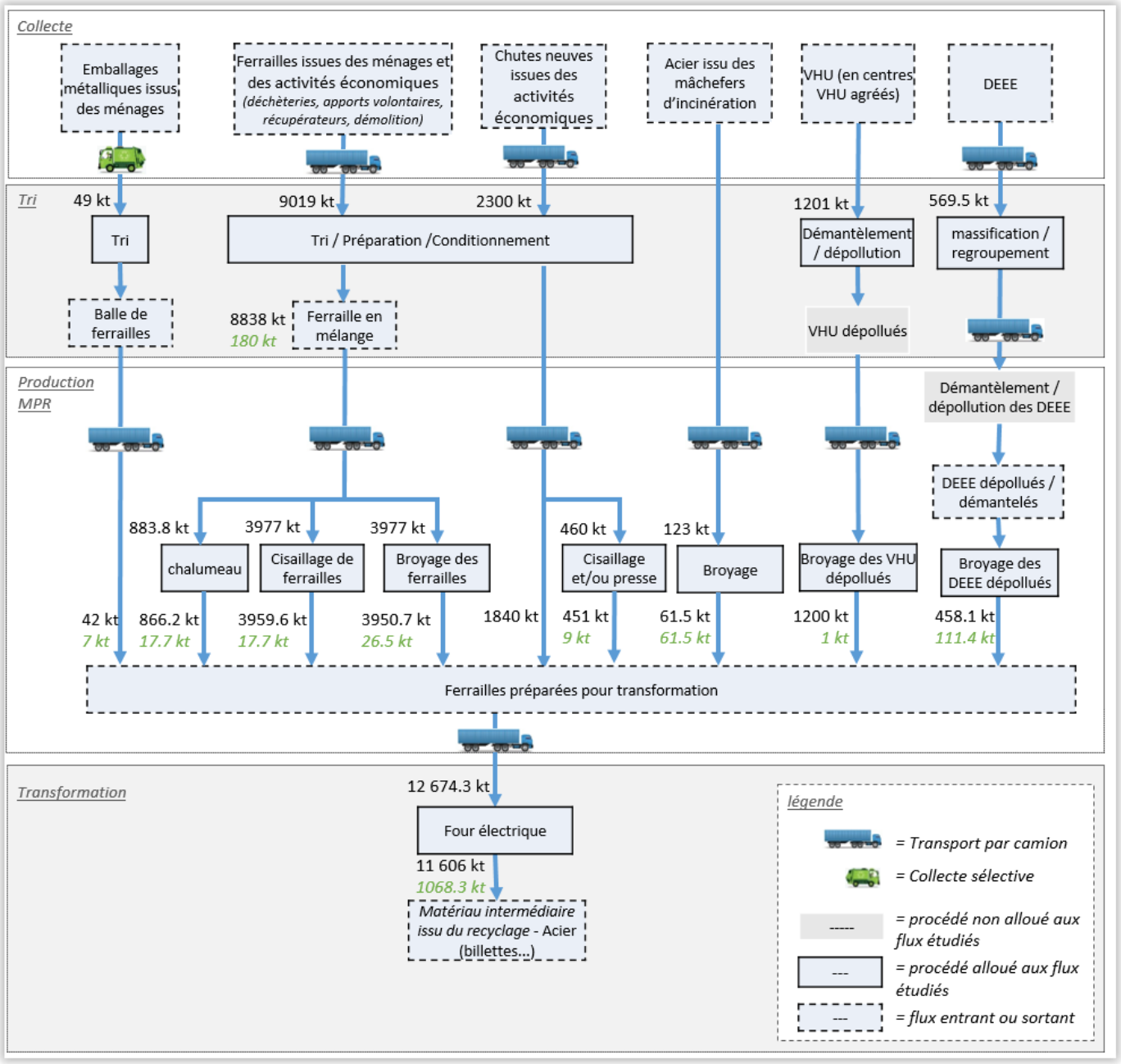
La répartition des tonnages de métaux non ferreux collectés selon les provenances, la répartition des tonnages de métaux non ferreux collectés selon les matériaux et la répartition des tonnages vendus selon la destination sont présentés sur les graphiques suivants :



Source : FEDEREC

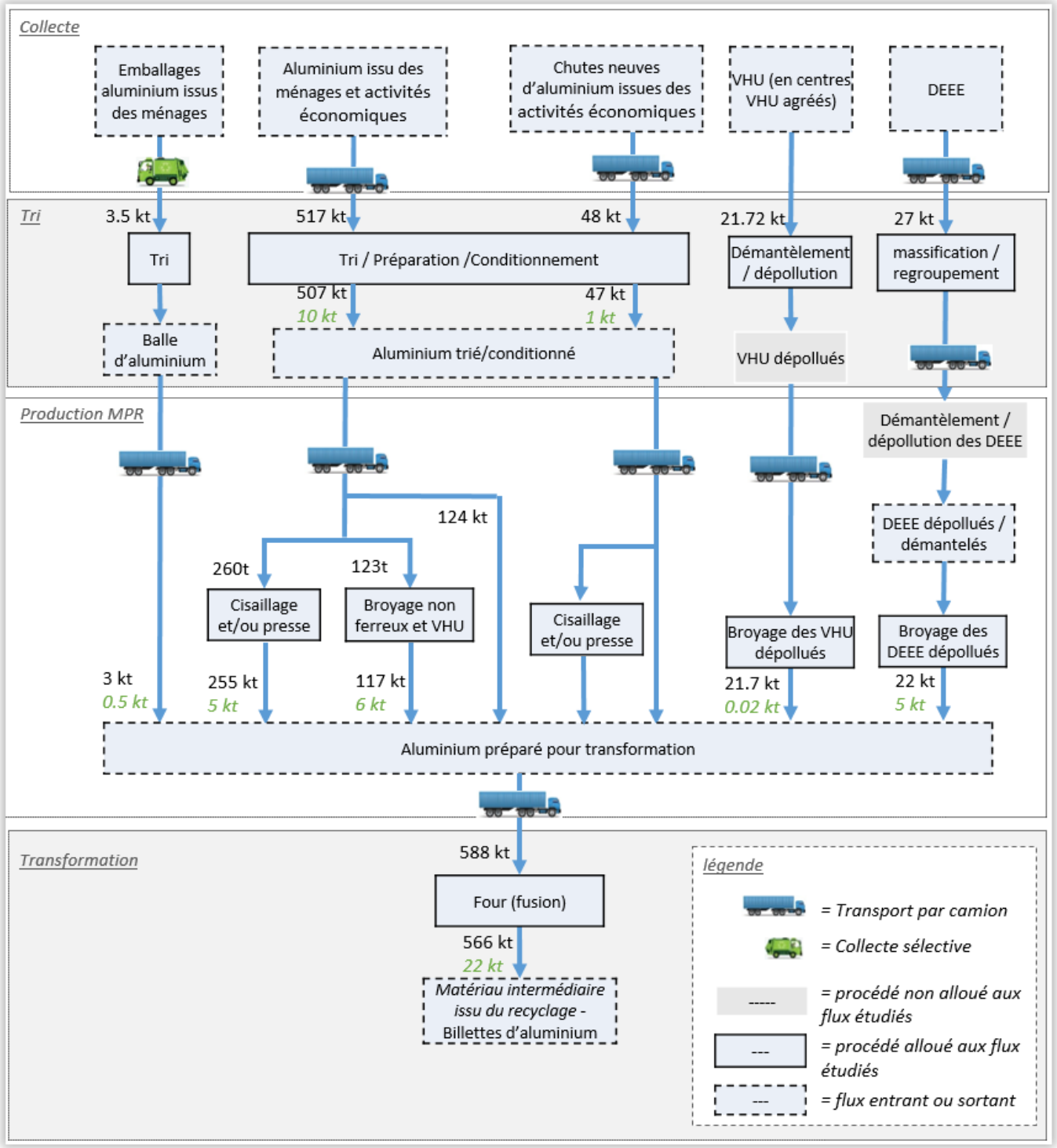
III.3.1.2. Description des filières étudiées

Figure III-1 : Schéma de la filière métaux ferreux étudiée



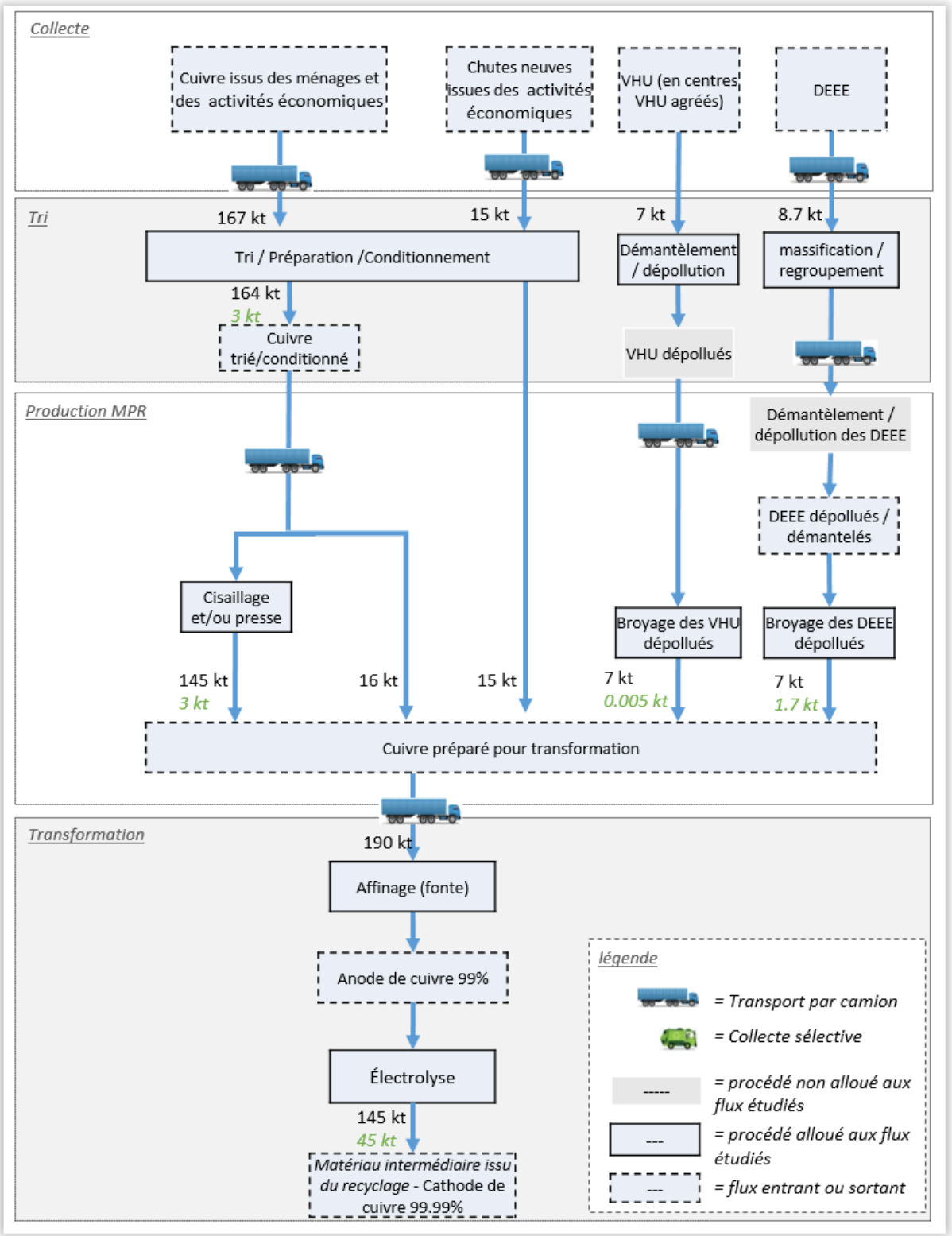
Note : ce schéma représente la filière telle que modélisée dans cette étude

Figure III-2 : Schéma de la filière aluminium étudiée



Note : ce schéma représente la filière telle que modélisée dans cette étude

Figure III-3 : Schéma de la filière cuivre étudiée



Note : ce schéma représente la filière telle que modélisée dans cette étude

Complément de description des schémas :

Métaux ferreux	- Pour les ferrailles en mélange, la répartition entre la découpe au chalumeau, le cisaillage et le broyage est respectivement de 10%, 45% et 45% (source : FEDEREC). - Pour les chutes neuves, la répartition entre le cisaillage et l'envoi direct vers le procédé de production des matériaux intermédiaires est respectivement de 20% et 80% (source : FEDEREC).
Aluminium	- Pour l'aluminium issu des ménages et activités économiques, la répartition entre le cisaillage, le broyage et l'envoi direct vers le procédé de production des matériaux intermédiaires (aluminium en vrac) est respectivement de 52.5%, 22.5% et 25% (source : FEDEREC). - Pour les chutes neuves, 50% sont cisaillées et 50% sont envoyées directement vers le procédé de production des matériaux intermédiaires (source : FEDEREC).
Cuivre	- 10% du cuivre issu des ménages et activités économique est cisaillé (source : FEDEREC). Il faut noter que les matières recyclables ne suivent pas toutes ce schéma : les chutes neuves issues de procédés industriels repartent directement dans le circuit de fabrication des demi-produits. Enfin, une partie des déchets part également dans ce circuit sans passer par l'étape d'affinage. La modélisation considérée est donc conservatrice, c'est le cas le plus défavorable au recyclage qui est considéré.

III.3.1.3. Données d'activités pour chacune des étapes du recyclage

- **Collecte**

Tableau III-2 : Scénarios de collecte pris en compte pour les filières métaux

	Transport du producteur de déchet jusqu'au centre de tri / préparation / massification	Collecte évitée en l'absence de la filière de recyclage
Emballages acier et aluminium	Collecte sélective en porte à porte par benne à ordure ménagère[22]	Collecte non sélective en porte à porte par benne à ordure ménagère
Métaux issus des ménages et des activités économiques	*Collectés sur les recycleurs de ferrailles[23] :* Transport du particulier + transport par camion	Type de transport et distance identiques à la filière de collecte en vue du recyclage
Chutes neuves	Transport par camion	
VHU collectés via les centres VHU agréés	Transport par camion	
DEEE	*Collecte via les recycleurs de ferrailles, déchèteries et distributeurs :* Transport du particulier + transport par camion depuis le lieu de collecte	

[22] La collecte sélective est approchée par la collecte sélective en porte à porte, la collecte sélective en apport volontaire est donc approximée par cette première

[23] recycleur de ferrailles : opérateur recevant des déchets métalliques sur une installation prévue et organisée à cet effet, et les réexpédiant après avoir procédé à la séparation des différentes fractions élémentaires les composant, dans le but de les valoriser dans des unités dédiées

Les données utilisées pour la collecte sélective et non sélective en porte à porte sont exposées en *Annexe 4*

- **Massification - Tri - Préparation**

Tableau III-3 : Données utilisées pour le tri des métaux

	Procédé	Données	Source des données	Inventaires de cycle de vie
Emballages acier et aluminium issus de la collecte sélective des ménages	Centre de tri des déchets issus de la collecte sélective	40 à 60 kWh/t de déchets entrants (valeur retenue : 50 kWh/t) Les balles d'acier issues des centres de tri contiennent 5% d'indésirables	[1] Hypothèse	kWh moyenne tension du mix électrique France
Métaux issus des ménages et des activités économiques (collectés sur les recycleurs de ferrailles et les déchèteries)	Tri / préparation / conditionnement en centre de massification	43.7 MJ/t de déchets entrants Taux d'indésirables : 2%	[2] Hypothèse	Diesel, burned in building machine, GLO, Ecoinvent v2.2
DEEE	Massification (infrastructure de stockage)	Capacité : 2500 t/an pour une durée de vie de 25 ans	[3]	Manual treatment plant, WEEE scrap, GLO, Ecoinvent v2.2

[1] : « Environmental and Economic analysis of end-life of packaging in MSW », Eco-emballages, Eco-Embes, Sociedad Ponto Verde and FOST Plus, March 2009

[2] : Consommation estimée sur base de l'ICV « *disposal, building, concrete gravel, to sorting plant, CH* »

[3] : Ecoinvent v2.2

Les impacts du démantèlement et de la dépollution des VHU et des DEEE ne sont pas alloués aux flux recyclés. En Effet, l'étape de dépollution ne conditionne pas le traitement aval des VHU ou DEEE dépollués. Il est considéré que cette étape aurait lieu sans recyclage.

Les impacts de la massification des DEEE sont alloués massiquement à la proportion de métaux ferreux et non ferreux (aluminium et cuivre) dans ce flux.

- **Production des matières premières de recyclage (MPR)**

Pour les étapes de préparation et production des MPR des filières métaux, les enjeux environnementaux étudiés sont essentiellement ceux associés aux consommations énergétiques.

Tableau III-4 : Données de production des MPR pour les filières métaux

	Données	Source des données	Inventaires de cycle de vie
Broyage + tri post broyage[24]			
Consommation électrique	30 kWh/t entrante	[1]	kWh moyenne tension du mix électrique France
Infrastructures	Capacité : 50 000 t/an pour une durée de vie de 25 ans	[2]	shredding, electrical and electronic scrap, GLO, Ecoinvent v2.2 (inventaire utilisé pour approximer les infrastructures de tous types de broyage)
Cisaillage et/ou presse			

[24] Des VHU et des métaux

Consommation électrique	15 kWh/t entrante	[1]	kWh moyenne tension du mix électrique France
Infrastructures	Capacité : 2 500 t/an pour une durée de vie de 25 ans	[2]	Manual treatment plant, WEEE scrap, GLO, Ecoinvent v2.2
Découpe au chalumeau			
Consommation de propane	1.2 kg de gaz propane/t entrante	[1]	Les données de modélisation sont présentées en *Annexe 5*
Infrastructures	Capacité : 2 500 t/an pour une durée de vie de 25 ans	[2]	Manual treatment plant, WEEE scrap, GLO, Ecoinvent v2.2

[1] : Experts FEDEREC

[2] : Ecoinvent

Pour le cas spécifique des métaux de DEEE, le traitement (broyage) est modélisé via l'inventaire de cycle de vie : « *shredding, electrical and electronic scrap, GLO* ». Le mix électrique de ce procédé est remplacé par un mix électrique français. Le transport associé à cet inventaire est supprimé afin de ne conserver que les impacts de l'usine.

SHREDDING, ELECTRICAL AND ELECTRONIC SCRAP, GLO	
DESCRIPTION	Traitement mécanique (shredder) des matériaux issus du démantèlement manuel. Prend en compte 4 étapes typiquement réalisées en Europe : broyage / séparation / broyage / séparation
REPRÉSENTATIVITÉ GÉOGRAPHIQUE	Europe / France pour le mix électrique (adaptation RDC) Procédés de broyage et séparation basés sur des données de la littérature européenne ainsi que de retour d'expérience Suisse.
REPRÉSENTATIVITÉ TEMPORELLE	2005

- **Pertes et destination des pertes hors VHU et DEEE**

Tableau III-5 : Taux de résidus issus des procédés de production des MPR de la filière métaux

	Ferrailles	**Cuivre**	**Aluminium**
Taux de résidus issus du broyage	3%	-	5%
Taux de résidus issus du cisaillage/presse ou découpe au chalumeau	2%		
Taux de résidus de broyage de l'acier des mâchefers d'incinération	50%	-	-
Inventaire de cycle de vie utilisé pour la fin de vie des pertes	disposal, steel, 0% water, to inert material landfill, CH, ecoinvent v2.2	disposal, aluminium, 0% water, to sanitary landfill, CH	

Source des taux de résidus : experts FEDEREC

- **Pertes et destination des pertes issues des VHU**

Selon le rapport Annuel de l'Observatoire de la filière des Véhicules Hors d'Usage, 0.1% des métaux ferreux et non ferreux composant les VHU ne trouvent pas de débouché de réutilisation ou recyclage.

La destination des pertes de broyage des VHU est la suivante :

	Valorisation énergétique	Centre de stockage	Inventaires de cycle de vie associés
Ferreux	0%	100%	disposal, steel, 0% water, to inert material landfill, CH, ecoinvent v2.2
Aluminium	0%	100%	disposal, aluminium, 0% water, to sanitary landfill, CH, ecoinvent v2.2
Cuivre	0%	100%	disposal, aluminium, 0% water, to sanitary landfill, CH, ecoinvent v2.2[25]

Source : "Rapport Annuel de l'Observatoire de la filière des Véhicules Hors d'Usage – Octobre 2016 (données 2014), ADEME

Les pertes de broyage des VHU sont allouées massiquement aux MPR.

- **Pertes et destination des pertes issues des DEEE**

Le taux de pertes des DEEE est estimé à 20%, ce qui correspond à la destination vers la valorisation énergétique et l'élimination des tonnages de DEEE ménagers et professionnels traités en 2013 par mode de traitement (cf. chapitre *III.2.2*) publié par l'ADEME.

La destination des pertes considérée dans l'inventaire « *shredding, electrical and electronic scrap, GLO*» est également modifiée sur base de la publication de l'ADEME : 60% sont valorisés énergétiquement et 40% sont enfouis.

La destination et les inventaires pour la fin de vie des pertes sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Destination	Inventaire de cycle de vie
60% valorisation énergétique	disposal, residues, shredder fraction from manual dismantling, in MSWI, CH, ecoinvent v2.2
40% enfouissement	93 % disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to sanitary landfill, CH 1.57% disposal, steel, 0% water, to inert material landfill, CH 1.04% disposal, glass, 0% water, to inert material landfill, CH 4.39% disposal, aluminium, 0% water, to sanitary landfill, CH *(composition basée sur l'inventaire « disposal, residues, shredder fraction from manual dismantling, in MSWI, CH, ecoinvent v2.2 »)*

Les pertes de broyage des DEEE sont allouées massiquement aux MPR.

- **<u>Production des matériaux intermédiaires issus des MPR</u>**

[25] Pas d'inventaire disponible pour l'enfouissement cuivre, impacts approximés par l'inventaire sur l'enfouissement de l'aluminium. Cette approximation n'a que très peu d'influence sur les résultats pour les deux indicateurs présentés dans cette étude (ce ne serait pas le cas avec d'autres indicateurs comme la toxicité humaine ou l'écotoxicité).

- Métaux ferreux

Les impacts de la transformation de la ferraille dans les fours électriques et les haut-fourneaux ainsi que les impacts évités de la production d'acier issu de minerai sont modélisés par l'inventaire de cycle de vie (ICV) publié par Worldsteel : « *Steel scrap benefits, RER, worldsteel 2011* ».

STEEL SCRAP BENEFITS, RER, WORLDSTEEL 2011

DESCRIPTION	Bénéfices environnementaux de l'utilisation de ferrailles pour la production d'acier. Représente la différence entre l'ICV de l'acier primaire et l'ICV de la production d'acier issu de MPR : 100% de l'acier primaire est produit dans des haut-fourneaux et 100% de l'acier issu de MPR est produit dans des fours à arc électrique.
REPRÉSENTATIVITÉ GÉOGRAPHIQUE	30 % de la production d'acier en Europe. Données collectées sur site ; mix électrique spécifique à chacun des sites collectés.
REPRÉSENTATIVITÉ TEMPORELLE	Données collectées entre 2005 and 2008. Inventaire publié en 2011.

Les impacts de la production de matériaux intermédiaires issus de MPR sont recalculés via la formule suivante : *Steel, Foil Cold rolled coil*[26] ***x*** *(– 0.9)* ***x*** *Steel scrap benefits.*

Cette formule est établie dans le but de déterminer les impacts de la transformation de la ferraille. En effet, l'inventaire fourni par Worldsteel est construit de manière à permettre d'adapter la part de recyclé dans l'acier vierge et non de donner directement les impacts de la transformation de la ferraille.

Note : La valeur de 0.9 correspond au taux d'acier vierge dans l'inventaire « Steel, Foil Cold rolled coil ».

La quantité de ferraille nécessaire pour la production de 1 tonne d'acier est de 1.092 tonnes[27].

- Aluminium

Les impacts de la production de matériaux intermédiaires issus de MPR sont modélisés via l'inventaire de cycle de vie publié par l'association européenne de l'aluminium « *Aluminium recycling, RER, EAA 2010 ».*

ALUMINIUM RECYCLING, RER, EAA 2010

DESCRIPTION	Production d'aluminium en lingot issu de MPR
REPRÉSENTATIVITÉ GÉOGRAPHIQUE	Europe Données collectées auprès des industries Européenne par EAA (European Aluminium Association)
REPRÉSENTATIVITÉ TEMPORELLE	2010

La quantité d'aluminium nécessaire pour la production de 1 tonne d'aluminium en lingots est de 1.041 tonnes[28].

[26] Acier primaire (contient 10% de ferrailles), ICV détaillé au chapitre *III.4* page *45.*

[27] *source : LCA methodology report, 2011, Worldsteel*

[28] *Source : Environmental Profile Report for the European Aluminium Industry, April 2013-Data for the year 2010. Life Cycle Inventory data for aluminium production and transformation processes in Europe*

- Cuivre

Les impacts de la production de matériaux intermédiaires issus de MPR sont modélisés via l'inventaire de cycle de vie « *copper, secondary, at refinery, RER, Ecoinvent V2.2* ». Le mix électrique est remplacé par le mix électrique français. Les impacts en amont de ce procédé de production (collecte-tri-transport du cuivre) sont supprimés de cet inventaire pour ne conserver que les impacts de l'usine.

COPPER, SECONDARY, AT REFINERY, RER, ECOINVENT V2.2

DESCRIPTION	Production de cathodes de cuivre issues de MPR
REPRÉSENTATIVITÉ GÉOGRAPHIQUE	Représentatif d'une seule grosse usine qui est considérée comme approximant la situation en Europe / Mix électrique adapté aux zones géographiques dans lesquelles les matières premières de recyclage sont transformées.
REPRÉSENTATIVITÉ TEMPORELLE	1994 - 2003

La quantité de cuivre nécessaire pour la production de 1 tonne de cathodes est de 1.31 tonnes[29].

[29] *Source : Ecoinvent v2.2, inventaire de cycle de vie : "copper, secondary, at refinery, RER "*

- **Transport**

Tableau III-6 : Distances de transport des métaux

	Trajet	Flux concernés	Destination	Distance	Source (distance)	Moyen de transport
Métaux ferreux	Tri → production MPR	Emballages, ferrailles issues des recycleurs de ferrailless	France	345 km route	Comité d'Information Matériaux 2014, document préparatoire à la réunion du 9 juin 2015, Éco Emballages – Adelphe	Camion charge utile 25 t
	Démantèlement → production MPR (broyage)	VHU	France	200 km route	Hypothèse validée par experts FEDEREC	Camion charge utile 25 t
	Stockage → production MPR (broyage)	DEEE	France	200 km route	Hypothèse validée par experts FEDEREC	Camion charge utile 25 t
	Production MPR (broyage, cisaillage) → Production de matériaux intermédiaires issus de MPR	Tous	51% France	500 km route	Hypothèse validée par experts FEDEREC	Camion charge utile 25 t
			45% UE	1000 km route	Basé sur les destinations export UE	Camion charge utile 25 t
			4% hors UE	500 km route + 5000 km maritime	Basé sur les destinations export hors UE	Camion charge utile 25 t + Porte-conteneurs
Métaux non ferreux	Tri → production MPR	Emballages	France	397 km route	Comité d'Information Matériaux 2014, document préparatoire à la réunion du 9 juin 2015, Éco Emballages – Adelphe	Camion charge utile 7 t
	Tri → production des MPR (cisaillage/broyage)	Métaux issus des recycleurs de ferrailles	France	100 km route	Expert FEDEREC	Camion charge utile 25 t
	Démantèlement → production MPR (broyage)	VHU	France	200 km route	Hypothèse validée par experts FEDEREC	Camion charge utile 25 t
	Stockage → production MPR (broyage)	DEEE	France	200 km route	Hypothèse validée par experts FEDEREC	Camion charge utile 25 t
	Production MPR (broyage, cisaillage) → Production de matériaux intermédiaires issus de MPR	Cuivre	5% France	500 km route	Hypothèses validées par experts FEDEREC	Camion charge utile 25 t
			90% UE	1500 km route		Camion charge utile 25 t
			5% hors UE	500 km route + 18 000 km maritime		Camion charge utile 25 t - + Porte-conteneurs

	Production MPR (broyage, cisaillage) → Production de matériaux intermédiaires issus de MPR	Aluminium	25% France	500 km route	Hypothèses validées par experts FEDEREC	Camion charge utile 25 t
			70% UE	1500 km route		Camion charge utile 25 t
			5% hors UE	500 km route + 18 000 km maritime		Camion charge utile 25 t + Porte-conteneurs

Note : une distance de transport par route de 150 km est considérée pour les pertes et flux indésirables

III.3.1.4. Allocation des impacts du transport des flux recyclés issus des VHU

Les différentes étapes de transports allouées massiquement aux différentes fractions recyclées des VHU sont résumées dans le tableau ci-dessous :

	Allocation des impacts du transport aux flux recyclés
Dépollution - démontage - Centre VHU	
Transport vers réutilisation	non
Transport vers recyclage	oui
Transport vers autres solutions	non
Transport vers Broyeur	oui
Broyage - tri-post-broyage - Broyeur	
Transport vers recyclage	oui
Transport vers autres solutions	oui

III.3.1.5. Allocation des impacts du transport des flux recyclés issus des DEEE

De même que pour les VHU, les impacts du transport doivent être alloués aux différentes fractions issues du démantèlement et broyage des DEEE.

Dans cette étude, on considère que le démantèlement, la dépollution et le broyage des DEEE sont effectués sur le même site.

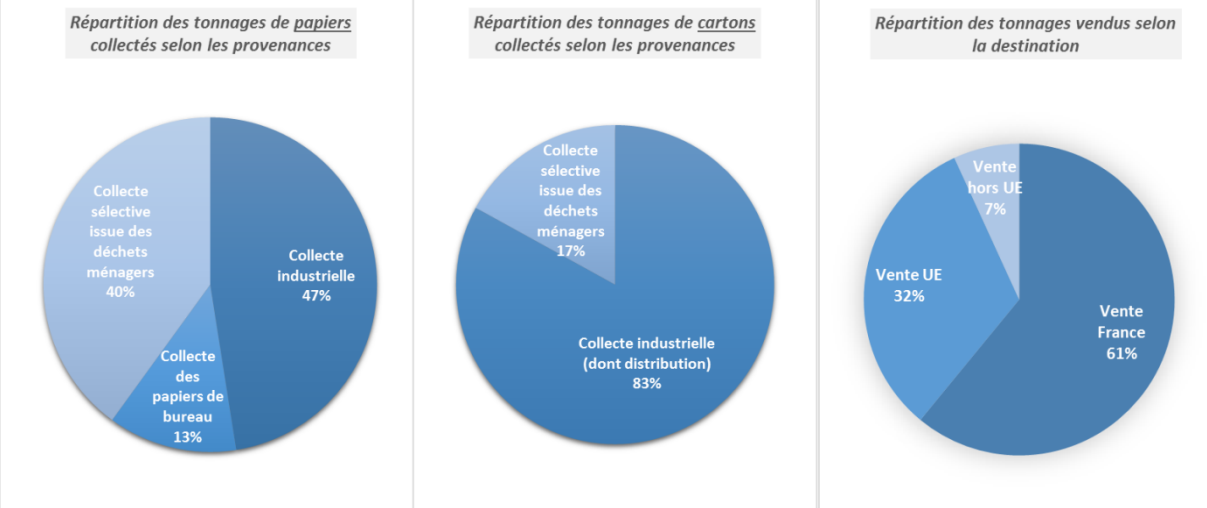
Le transport vers la valorisation énergétique et l'élimination est alloué massiquement aux différentes fractions recyclées, réemployées et réutilisées.

III.3.2. Papiers et cartons

III.3.2.1. Tonnages collectés et recyclés en 2014

Le tonnage de papiers collectés en 2014 est de 2 800 kt et le volume de cartons collectés est de 4 500 kilotonnes.

La répartition des tonnages collectés selon les provenances et la répartition des tonnages vendus selon la destination sont présentées sur les graphiques suivants

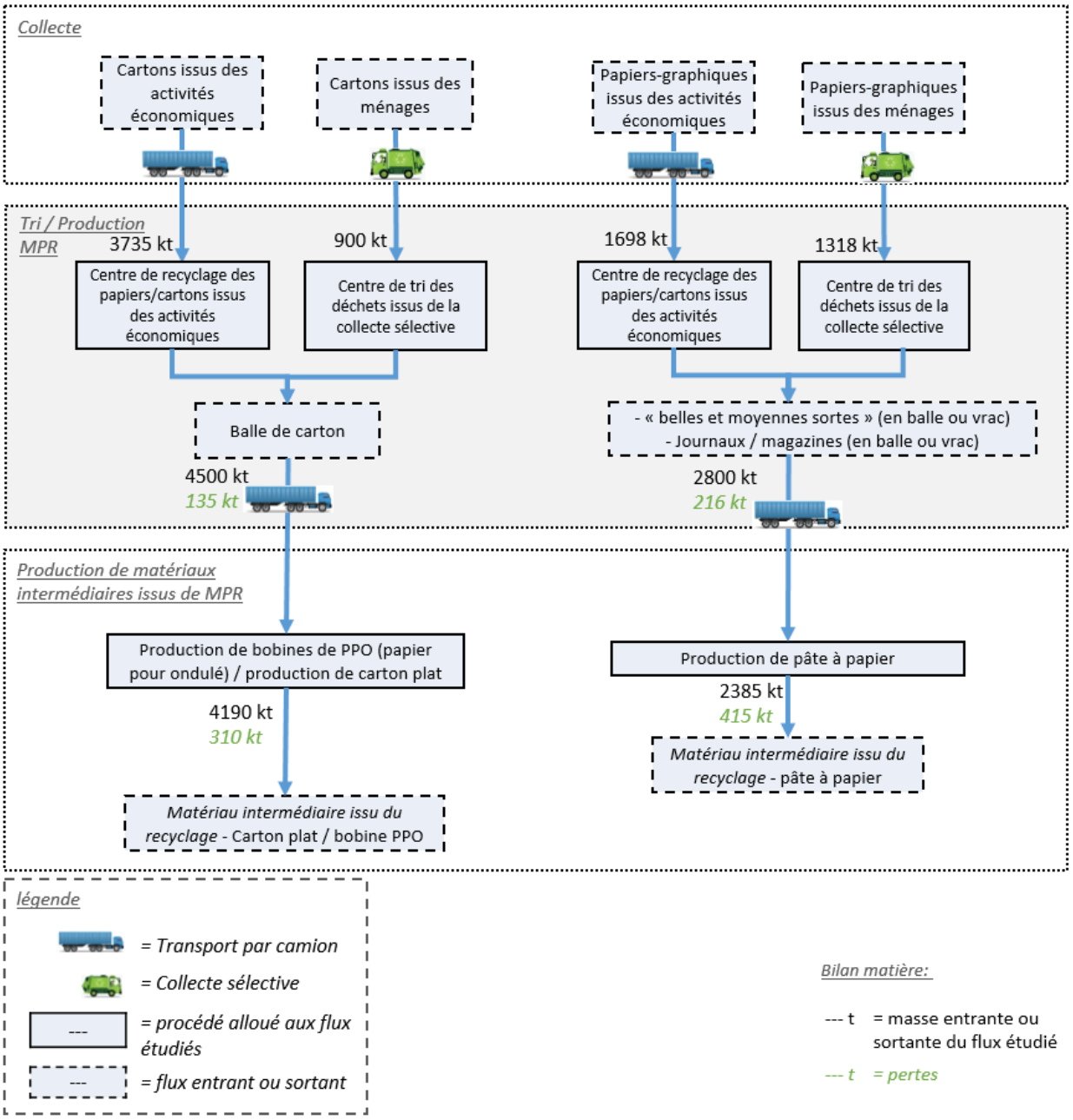


Source : FEDEREC

Note : la répartition des tonnages vendus, correspond au tonnage consommé par les usines papetières via les ventes des entreprises de recyclage. En d'autres termes, on peut dire que 61% des tonnages vendus par les entreprises de recyclage sont achetés par les papetiers français. Cependant un tonnage important est acheté en direct par les papetiers, et une partie des tonnages consommés est importée : en rapportant le tonnage consommé par les usine papetière en France (5,4 Mt en 2014; source COPACEL) au tonnage global collecté en France (7,3 Mt en 2014; source COPACEL et ADEME) on obtient un taux de consommation en France des tonnages collectés de 73,6 % (5,3 / 7,2).

III.3.2.2. Description de la filière étudiée

Figure III-4 : Schéma des filières papiers et cartons étudiées



Note : ce schéma représente la filière telle que modélisée dans cette étude. La filière papiers/cartons étudiée ne considère pas toute la diversité de la filière papier/carton. En effet, les papiers/graphiques issus des ménages peuvent également être utilisés dans la production de PPO (Papier Pour Ondulé) ou dans la fabrication du papier d'hygiène.

III.3.2.3. Données d'activités pour chacune des étapes du recyclage

- **Collecte**

Tableau III-7 : Scénarios de collecte pris en compte pour les filières papiers et cartons

	Transport du producteur de déchet jusqu'au centre de tri / préparation conditionnement	Collecte évitée en l'absence de la filière de recyclage
Papiers graphiques et cartons issus des ménages	74% : collecte sélective en porte à porte par benne à ordure ménagère 26% : collecte sélective en point d'apport volontaire[30]	Collecte non sélective en porte à porte par benne à ordure ménagère
Papiers graphiques et cartons issus des activités économiques	Transport par camion	Type de transport et distance identiques à la filière de collecte en vue du recyclage

Les données utilisées pour la collecte sélective et non sélective en porte à porte ainsi que la collecte en point d'apport volontaire sont exposées en *Annexe 4*.

- **Tri et production des matières premières de recyclage (MPR)**

Tableau III-8 : Données utilisées pour le tri des papiers et cartons

	Procédé	Données	Source des données	Inventaires de cycle de vie
Papiers graphiques et cartons issus des ménages	Centre de tri des déchets issus de la collecte sélective	40 à 60 kWh/t de déchets entrants (valeur retenue 50 kWh/t) Taux d'indésirables entrants dans les centres de tri des déchets ménagers : 15%	[1] [2]	Mix électrique France
Papiers graphiques et cartons issus des activités économiques	Centre de recyclage papier/carton	20 kWh/t de déchets entrants Taux d'indésirables dans le flux de papiers de bureaux : 5% Taux d'indésirables dans le flux de papiers et cartons de la collecte des industriels : 0%	[3]	Mix électrique France

[1] : « Environmental and Economic analysis of end-life of packaging in MSW », Eco-emballages, Eco-Embes, Sociedad Ponto Verde and FOST Plus, March 2009

[2] : ADEME ITOM 2012

[3] : Expert FEDEREC

[30] Source : Bio Intelligence Service, AJI-Europe, P2R. 2012. Transport et logistique des déchets – Rapport final. ADEME. 281 pages. (Type de collecte des emballages ménagers légers et assimilés)

- **Production des matériaux intermédiaires issus de MPR**
  - Papier

Les impacts du procédé de recyclage du papier afin de produire de la pâte à papier recyclée sont issus du rapport *« Analyse de cycle de vie des ramettes de papier de bureau, Juillet 2013, ADEME-COPACEL »*. L'inventaire est calculé pour une tonne de pate séchée à l'air (TSA). Les impacts de la collecte, du tri et du stockage des déchets de papier sont soustraits aux résultats de la pâte recyclée afin de ne conserver que les impacts du procédé de production. Les données utilisées sont détaillées en *Annexe 6 : Résultats de l'ACV de la pâte à papier recyclée et de la pâte marchande moyenne.*

PÂTE À PAPIER MOYENNE RECYCLÉE, FR, ADEME-COPACEL, 2013

DESCRIPTION	Pâte à papier issue de la voie recyclée. Inventaire « waste-to-gate »
REPRÉSENTATIVITÉ GÉOGRAPHIQUE	France, données collectées auprès des industriels représentant 54% de la production de ramettes de papier vendues sur le marché français
REPRÉSENTATIVITÉ TEMPORELLE	Données représentatives de l'année 2011. Inventaire publié en 2013

Note : Cet inventaire est relatif au recyclage de déchets de papiers pour une application en ramette de papier. Il est utilisé, dans cette étude, pour modéliser les impacts à la fois des belles et moyennes sortes que des journaux et magazines.

La masse de déchets de papiers nécessaire pour la production d'une tonne séchée à l'air de pâte à papier est fixé à 1.174 tonnes[31].

  - Carton

Les impacts de la production de matériaux intermédiaires issus de MPR sont modélisés via les inventaires de cycle de vie suivants :

- *15%[32] Corrugated board base paper, Testliner[33], RER, Ecoinvent v2.2 with data from FEFCO 2012*
- *85%[32] Corrugated board base paper, Wellenstoff[34], RER, Ecoinvent v2.2 with data from FEFCO 2012*

Le mix électrique est adapté aux zones géographiques dans lesquelles les MPR sont transformées. Les procédés de transport et de tri amont sont supprimés afin de conserver uniquement les impacts de l'usine.

CORRUGATED BOARD BASE PAPER, TESTLINER, RER, ECOINVENT V2.2 WITH DATA FROM FEFCO 2012

DESCRIPTION	Procédé de production de carton plat issu de MPR. Inventaire « waste-to-gate »
REPRÉSENTATIVITÉ GÉOGRAPHIQUE	Europe (66% de la production européenne) / Mix électrique adapté aux zones géographiques dans lesquelles les matières premières de recyclage sont transformées (cf. *Tableau III-9*) Données collectées auprès d'usines en Autriche, République-Tchèque, France, Allemagne, Italie, Pays-Bas, Pologne, Espagne et Grande-Bretagne

[31] *Source : Ecoinvent v2.2, inventaire de cycle de vie: "paper, recycling, with deinking, at plant, RER"*

[32] *Source : Bilan National du Recyclage, ADEME, chiffres 2014*

[33] Partie externe du carton

[34] Partie interne (ondulée) du carton

REPRÉSENTATIVITÉ TEMPORELLE	*2011*
CORRUGATED BOARD BASE PAPER, WELLENSTOFF, RER, ECOINVENT V2.2 WITH DATA FROM FEFCO 2012	
DESCRIPTION	Procédé de production de PPO (papier pour ondulé) issu de MPR. Inventaire « waste-to-gate »
REPRÉSENTATIVITÉ GÉOGRAPHIQUE	Europe (66% de la production européenne) / Mix électrique adapté aux zones géographiques dans lesquelles les matières premières de recyclage sont transformées (cf. *Tableau III-9*) Données collectées auprès d'usines en Autriche, République-Tchèque, France, Allemagne, Italie, Pays-Bas, Pologne, Espagne et Grande-Bretagne
REPRÉSENTATIVITÉ TEMPORELLE	*2011*

La masse de déchets de cartons nécessaire pour la production d'une tonne de carton recyclé est comprise entre 1.073 et 1.084 tonnes[35] (donnée retenue : 1.0785 t).

[35] *Source : FEFCO 2012*

- **Transport**

Tableau III-9 : Distances de transport des papiers et cartons

Trajet	Flux concernés	Destination	Distance	Source (distance)	Moyen de transport
Tri / production MPR → production de matériaux issus de MPR	Carton	61 % France 32 % UE	250 km route	Expert FEDEREC *NB : export dans les pays limitrophes de la France*	Camion charge utile 25 t
		7 % Hors UE	500 km route 18 000 km maritime	Hypothèse validée par les experts FEDEREC	Camion charge utile 25 t Porte-conteneurs transocéanique
Tri / production MPR→ production de matériaux issus de MPR	Papier	61 % France 32 % UE	500 km route	Expert FEDEREC *NB : export dans les pays limitrophes de la France*	Camion charge utile 25 t
		7 % Hors UE	50 km route 300 km fluvial 18 000 km maritime	Hypothèse validée par les experts FEDEREC	Camion charge utile 25 t Porte-conteneurs transocéanique

Note : une distance de transport par route de 150 km est considérée pour les pertes et flux indésirables issus des différentes étapes de production des MPR

III.3.3. Verre d'emballage

III.3.3.1. Tonnages collectés et recyclés en 2014

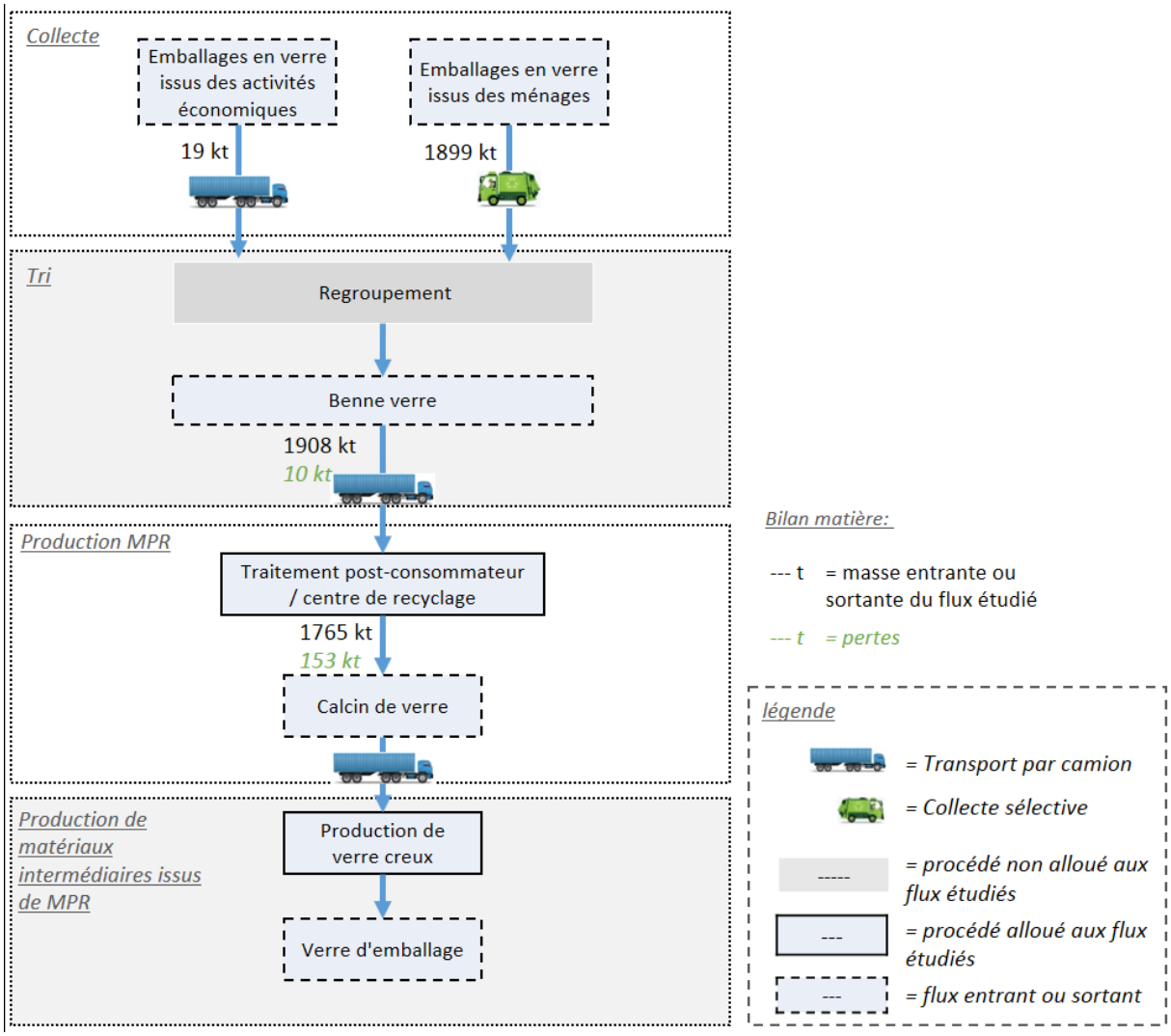
En 2014, 1 918 kilotonnes de verre creux d'emballage ont été collectées. 99% de ce tonnage est issu de la collecte sélective des ménages et assimilés, le reste provenant des activités économiques.

En ce qui concerne les ventes, 87% du verre a été vendu en France, 10% au sein de l'union européenne et 3% hors de l'union européenne.

(*Source : FEDEREC)*

III.3.3.2. Description de la filière étudiée

Figure III-5 : Schéma de la filière verre d'emballage étudiée



Note : ce schéma représente la filière telle que modélisée dans cette étude

III.3.3.3. Données d'activités pour chacune des étapes du recyclage

- **Collecte**

Tableau III-10 : Scénarios de collecte pris en compte pour la filière verre

	Transport du producteur de déchet jusqu'au centre de tri / préparation conditionnement	Collecte évitée en l'absence de la filière de recyclage
Verre d'emballage issu des ménages	20% : collecte sélective en porte à porte par benne à ordure ménagère 80% collecte sélective en point d'apport volontaire[36]	Collecte non sélective en porte à porte par benne à ordure ménagère
Verre d'emballage issu des activités économiques	Transport par camion	Type de transport et distance identiques à la filière de collecte en vue du recyclage

Les données utilisées pour la collecte sélective et non sélective en porte à porte ainsi que la collecte sélective en point d'apport volontaire sont exposées en *Annexe 4.*

- **Massification - Tri - Préparation**

Le verre collecté est regroupé avant d'être envoyé en traitement post-consommateur. Les impacts du centre de regroupement du verre sont négligés.

Le taux d'indésirables dans le flux est estimé à 0.5% (source : experts FEDEREC)

- **Production des matières premières de recyclage (MPR)**

Les impacts du traitement post-consommateur du verre sont modélisés via l'inventaire du cycle de vie : « *glass cullets, sorted, at sorting plant, RER, Ecoinvent v2.2* ». Le mix électrique est remplacé par le mix français. Le transport amont lié à la collecte du verre est supprimé de cet inventaire pour ne modéliser que les impacts de l'usine.

GLASS CULLETS, SORTED, AT SORTING PLANT, RER, ECOINVENT V2.2	
DESCRIPTION	Procédé de production de calcin de verre
REPRÉSENTATIVITÉ GÉOGRAPHIQUE	Europe / France pour le mix électrique (adaptation RDC) Données basées sur les informations d'usines situées en Suisse et en Allemagne
REPRÉSENTATIVITÉ TEMPORELLE	1994 - 1998

Le taux de refus en sortie de production des MPR est de 8% (donnée issue du procédé Ecoinvent de production de calcin).

[36] Source : Bio Intelligence Service, AJI-Europe, P2R. 2012. Transport et logistique des déchets – Rapport final. ADEME. 281 pages. (Type de collecte du verre creux usagé)

- **Production de matériaux intermédiaires issus de MPR et matières premières vierges évitées**

L'ajout de calcin de verre dans les fours à verre permet :

- d'éviter une consommation de matières premières vierges,
- d'éviter des émissions de CO2 liées à la décarbonatation des matières premières vierges,
- de réduire la consommation énergétique du four.

Selon le rapport[37] de la fédération européenne des emballages en verre (FEVE) de 2010, les matières premières suivantes sont utilisées pour la production de verre fondu :

- 61% de sable de quartz (silica sand, at plant, DE, Ecoinvent v2.2) ;
- 18% de soude synthétique (soda, powder, at plant, RER, Ecoinvent v2.2) ;
- 15% de craie (limestone, milled, loose, at plant, CH, Ecoinvent v2.2) ;

Les 6% restants sont estimés comme étant du feldspath (*feldspar, at plant, RER, Ecoinvent v2.2*).

Selon la dernière version du BREF de l'industrie du verre[38] (chapitre 3.2.2 Process outputs), une tonne de calcin remplace 1.2 tonnes de matières premières vierges.

Les émissions de CO_2 évitées liées à décarbonatation des matières premières vierges sont calculées selon la stœchiométrie de la réaction :

- Soude : 44/(2*23+16+44) = 0.415 kg CO2 émis par kg soude utilisée
- Craie : 44/(40+16+44) = 0.444 kg CO2 émis par kg craie utilisée

L'incorporation de calcin dans les fours verriers permet de réduire la consommation énergétique du four en comparaison avec la situation où 100% du verre serait produit à partir de matières premières vierges. Selon le BREF verre[39], une réduction de la consommation énergétique de 2.5 à 3% est constatée par tranche de 10% de calcin ajouté dans le four.

Toujours selon le BREF verre, la consommation moyenne des différentes technologies de fours est de 4.6 GJ à 6.3 GJ/ t verre fondu pour un taux de calcin de 50%[40].

Sur base de ces deux données, on calcule que la consommation d'un four verrier ne contenant pas de calcin est comprise entre 5.3 et 7.3 GJ/t verre fondu[41]. La consommation énergétique évitée par l'utilisation de calcin est donc comprise entre 1.3 et 2 GJ/t (cas où 100% du verre fondu produit est issu de calcin).

[37] Life Cycle Assessment of Container Glass in Europe, Method report, commissioned by European Container Glass Federation (FEVE), July 2010

[38] Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Manufacture of Glass - Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control), European Commission

[39] Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Manufacture of Glass Industrial Emissions Directive 201 0/75/EU

[40] Données transmises par FEVE dans le cadre de la révision du BREF (*FEVE 2007 : First contribution of data to the Glass BREF revision of Container glass sector)*

[41] La valeur médiane de 2.75% est retenue pour le calcul (valeur de la réduction de consommation énergétique par tranche de 10%)

Les types d'énergies utilisées par les fours verriers sont les suivantes[42] :

- 45% de gaz naturel ;
- 55% de fioul léger.

En résumé, 1 tonne de calcin entrant dans les fours verriers permet d'éviter :

- 1 tonne de matières premières vierges dont
  - 732 kg de sable de quartz
  - 216 kg soude synthétique
  - 180 g de craie
  - 72 kg de feldspath
- La combustion de 787 MJ de gaz naturel
- La combustion de 967 MJ de fioul léger.
- 169.2 kg de CO2 émis issus de la décarbonatation

[42] Hypothèse basée sur le rapport « *European Commission (2000) Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) - Reference Document on Best Available Techniques in the Glass Manufacturing Industry. Institute for Prospective Technological Studies, Sevilla* » dans lequel il est spécifié que la source d'énergie la plus utilisée, durant les dernières décennies, est le fioul.

- **Transport**

Tableau III-11 : Distances de transport du verre d'emballage

Trajet	Flux concernés	Destination	Distance	Source (distance)	Moyen de transport
Regroupement → production de MPR	Verre d'emballage	France	222 km route	Comité d'Information Matériaux 2014, Éco Emballages – Adelphe	Camion charge utile 25 t
Production MPR→ production de matériaux intermédiaires issus de MPR	Verre d'emballage	87 % France	0 à 10 km route (moyenne retenue : 5 km)	Expert FEDEREC	Camion charge utile 25 t
		10 % UE	1500 km route	Hypothèses validées par les experts FEDEREC	Camion charge utile 25 t
		3% hors UE	500 km route 18 000 km maritime		Camion charge utile 25 t Porte-conteneurs transocéanique

Note : une distance de transport par route de 150 km est considérée pour les pertes et flux indésirables issus des différentes étapes de production des MPR

III.3.4. Plastiques d'emballages

III.3.4.1. Tonnages collectés et recyclés en 2014

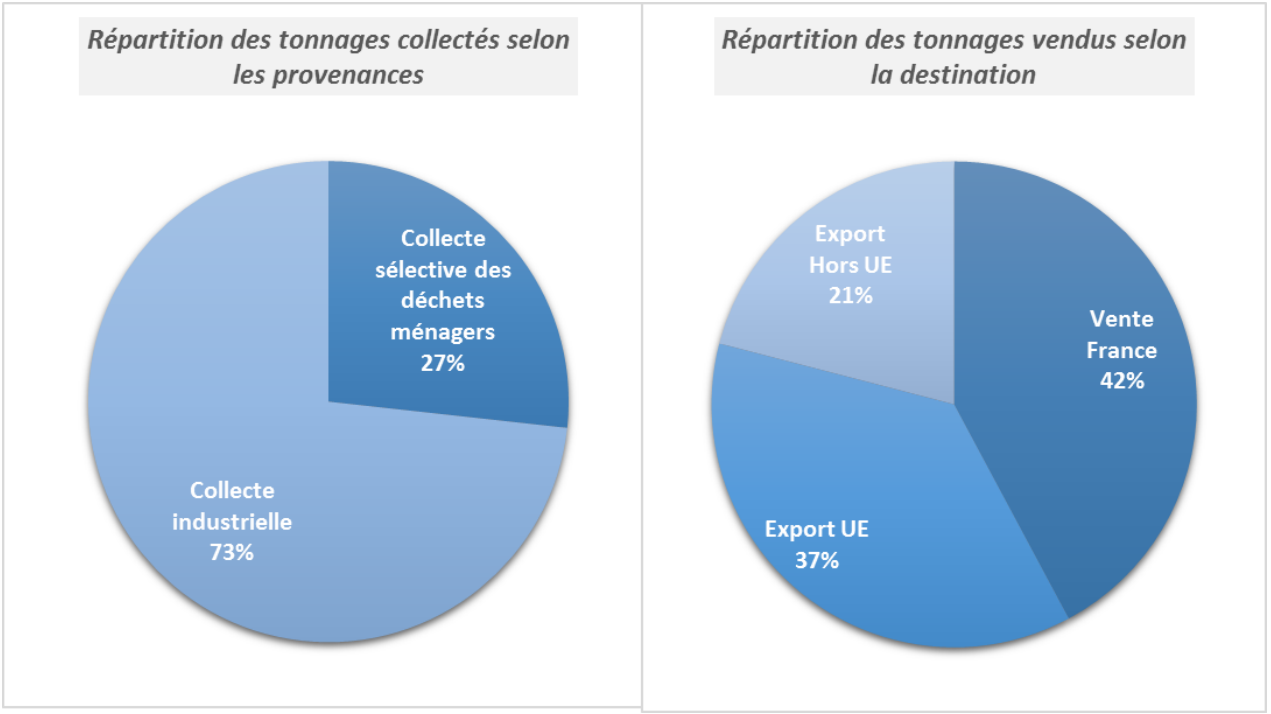
Le tonnage de déchets plastiques collectés en vue du recyclage en 2014 s'élève à 860 kilotonnes dont 73% provient de la collecte industrielle et 27% de la collecte des déchets ménagers.

Le tonnage vendu s'élève, quant à lui, à 830 kilotonnes.

La présente étude s'attache à déterminer le bilan environnemental du recyclage des emballages en PET et du PEhd. La part de chacun de ces deux matériaux est déterminée sur base de l'étude suivante : « *État des lieux de la chaine de valeur du recyclage des plastiques en France, mars 2015, 2ACR, DGE, ADEME* » et de l'hypothèse que tout le flux de PET est issu des ménages.

Il est retenu que 141 kt[43] d'emballages PET et 117 kt[43] d'emballages PEhd sont entrés chez les régénérateurs de plastiques en 2014.

La répartition des tonnages collectés selon les provenances et la répartition des tonnages vendus selon la destination sont présentées sur les graphiques suivants :

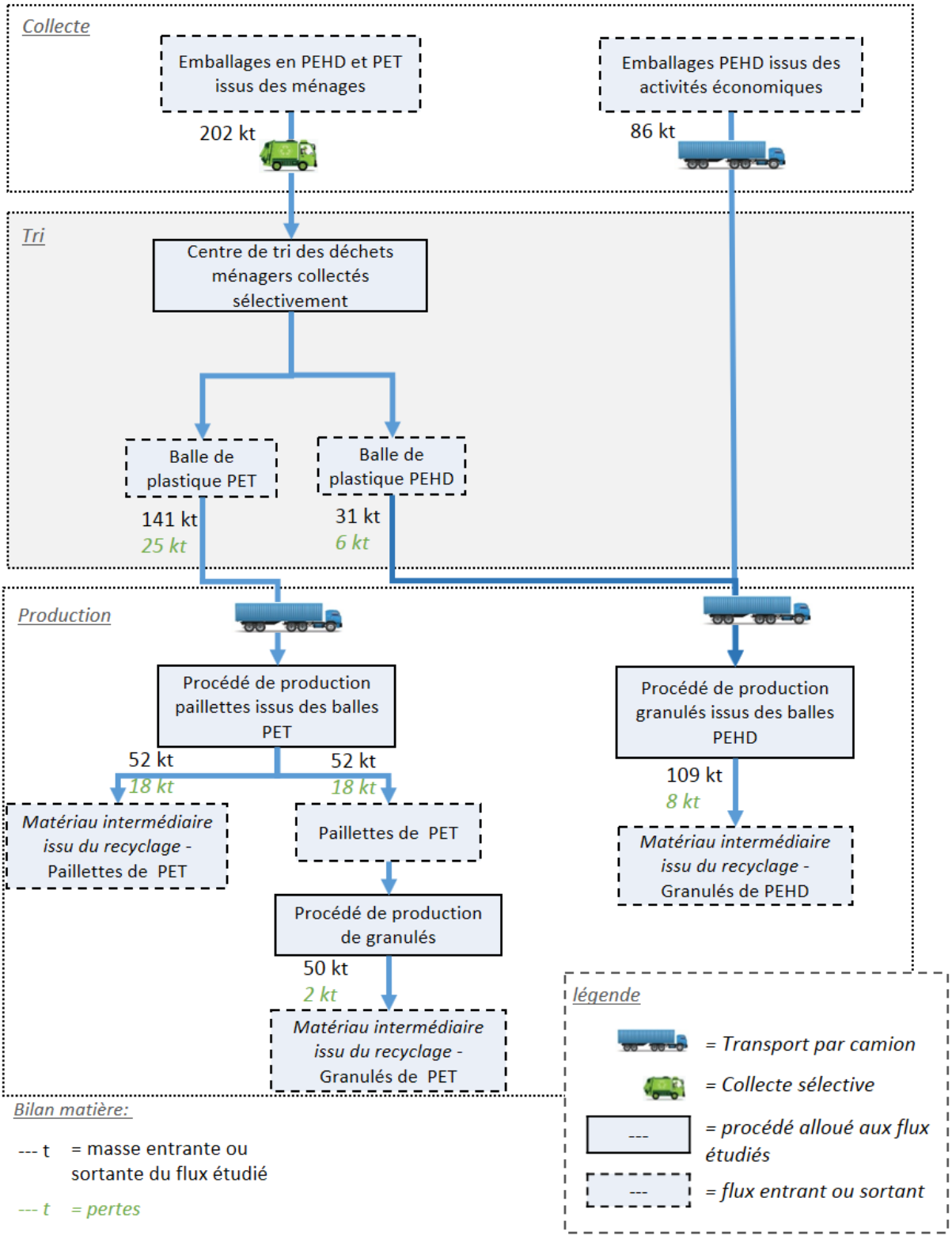


Source : FEDEREC

[43] Quantité entrante chez le recycleur

III.3.4.2. Description de la filière

Figure III-6 : Schéma de la filière plastique d'emballage étudiée



Note : ce schéma représente la filière telle que modélisée dans cette étude

III.3.4.3. Données d'activités pour chacune des étapes du recyclage

- **Collecte**

Tableau III-12 : Scénarios de collecte pris en compte pour la filière plastique

	Transport du producteur de déchet jusqu'au centre de tri / préparation conditionnement	Collecte évitée en l'absence de la filière de recyclage
Emballages PEHD et PET issus des ménages	Collecte sélective en porte à porte par benne à ordure ménagère	Collecte non sélective en porte à porte par benne à ordure ménagère
Emballages en PEHD et PET issus des activités économiques	Transport par camion	Type de transport et distance identiques à la filière de collecte en vue du recyclage

La collecte sélective est approchée par la collecte sélective en porte à porte, la collecte sélective en apport volontaire est donc approximée par cette première.

Les données utilisées pour la collecte sélective et non sélective en porte à porte sont exposées en *Annexe 4.*

- **Tri**

Tableau III-13 : Données utilisées pour le tri des plastiques d'emballages

	Procédé	Données	Source des données	Inventaires de cycle de vie
Emballages PEhd et PET issus des ménages	Centre de tri des déchets issus de la collecte sélective	40 à 60 kWh/t de déchets entrants (valeur retenue : 50 kWh/t) 15% d'indésirables entrants en centre de tri	[1] [2]	Mix électrique France
Emballages PET issus des activités économiques	Centre de tri des déchets d'activités économiques	40 à 60 kWh/t de déchets entrants 3% d'indésirables entrants en centre de tri	[3] [4]	Mix électrique France

[1] : « Environmental and Economic analysis of end-life of packaging in MSW », Eco-Emballages, Eco-Embes, Sociedad Ponto Verde and FOST Plus, March 2009

[2] : ADEME ITOM 2012

[3] : Consommation approchée par la consommation des centres de tri des déchets issus de la collecte sélective

[4] : Expert FEDEREC

- Production des MPR et production de matériaux intermédiaires issus de MPR

Les données pour le procédé production de granulés de PEHD et de PET sont issues du regroupement des sources suivantes :

- Le rapport *« Life cycle inventory of 100% postconsumer HDPE and PET recycled resin from postconsumer containers and packaging, april 2010, prepared for the plastics division of the american chemistry council, INC ; the association of postconsumer plastic recyclers (APR), the national association for PET container ressources (NAPCOR), and the PET resin association (PETRA) ».*
- Les données transmises par PAPREC pour le PET et le PEHD
- Les données transmises par Nordpalplast pour le PET
- Les données issues de visites d'installations de recyclage de PEHD en Espagne, au Portugal et aux Pays-Bas en 2007-2008.

Les données utilisées sont présentées en *Annexe 7.*

- **Transport**

Tableau III-14 : Distances de transport des plastiques d'emballage

Trajet	Flux concernés	Destination	Distance	Source (distance)	Moyen de transport
Tri → production des MPR et production de matériaux intermédiaires issus de MPR	PET et PEHD issus des **ménages**	80 % France	345 km route	Comité d'Information Matériaux 2014, document préparatoire à la réunion du 9 juin 2015, Éco-Emballages – Adelphe (Plastiques : Bouteilles et flacons)	Camion charge utile 25 t
		19% UE	586 km route		Camion charge utile 25 t
		1 % hors UE	500 km route	Hypothèse	Camion charge utile 25 t
			18000 km maritime		Porte-conteneurs transocéanique
Tri → production des MPR et production de matériaux intermédiaires issus de MPR	PET et PEHD issus des **industriels**	97 % France[44]	345 km route	Hypothèse (basée sur les emballages plastiques ménagers)	Camion charge utile 25 t
		3% UE[44]	586 km route		Camion charge utile 25 t

Note : une distance de transport par route de 150 km est considérée pour les pertes et flux indésirables issus des différentes étapes de production des MPR.

[44] Pourcentages estimés sur base d'un échange avec Elipso (en septembre 2015). Valeurs représentatives de la situation pour les bidons, fûts et IBC.

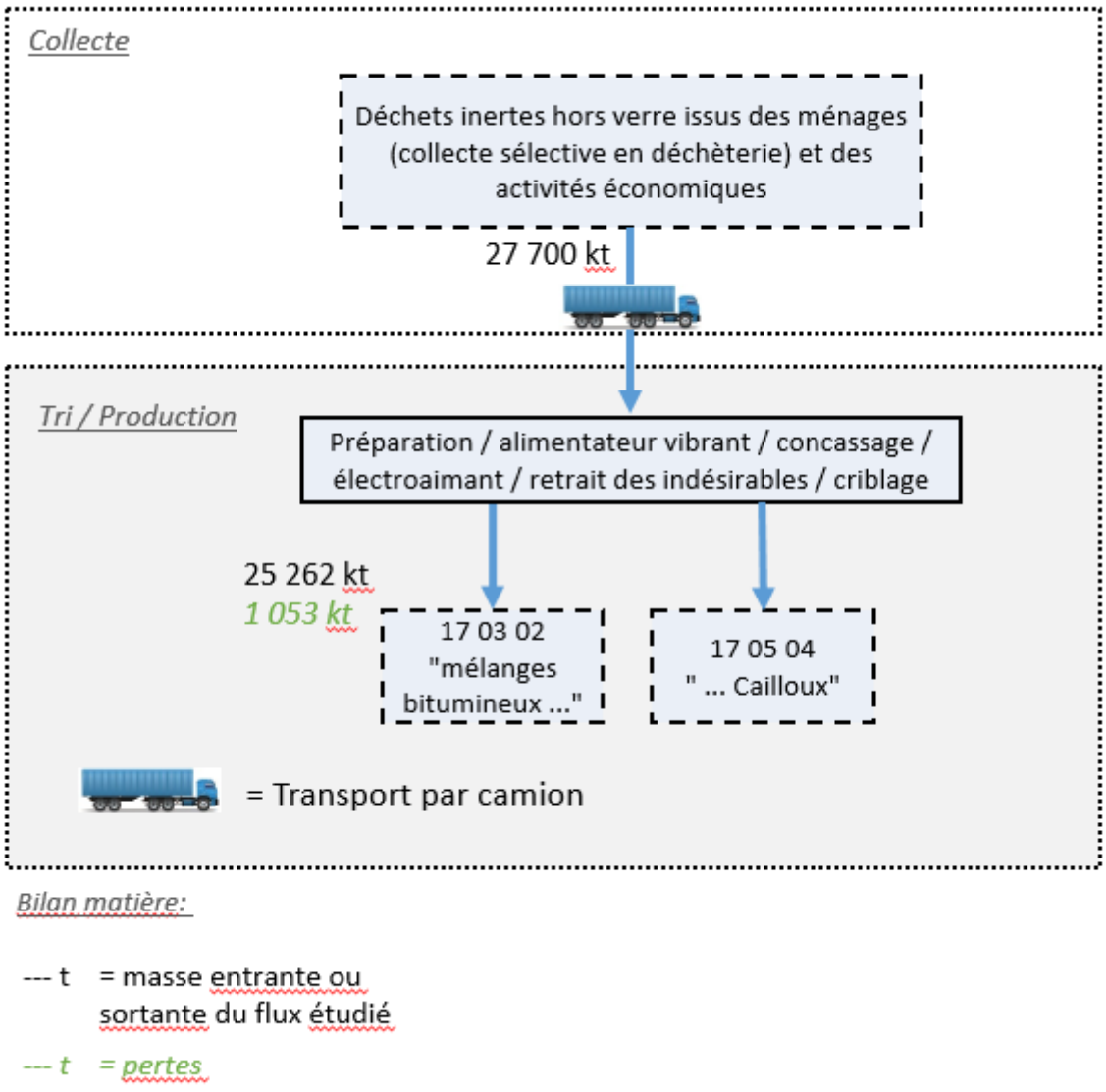
III.3.5. Granulats

III.3.5.1. Tonnages collectés et recyclés en 2014

En 2014, 38 200 kilotonnes de déchets de bâtiment ont été collectées en vue du recyclage. Parmi ce tonnage, 27 700 kilotonnes de déchets de bâtiments ont été recyclé en granulats pour une utilisation en technique routière (source : FEDEREC).

III.3.5.2. Description de la filière étudiée

Figure III-7 : Schéma de la filière granulats étudiée



Note : ce schéma représente la filière telle que modélisée dans cette étude

Dans la filière granulats, les MPR sont directement et majoritairement utilisées en technique routières, pour la réalisation de sous-couches ou de remblais. Néanmoins, le bâtiment est également un débouché, pour la réalisation de sous-couche d'ouvrages ou de parkings notamment. En effet, il est difficile de trouver d'autres débouchés en raison des seuils en certaines substances pour des

applications dans le bâtiment (ex : taux de sulfate dans les granulats recyclés) ou en raison des prescriptions géotechniques contraignantes pour certains ouvrages (ex : remplacement des ballasts de chemin de fer).

III.3.5.3. Données utilisées pour chacune des étapes du recyclage

- **Collecte**

Tableau III-15 : Scénario de collecte pris en compte pour la filière granulats

	Transport du producteur de déchet jusqu'au centre de tri / préparation conditionnement	Collecte évitée en l'absence de la filière de recyclage
Déchets inertes des ménages	Collecte en point d'apport volontaire	Collecte en point d'apport volontaire identique
Déchets inertes des activités économiques	Transport par camion	Type de transport et distance identiques à la filière de collecte en vue du recyclage

- **Tri et production des matières premières de recyclage (MPR)**

La transformation des déchets de chantier en granulats suit typiquement les étapes suivantes :

1. Les gros blocs sont brisés à l'aide de machines hydrauliques
2. Les parties les plus fines sont éliminées par scalpage
3. L'alimentateur vibrant dirige les plus gros éléments vers le concasseur
4. Les ferrailles sont séparées par un aiment
5. Un opérateur retire les matériaux indésirables du processus
6. Les différents produits sont séparés par granulométrie (criblage)

Tableau III-16 : Données du tri et production des MPR pour la filière des granulats

Paramètre	Valeur	Source de la donnée	Inventaire de cycle de vie
Énergie			
Diesel	13.4 MJ/t	[1]	diesel, burned in building machine, GLO, ecoinvent v2.2
Électricité (procédé)	3.6 kWh/t	[2]	kWh moyenne tension, mix électrique moyen français
Électricité (autre)	2.2 kWh/t	[2]	
Infrastructures			
Immobilisations	2.85E-03 m²/t	[3]	building, hall, steel construction, CH, ecoinvent v2.2
Bande transporteuse	9.51E-05 m/t	[3]	conveyor belt, at plant, RER, ecoinvent v2.2
Machines	9.51E-02 kg/t	[3]	industrial machine, heavy, unspecified, at plant, RER, ecoinvent v2.2
Autres			
Caoutchouc	4.00E-03 kg/t	[3]	synthetic rubber, at plant, RER, ecoinvent v2.2
Huile de lubrification	2.50E-03 kg/t	[3]	lubricating oil, at plant, RER, ecoinvent v2.2
Déchets d'huile de lubrification	2.50E-03 kg/t	[3]	disposal, used mineral oil, 10% water, to hazardous waste incineration, CH, ecoinvent v2.2

[1] : Ecoinvent, procédé « Clinker, at plant, CH » (données pour le transport interne hors extraction)

[2] : Aktid, consommations calculées sur base des puissances installées (cf. Annexe 8)

[3] : Description ajoutée

Un taux d'indésirables dans le flux entrant de 5% est considéré (hypothèse).

Un taux de perte de 4% est considéré pendant le procédé de recyclage (source : ecoinvent, procédé « gravel, crushed, at mine, CH »)

- **Transport**

Tableau III-17 : Distance de transport pour la filière des granulats

Trajet	Flux concernés	Destination	Distance	Source (distance)	Moyen de transport
Point de collecte (déchets ménagers) / chantiers (déchets des activités économiques) → production de MPR	Gravats	France	100 km	Hypothèse	Camion charge utile 25 t

Note : une distance de transport par route de 150 km est considérée pour les pertes et flux indésirables issus des différentes étapes de production des MPR.

III.3.6. Textiles

III.3.6.1. Tonnages collectés et recyclés en 2014

En 2014, 175 kilotonnes de Textiles Linge de maison Chaussures (TLC) ont été collectées en 2014 selon EcoTLC. Sur ce tonnage, 89% ont été triés et le reste a été réemployé ou éliminé directement. Une fois triés, les exutoires sont les suivants :

- 64.5% réutilisés
- 20.5% effilochés
- 9% coupés en chiffons d'essuyage,
- 4% utilisés en combustible solide de récupération,
- 2% éliminés avec valorisation énergétique.

La présente étude s'attache à déterminer le bilan environnemental des 15 750 tonnes de tonnes de TLC envoyés vers la filière essuyage.

A ces tonnages, il faut ajouter 5 260 tonnes de linges de réforme de blanchisseries industrielles pour la production chiffons[45].

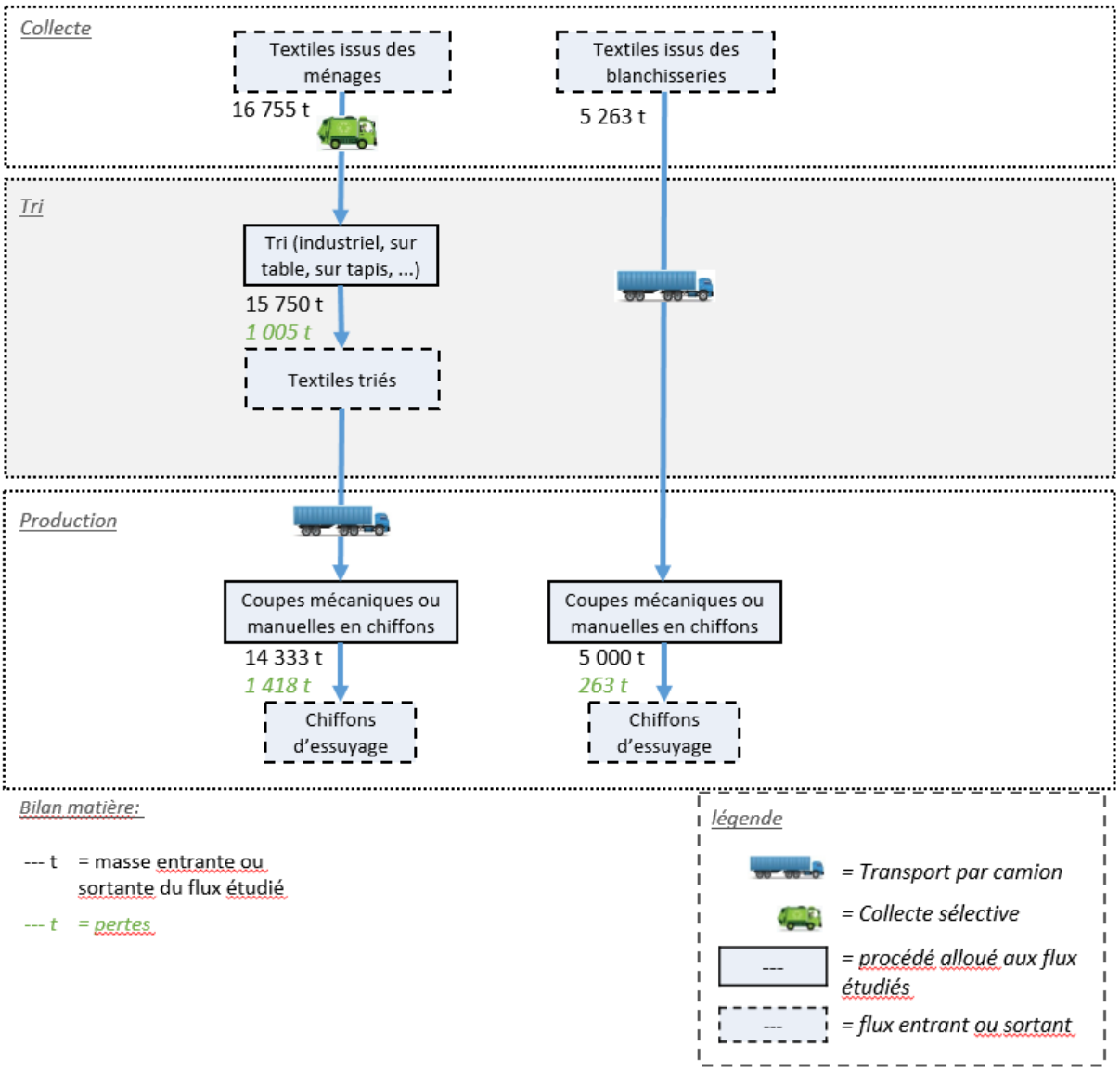
Les exutoires des TLC collectés et à destination de la filière d'essuyage sont les suivants : 44% en France, 38% en Europe et 18% hors Europe.

Concernant les textiles issus des blanchisseries, il est considéré que la totalité est découpée en France.

[45] Selon FEDEREC, les professionnels du secteur estiment à 5000 tonnes, la quantité de chiffons produits à partir de linges de réforme issus de blanchisseries industrielles. En considérant 5% de pertes au tri et à la découpe, on obtient 5260 tonnes.

III.3.6.2. Description de la filière étudiée

Figure III-8 : schéma de la filière des textiles étudiée



La filière de recyclage des textiles est évaluée partiellement par la production de chiffons. Il existe d'autres filières de recyclage conduisant à la production d'isolants, de nouveaux fils, de rembourrage, etc.

Sur la totalité des TLC collectés en 2014, 9% ont été envoyés vers la découpe en chiffons. Le choix de cette filière ne s'est donc pas fait sur la représentativité de celle-ci mais sur la capacité à collecter de la donnée dans le temps imparti pour cette étude.

III.3.6.3. Données utilisées pour chacune des étapes du recyclage

- **Collecte**

	Transport du producteur de déchet jusqu'au centre de tri / préparation conditionnement	Collecte évitée en l'absence de la filière de recyclage
Textiles issus des ménages (TLC)	100%[46] collecte sélective en point d'apport volontaire	100% Collecte non sélective en porte à porte par benne à ordure ménagère
Textiles issus des blanchisseries	Transport par camion	Type de transport et distance identiques à la filière de collecte en vue du recyclage

Les données utilisées pour la collecte sélective et non sélective en porte à porte ainsi que la collecte en point d'apport volontaire sont exposées en *Annexe 4.*

- **Massification - Tri - Préparation**

	Procédé	Données	Source des données	Inventaires de cycle de vie
Textiles issus des ménages (TLC)	Centre de tri des déchets issus de la collecte sélective	40 à 60 kWh/t de déchets entrants (valeur retenue : 50 kWh/t) **6 %** d'indésirables dans le flux trié	[1] [2]	kWh moyenne tension du mix électrique France

[1] : Consommation des centres de tri de collecte sélective « Environmental and Economic analysis of end-life of packaging in MSW », Eco-emballages, Eco-Embes, Sociedad Ponto Verde and FOST Plus, March 2009

[2]. EcoTLC, rapport d'activité 2014, données 2013

Pour les textiles issus des blanchisseries, l'opération de tri est réalisée sur le même site que la découpe.

- **Production des matières premières de recyclage (MPR)**

Procédé	Données	Source des données	Inventaires de cycle de vie
Découpe des textiles	2 à 15 kWh/t de textile entrants (valeur retenue : 6.5 kWh/t) Taux de pertes pour les TLC : 9% Taux de pertes pour les textiles issus des blanchisseries : 5%	Hypothèse [1]	kWh moyenne tension du mix électrique France -

[1] : entreprise COBIC

[46] Selon le rapport d'activité 2014 de EcoTLC, 99.5% des TLC sont collectés via un point d'apport volontaire (conteneurs, dons aux associations et reprise en magasin).

- **Transport**

Tableau III-18 : Distances de transport pour la filière des textiles

Trajet	Flux concernés	Destination	Distance	Source (distance)	Moyen de transport
Point de collecte → tri	Textiles pour essuyage (TLC)	80 % France[47]	150 km route	Hypothèse	Camion charge utile 15 t
		20% Hors France (Tunisie)	1000 km route 900 km maritime	Distance Paris-Tunis	Camion charge utile 25 t Porte-containers
Tri → découpe en chiffons	Textiles pour essuyage (TLC)	44 % France[48]	500 km route	Hypothèse	Camion charge utile 25 t
		38% Europe	2200 km route	Distance calculée sur base de la principale destination européenne transmise par l'entreprise COBIC (pays de l'est)	Camion charge utile 25 t
		18 % Hors Europe	1000 km route 900 km maritime	Distance calculée sur base de la principale destination hors Europe transmise par l'entreprise COBIC (Tunisie)	Camion charge utile 25 t Porte-containers

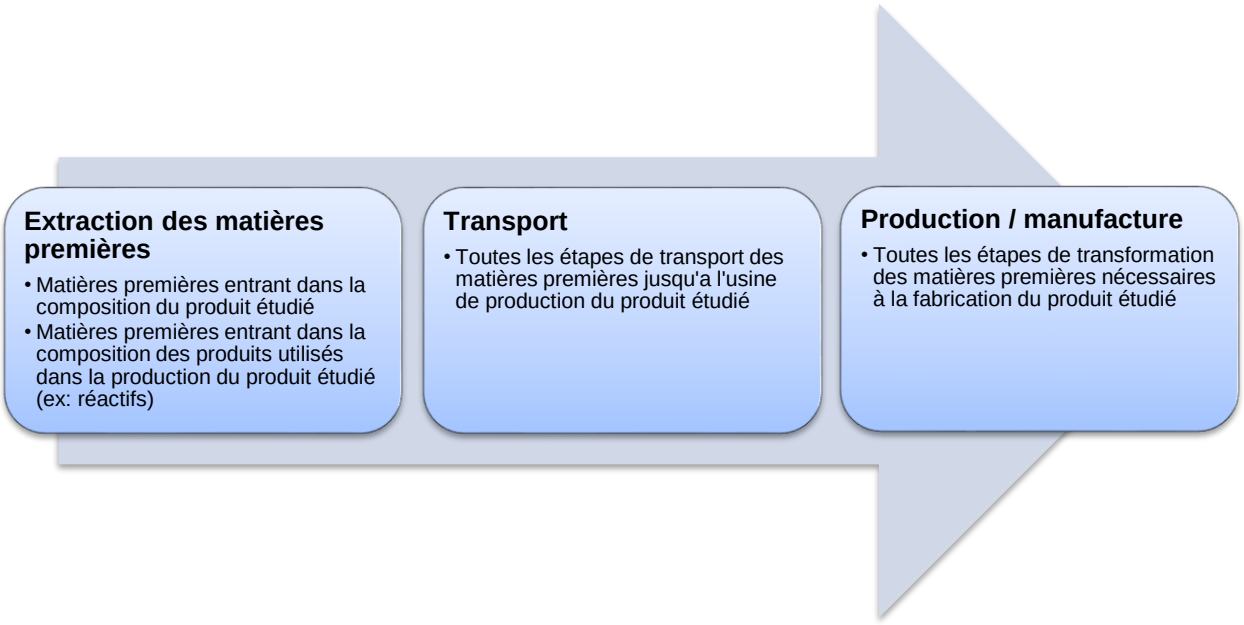
[47] Source : Rapport Annuel Eco-TLC 2014

[48] Source : FEDEREC

III.4. Hypothèses et données sur les filières de production des matériaux d'origine vierge évitées par le recyclage

Les inventaires de cycle de vie des matériaux d'origine vierge sont sur un périmètre « cradle-to-gate », c'est-à-dire de l'extraction des matières premières au produit fini ou semi-fini (aux portes de l'usine). Le produit d'origine vierge est au même niveau de transformation que le produit d'origine recyclé.

Figure III-9 : Étapes de cycle de vie prises en compte pour les matériaux d'origine vierge



Cependant, le matériau d'origine recyclée, bien que remplissant les mêmes fonctions que le matériau d'origine vierge, ne se substitue pas toujours complétement. En effet, il est parfois nécessaire d'utiliser une quantité de matériau d'origine recyclée supérieure au matériau vierge pour atteindre les mêmes caractéristiques techniques.

Les taux de substitution considérés dans cette étude sont présentés dans le tableau suivant. Ces valeurs sont des hypothèses communément utilisées dans les études ACV. Elles ont été validées par les experts FEDEREC.

Tableau III-19 : Taux de substitution aux matières premières d'origine vierge considérés dans cette étude

Filière	Taux de substitution	Matière vierge substituée
Métaux ferreux	100%	Bobine d'acier laminé à froid
Cuivre	100%	Cathodes de cuivre
Aluminium	100%	Aluminium en lingot
Papier	90%	Pâte à papier issue de la voie chimique
Carton	85%	Carton plat
Plastique d'emballage PET	100%	Granulés PET

Plastique d'emballage PEhd	100%	Granulés PEhd
Granulats	100%	Granulats (issus de carrières)
Textile	100%	50% Mix textile / 50% Papier d'essuyage

Note : dans le cas des papiers et cartons, le procédé de recyclage entraine une dégradation de la fibre. En pratique, les fibres se cassent. Les fibres trop courtes sont évacuées à travers les pertes du procédé considéré. Pour le reste, on constate une dégradation des propriétés techniques du papier et carton. Cette dégradation est approchée via le taux de substitution.

Les inventaires de cycle de vie (ICV) des matériaux d'origine vierge sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau III-20 : Inventaires de cycle de vie des matériaux d'origine vierge

Matériau	Nom de l'ICV	Description de l'ICV	Représentativité géographique	Représentativité temporelle
Acier	Steel, Foil Cold rolled coil, RER, Worldsteel 2011	Production de bobine d'acier laminé à froid utilisé pour des applications domestiques, des applications automobiles, des appareils d'éclairage, des composants électriques… Contient 10% de ferrailles, corrigé à 0% à l'aide de l'inventaire « steel scrap benefits, RER, Worldsteel 2011 »	Couvre 30 % de la production d'acier en Europe Données collectées sur site ; mix électrique spécifique à chacun des sites collectés.	Données collectées entre 2005 and 2008. Inventaire publié en 2011
Aluminium	Aluminium primary produced in EU, RER, EAA 2013	Production d'aluminium en lingot issu de matières premières vierges. L'extraction de la bauxite, la production d'alumine, l'électrolyse et le moulage sont inclus dans l'inventaire.	Europe Données collectées auprès des industries représentant entre 84 et 93% de la production en Europe des 27 (+EFTA). Le mix électrique est spécifique à chacun des sites enquêtés	2010
Cuivre	Copper, primary, at refinery, RER, Ecoinvent v2.2	Production de cathodes de cuivre issues de matières premières vierges. Inclut le prétraitement du minerai, la réduction et le raffinage en fonction d'un mix de technologies (fours réverbères, fours de fusion éclair…) en Europe	Europe Mix électrique adapté aux zones géographiques dans lesquelles les matières premières de recyclage sont transformées	1994 - 2003
Papier	Pâte à papier marchande moyenne issue de la voie chimique, FR, ADEME-COPACEL, 2013	Pâte à papier issue de la voie chimique (c'est-à-dire d'origine vierge). Procédé de production « kraft ». Pâte produite à partir de différentes essences d'arbre : feuillus, résineux et eucalyptus	France, données collectées auprès des industriels représentant 54% de la production de ramettes de papier vendues sur le marché français	Données représentatives de l'année 2011. Inventaire publié en 2013
Carton	Corrugated board base paper, Kraftliner, RER, Ecoinvent v2.2 with data from FEFCO 2012	Procédé de production de carton plat issu à 67.5% de matières premières vierge corrigé à	Europe (80% de la production européenne). Mix électrique adapté aux zones géographiques dans lesquelles les matières premières de recyclage sont transformées	2011

		100% à l'aide de l'inventaire « Corrugated board base paper, Testliner »[49]	Données collectées auprès d'usines en Autriche, Finlande, France, Portugal, Pologne et Suède	
Verre	Les matières premières vierges évitées, la consommation d'énergie évitée et les émissions évitées par l'incorporation de calcin de verre dans les fours verriers sont présentées au chapitre *III.3.3.3*.			
PEHD	High density polyethylene (HDPE), at plant, RER, PlasticsEurope 2014	Procédé de production de PEHD à partir de matières premières vierges. L'inventaire représente le mix des technologies de production de PEHD en Europe	Europe des 27 + Norvège + Suisse (68% de la production européenne) Données spécifiques collectées auprès de 21 sites de productions	Données collectées pour l'année 2011, inventaire publié en 2014
PET	Polyethylene terephtalate, granulate, bottle grade, at plant, RER, PlasticsEurope 2013	Procédé de production de PET à partir de matières premières vierges. L'inventaire représente le mix des technologies de production de PET en Europe	Europe Données spécifiques collectées auprès de 12 sites de production. Données représentatives de 77% de la production européenne de « bottle grade ».	Données collectées pour l'année 2010, inventaire publié en 2013
Granulats	Gravel, crushed, at mine, CH	Procédé de production de granulats concassés issus de carrières. Représentative des technologies typiques utilisées en Suisse	Suisse. Mix électrique adapté (mix France)	1997 - 2001
Textiles	50% paper, woodfree, uncoated, at non-integrated mill, RER, Ecoinvent v2.2 50% ICV du mix textile européen détaillé en *Annexe 9 : Données de modélisation du mix textile évité*	Procédé de production de papier issu de pâte mécanique (mechanical pulp)	Données de plusieurs producteurs européens de papier fin utilisées comme données moyennes européennes.	2000

[49] pour un kilogramme de carton issu à 100% de vierge, le calcul suivant est effectué : (1/(1-0.325)* Corrugated board base paper, Kraftliner) – (0.325 * Corrugated board base paper, Testliner)

Note : la représentativité géographique des inventaires de matières vierges par rapport à la situation des matériaux intermédiaires issus de MPR peut être évaluée sur base de la destination des tonnages de MPR vendus (résumé au chapitre *II.10* ou indiqué par filière au chapitre *III.3*). De manière générale, on peut dire que la qualité est bonne pour la comparaison avec les MPR transformées en France et en Europe et faible pour les MPR transformées hors d'Europe. Ces dernières représentent des tonnages plus faibles.

III.5. Hypothèses et données sur les filières de fin de vie évitées par le recyclage

Pour les emballages ménagers collectés sélectivement (emballages en acier, aluminium, plastique et verre), pour le papier et le carton issus des ménages, et pour les textiles, la fin de vie évitée est la fin de vie des ordures ménagères résiduelles en France.

Tableau III-21 : Scénario de fin de vie des ordures ménagères résiduelles en France

Voie de traitement	Répartition
Unité d'incinération des ordures ménagères - UIOM)	64%
Installation de stockage des déchets non dangereux (ISDND)	36%

Source : ADEME, enquête ITOM 2012

Pour les autres flux (ex : déchets des ménages apportés par les ménages en déchèterie ou sur les recycleurs de ferrailles, déchets d'activités économiques), les scénarios de fin de vie considérés sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau III-22 : Scénarios de fin de vie pour les autres flux

Voie de traitement	UIOM	ISDND
Ferrailles	0%	100%
Aluminium	0%	100%
Cuivre	0%	100%
Verre	0%	100%
Papier / Carton	64%	36%
Plastiques	64%	36%
Granulats	0%	100%
Textiles issus des blanchisseries	64%	36%

Les inventaires de cycle de vie et les paramètres associés sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau III-23 : inventaires de cycle de vie des traitements de fin de vie selon la filière

Voie de traitement	UIOM	ISDND
Acier	Disposal, steel, 0% water, to municipal incineration, CH, Ecoinvent v2.2	Disposal, steel, 0% water, to inert material landfill, CH, Ecoinvent v2.2
Aluminium	Disposal, aluminium, 0% water, to municipal incineration, CH, Ecoinvent v2.2	Disposal, aluminium, 0% water, to sanitary landfill, CH, Ecoinvent v2.2
Cuivre	-	Disposal, aluminium, 0% water, to sanitary landfill, CH, Ecoinvent v2.2[50]
Verre	disposal, glass, 0% water, to municipal incineration, CH, Ecoinvent v2.2	disposal, glass, 0% water, to inert material landfill, CH, Ecoinvent v2.2
Papier	Disposal, paper, 11.2% water, to municipal incineration, CH, Ecoinvent v2.2 ✓ *Récupération/valorisation énergétique du PCI*	Disposal, paper, 11.2% water, to sanitary landfill, CH, Ecoinvent v2.2 ✓ *Récupération/valorisation énergétique du biogaz produit*
Carton	Disposal, packaging cardboard, 19.6% water, to municipal incineration, CH, Ecoinvent v2.2 ✓ *Récupération/valorisation énergétique du PCI*	Disposal, packaging cardboard, 19.6% water, to sanitary landfill, CH, Ecoinvent v2.2 ✓ *Récupération/valorisation énergétique du biogaz produit*
PEHD	Disposal, polyethylene, 0.4% water, to municipal incineration, CH, Ecoinvent v2.2 ✓ *Récupération/valorisation énergétique du PCI*	Disposal, polyethylene, 0.4% water, to sanitary landfill, CH
PET	Disposal, polyethylene terephthalate, 0.2% water, to municipal incineration, CH, Ecoinvent v2.2 ✓ *Récupération/valorisation énergétique du PCI*	Disposal, polyethylene terephthalate, 0.2% water, to sanitary landfill, CH, Ecoinvent v2.2
Granulats	-	disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill, CH, Ecoinvent v2.2
Textiles	Disposal, textiles, 25% water, to municipal incineration, RER, Ecoinvent (Calculation Tool for waste disposal in Municipal Solid Waste Incinerators MSWI) ✓ *Récupération/valorisation énergétique du PCI*	disposal, textiles, 25% water, to sanitary landfill, RER, Ecoinvent (Calculation Tool for waste disposal in Municipal Sanitary Waste Landfill MSWLF)

Les données de modélisation de l'incinération et de l'enfouissement sont détaillées à l'*Annexe 3.*

[50] Pas d'inventaire disponible pour l'enfouissement cuivre, impacts approximés par l'inventaire sur l'enfouissement de l'aluminium. Cette approximation n'a que très peu d'influence sur les résultats pour les deux indicateurs présentés dans cette étude (ce ne serait pas le cas avec d'autres indicateurs comme la toxicité humaine ou l'écotoxicité).

IV. Évaluation de la qualité et la représentativité des données

Les données d'inventaires sont évaluées dans le tableau ci-dessous selon les critères suivants :

- **Représentation géographique** : les données utilisées doivent avoir la meilleure représentativité géographique
- **Représentativité temporelle :** les données utilisées doivent avoir la meilleure représentativité temporelle
- **Représentativité technologique :** les données utilisées doivent avoir la meilleure représentativité technologique

La notation, qualitative, est la suivante :

- **Faible (+) :** l'inventaire de cycle de vie ne répond pas aux conditions suffisantes du critère évalué ;
- **Moyenne (++) :** l'inventaire de cycle de vie répond de manière suffisante au critère évalué, cependant la donnée pourrait être améliorée ;
- **Forte (+++) :** l'inventaire de cycle de vie répond pleinement aux conditions du critère évalué.

L'influence sur les résultats est notée selon les résultats à la tonne collectée et par filière.

Tableau IV-1 : Évaluation de la qualité des inventaires de cycle de vie

	Représentation géographique	Représentativité temporelle	Représentativité technologique	Influence sur les résultats
Steel, Foil Cold rolled coil, RER, Worldsteel 2008	++/+++	++	+++	forte
Steel scrap benefits LCIA, RER, Worldsteel 2008	++/+++	++	+++	forte
Aluminium, primary produced in EU, at plant, EAA 2010	++/+++	++/+++	+++	forte
Aluminium, recycling, RER, at plant, EAA 2010	++/+++	++/+++	+++	forte
Copper, primary, at refinery, RER, ecoinvent v2.2	+++	++	++	forte
Copper, secondary, at refinery, RER, ecoinvent v2.2	+++	++	++	forte
Dismantling, shredder fraction from manual dismantling, mechanically, at plant, GLO, ecoinvent v2.2	+/++	++	+/++	faible
Glass cullets, sorted, at sorting plant, RER, ecoinvent v2.2	++	+/++	+/++	faible
Soda, powder, at plant, RER, ecoinvent v2.2	+/++	++	+/++	moyenne
High density polyethylene (HDPE), PlasticsEurope 2014	++/+++	+++	+++	forte
Polyethylene terephtalate, granulate, bottle grade, at plant, RER, PlasticsEurope 2013	++/+++	+++	+++	forte
Données sur la régénération des emballages PEhd en granulés (cf. *Annexe 7*)	++	++	++	faible
Données sur la régénération des emballages PET (cf. *Annexe 7*)	++	++	+/++	faible
Disposal, polyethylene, 0.4% water, to municipal incineration, CH, ecoinvent v2.2	++	++	++	forte

	Représentation géographique	Représentativité temporelle	Représentativité technologique	Influence sur les résultats
Disposal, polyethylene terephthalate, 0.2% water, to municipal incineration, CH, ecoinvent v2.2	++	++	++	forte
Corrugated board base paper, Kraftliner, at plant, Ecoinvent (donnée FEFCO 2012)	++	++/+++	++	forte
Corrugated board base paper, Testliner, at plant, Ecoinvent (données FEFCO 2012)	++	++/+++	++	forte
Corrugated board base paper, Wellenstoff, at plant, Ecoinvent (données FEFCO 2012)	++	++/+++	++	forte
Pâte à papier kraft marchande moyenne, at plant, FR, ADEME/COPACEL 2013	++/+++	+++	++	forte
Pâte à papier recyclée, at plant, FR, ADEME/COPACEL 2013	++/+++	+++	++	forte
Paper, woodfree, uncoated, at non-integrated mill, RER, ecoinvent v2.2	++	+/++	++	forte
Yarn production, cotton fibres, GLO, ecoinvent v2.2	++	+/++	++	forte
Wool, sheep, at farm, US, ecoinvent v2.2	+	+	+/++	forte
Cotton fibres, ginned, at farm, CN, ecoinvent v2.2	++	++	++	moyenne
Nylon 66 (PA66), at plant, RER, PlasticsEurope 2005	+++	++	+++	moyenne
Viscose fibres, at plant, GLO, ecoinvent v2.2	++	++	++	moyenne
Nylon 6, at plant, RER, PlasticsEurope 2005	+++	++	+++	moyenne
Electricity, hard coal, at power plant, UCTE, ecoinvent v2.2	+++	++	+++	forte
Electricity, oil, at power plant, UCTE, ecoinvent v2.2	+++	++	+++	forte
Electricity, natural gas, at power plant, UCTE, ecoinvent v2.2	+++	++	+++	forte
Electricity, nuclear, at power plant, UCTE, ecoinvent v2.2	+++	++	+++	forte
Electricity, hydropower, at power plant, FR, ecoinvent v2.2	+++	++	+++	forte
Electricity, at wind power plant, RER, ecoinvent v2.2	+++	++	+++	forte
Heat, at hard coal industrial furnace 1-10MW, RER, ecoinvent v2.2	+++	+	+/++	moyenne
Heat, natural gas, at industrial furnace low-NOx >100kW, RER , ecoinvent v2.2	+++	++	+/++	moyenne
Heat, light fuel oil, at boiler 100kW, non-modulating, CH , ecoinvent v2.2	++	++	+++	moyenne
Disposal, aluminium, 0% water, to sanitary landfill, CH, Ecoinvent v2.2 (proxy utilisé pour l'enfouissement du cuivre)	++	++	+	faible

La qualité des données d'activité est évaluée dans le tableau suivant.

Tableau IV-2 : évaluation de la qualité des données d'activité utilisées

	Acier	Aluminium	Cuivre	Papier	Carton	Verre	PEHD	PET	Granulats	Textiles
Consommation d'énergie pour l'étape de tri	+	+	+	++	++	/	++	++	+/++	+
Consommation d'énergie pour la production des MPR	++	++	++			++	+++	+++		+
Distance et mode de transport des flux à recycler (du tri à la production des matériaux intermédiaires issus de MPR)	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Distance et mode de transport des pertes et indésirables	+/++	+/++	+/++	+/++	+/++	+/++	+/++	+/++	+/++	+/++
Pertes pendant l'étape de tri	++	++	++	++	++	++	++	++	+/++	+++
Pertes pendant l'étape de production des MPR	++	++	++				++/+++	++/+++		++/+++
Tonnage de MPR nécessaire pour obtenir les matériaux intermédiaires	+++	+++	++	+/++	+/++	/			/	/
Type de matière première évitée	+++	+++	+++	++	++	++	+++	+++	++	++
Taux de substitution aux matières premières vierges	++	++	++	++	++	/	++	++	++	++
Scénario de fin de vie des déchets ménagers en l'absence de filière de recyclage	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Scénario de fin de vie des déchets d'activité économiques en l'absence de filière de recyclage	+++	+++	+++	++	++	/	++	++	+++	++
Mix consommation électrique attributionnel IEA 2012	+++									
Mix chaleur industriel attributionnel IEA 2012	+++									

Légende :

Influence faible sur les résultats	
Influence moyenne sur les résultats	
Influence forte sur les résultats f	

Qualité faible	+
Qualité moyenne ou suffisante	++
Bonne qualité	+++

V. Évaluation des indicateurs pour le bilan national de l'année 2014

V.1. Tonnages collectés et recyclés en 2014

Le bilan environnemental des filières de recyclage est basé sur les tonnages collectés et vendus en 2014. Ces données, issues de FEDEREC, sont présentées tout au long du chapitre *III.3*. Elles sont également détaillées en *Annexe 10 : Données de tonnages collectés utilisées pour les résultats de cette étude.*

V.2. Rappel des phases du cycle de vie prises en compte

Les phases de cycle de vie prises en compte pour déterminer le bilan environnemental des filières de recyclage sont les suivantes :

- **Collecte** des déchets à recycler ;
- **Tri** des déchets collectés afin de les orienter vers les filières de recyclage appropriées ;
- **Production des matières premières de recyclage :** lors de cette opération, le déchet est préparé pour l'ultime opération de production attribuable à la filière de recyclage. En pratique, cette étape consiste en un broyage, un cisaillage, un tri afin d'éliminer les déchets indésirables accompagnant le flux à recycler ;
- **Production de matériaux intermédiaires issus de MPR :** cette opération consiste en la transformation des MPR en matériaux intermédiaires remplissant des fonctions équivalentes aux matériaux intermédiaires d'origine vierge. (ex : pâte à papier, lingot d'aluminium, granulés de PET…).
- **Production évitée** de matériaux intermédiaires d'origine vierge
- **Fin de vie évitée** : scénario de fin de vie que prendrait le déchet à recycler en l'absence d'une filière de recyclage. La collecte (non sélective) évitée est également prise en compte dans cette phase.

Pour rappel, les frontières du système étudié sont présentées dans le chapitre *II.8.*

Les résultats sont présentés pour :

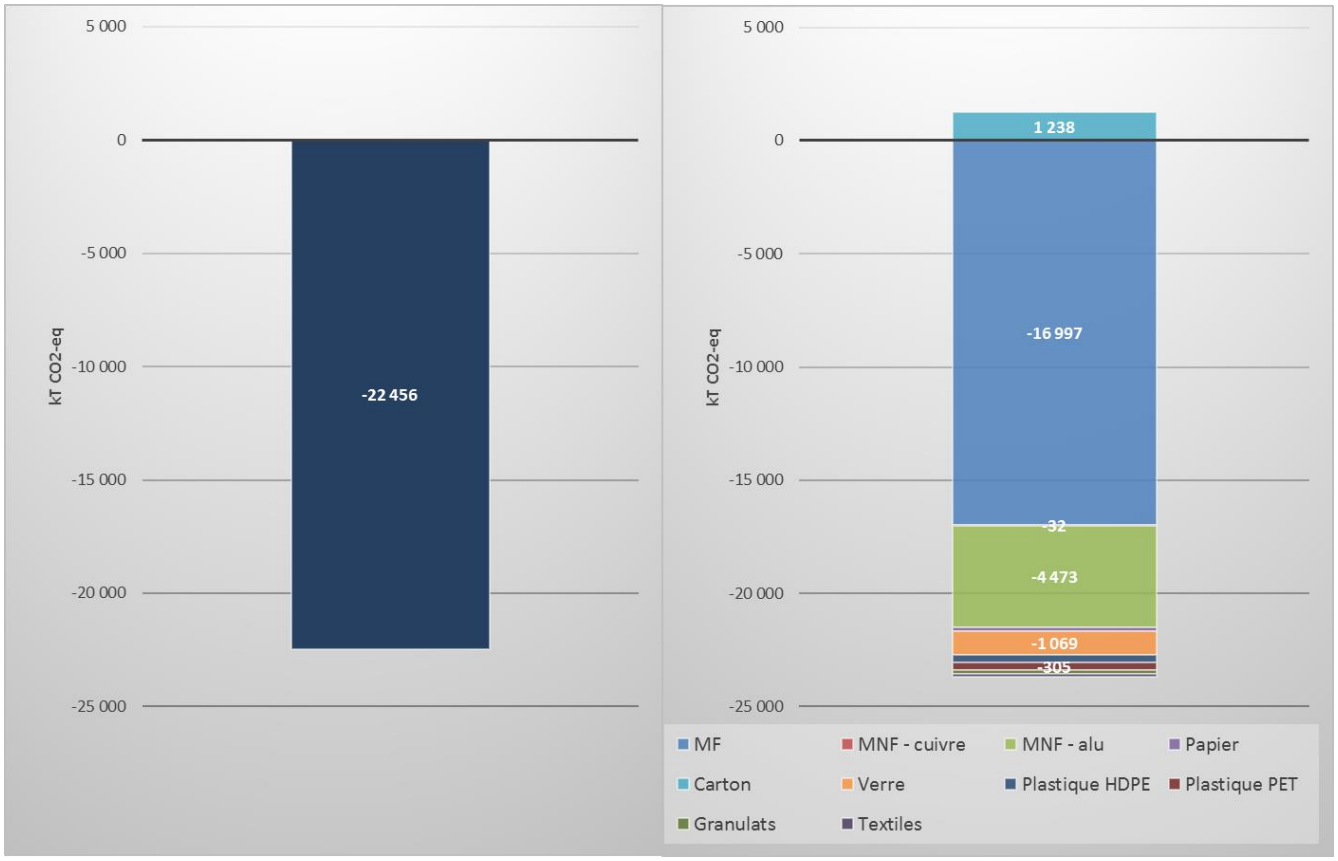
- La contribution au changement climatique,
- La consommation d'énergie primaire totale renouvelable et non renouvelable.

V.3. Contribution au changement climatique

En 2014, le recyclage des métaux ferreux, des métaux non ferreux (aluminium et cuivre), des papiers et cartons, du verre d'emballage, des plastiques d'emballage (PET et PEhd), des déchets du bâtiment à destination des techniques routières ainsi que des textiles de la filière d'essuyage a permis d'éviter environ **22 500 kt CO_2-eq**.

Le graphique suivant présente la contribution de chacun des flux à ce bilan. Une valeur négative correspond à un bénéfice environnemental ou, autrement dit, un impact positif sur l'effet de serre car cela correspond à des tonnes de CO_2 non émises à l'atmosphère.

Figure V-1 : Contribution du recyclage à l'effet de serre en 2014



Le recyclage des métaux ferreux représente **76% du bilan total**, avec 17 000 kt CO_2-eq évitées pour 12 900 kt de ferrailles collectées en 2014 (soit 25.4% des tonnages).

Le recyclage de l'aluminium contribue à hauteur de **20 % du bilan total**, avec 4 470 kt de CO_2-eq évitées pour 589 kt collectées (soit 1.2% des tonnages).

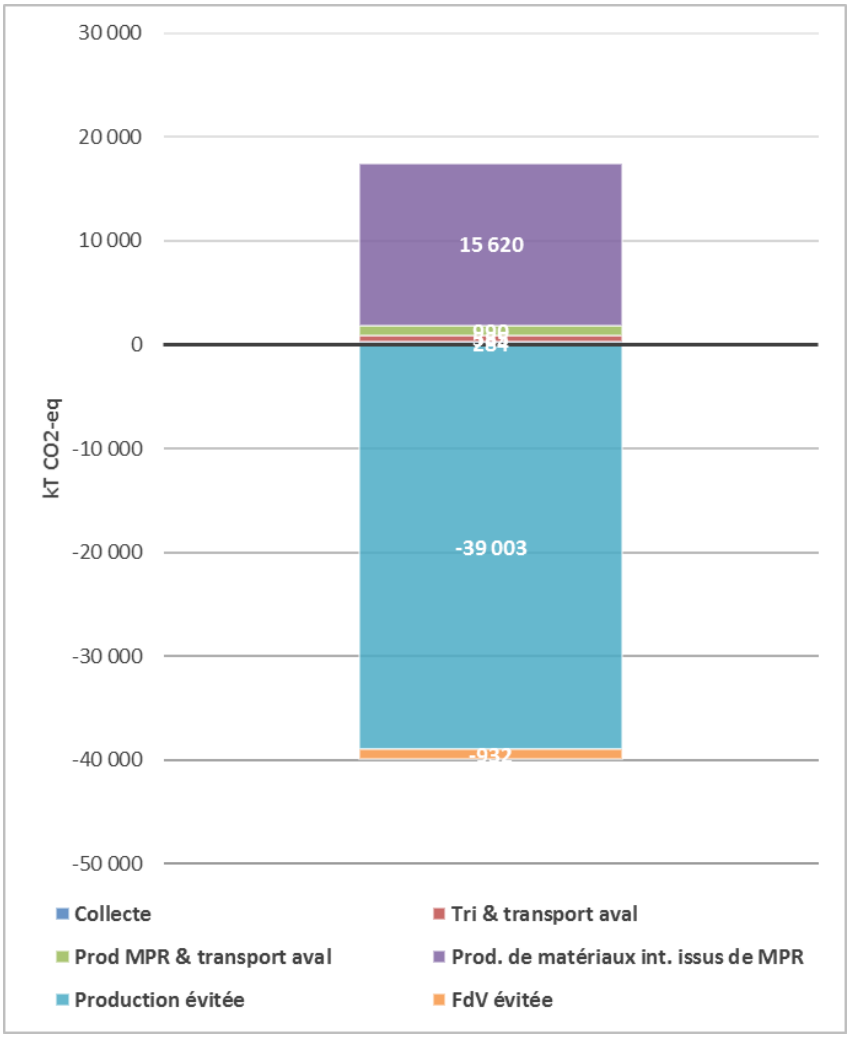
Les autres flux contribuent à hauteur de **4% du bilan global** avec 990 kt CO_2-eq évitées pour 32 900 kt collectées (soit 73.4% des tonnages), dont : 27 700 kt de déchets du bâtiment, 2 800 kt de papier, 1 918 kt de verre, 258 kt de plastiques d'emballages, 190 kt de cuivre et 21 kt de textiles.

Par ailleurs, on constate que le recyclage du carton conduit à un résultat algébriquement positif sur l'effet de serre puisque le recyclage de ces matières émet plus de CO_2 que la production de carton à partir de matière vierge. L'impact correspond à 1 240 kt CO_2-eq pour 4 500 kt collectées. En effet, selon FEFCO, l'industrie du vierge utilise, en moyenne en Europe, une plus grande quantité d'énergie d'origine renouvelable (biomasse) que l'industrie du recyclé. La combustion de cette biomasse émet du

carbone d'origine biogénique qui n'est pas comptabilisé dans cette étude ou, qui s'il était comptabilisé, aurait un bilan neutre sur l'indicateur effet de serre (le carbone émit pendant la combustion a été capté pendant la croissance de la biomasse). Il est important de noter que les résultats sur l'effet de serre ne reflètent pas la plus grande sobriété énergétique de la filière du recyclage.

Pour la totalité des flux étudiés, la contribution de chacune des phases de cycle de vie est présentée dans la figure suivante :

Figure V-2 : Contribution des phases du cycle de vie au bilan effet de serre du recyclage en 2014



La production évitée de matériaux d'origine vierge contribue pour 68%[51] au bilan global avec 39 000 kt de CO_2-eq. La deuxième phase du cycle de vie est la production de matériaux intermédiaires issus de MPR avec 27%[51] soit 15 600 kt CO_2-eq.

Les résultats par tonne collectée sont présentés dans les deux figures suivantes. Le premier graphique présente la contribution totale alors que le second détaille la contribution de chacune des phases du cycle de vie.

[51] Pourcentage calculé sur les résultats totaux en valeur absolue

Figure V-3 : Résultats par tonne collectée (effet de serre)

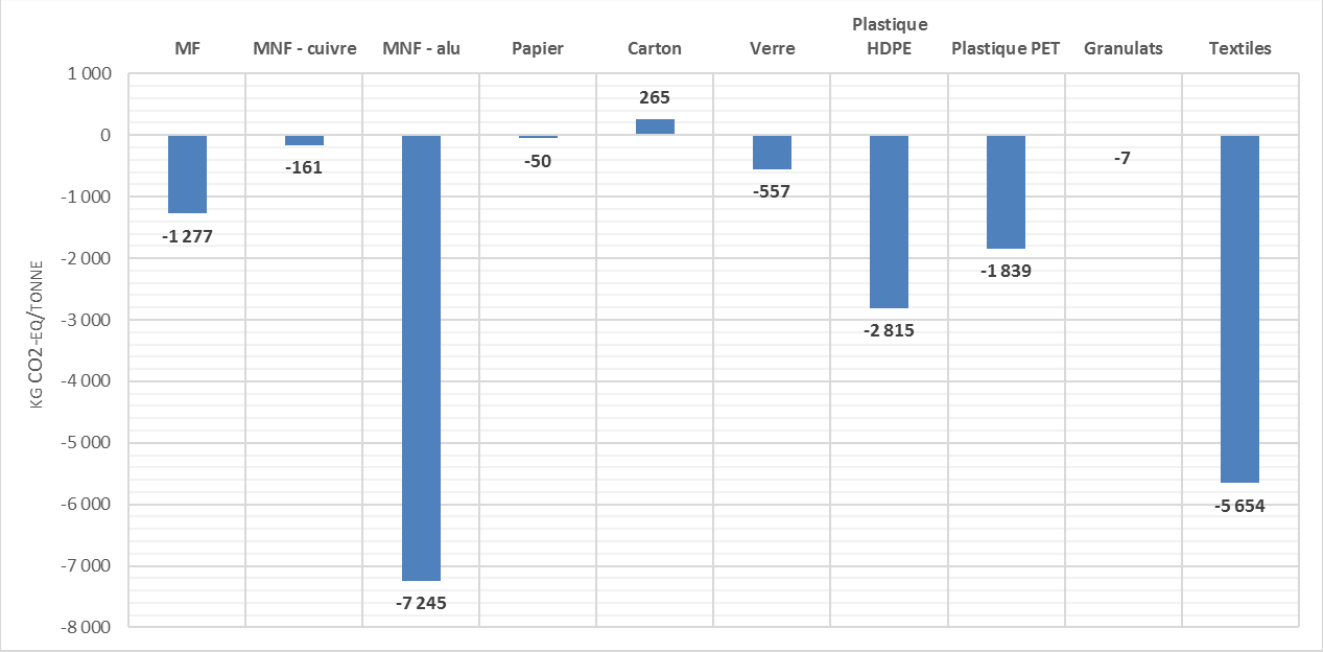
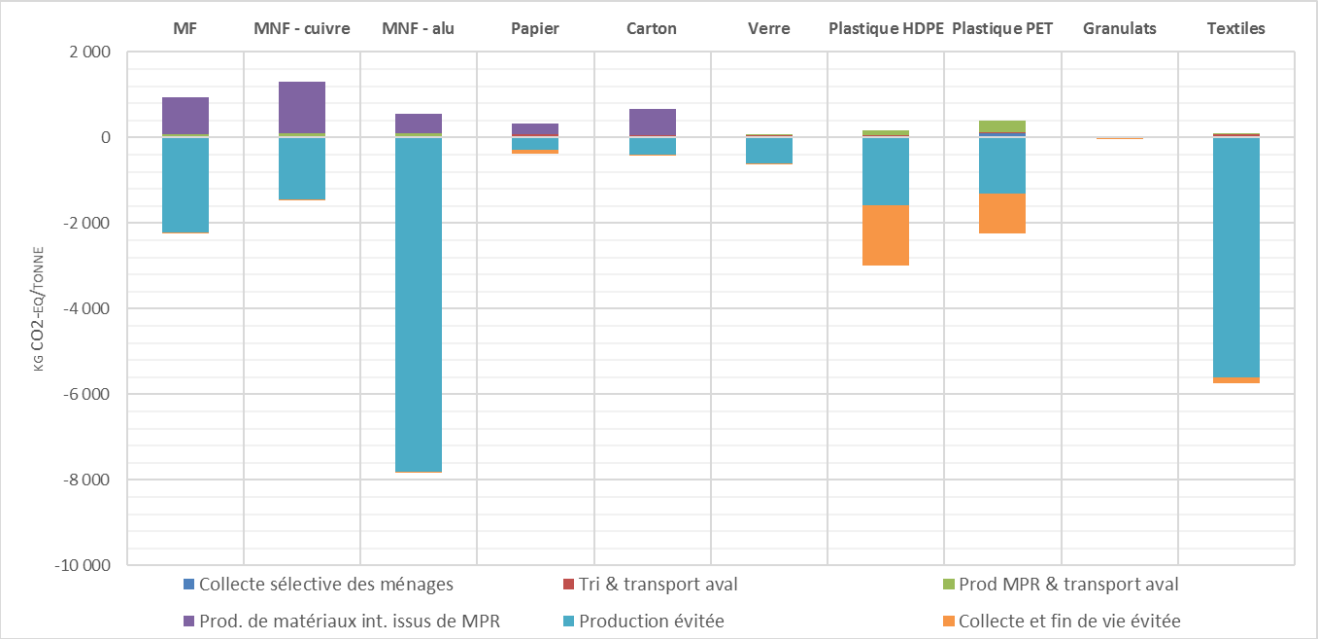


Figure V-4 : Résultats détaillés par tonne collectée (effet de serre)



Le bilan environnemental à la tonne collectée est très variable selon le flux étudié.

Pour les métaux, la production évitée de matériaux d'origine vierge contribue au bénéfice environnemental du recyclage (- 2 210 kg CO_2-eq/t pour les métaux ferreux, - 1 450 kg CO_2-eq/t pour le cuivre et - 7 800 kg CO_2-eq/t pour l'aluminium).

- Dans le cas de la production d'acier d'origine vierge, les gaz à effet de serre émis sont dominés par les émissions de dioxyde de carbone (environ 91 à 93%) et de méthane (environ 5 à 7%).

Les émissions de CO_2 sont attribuables à la combustion de charbon utilisé comme source d'énergie alors que les émissions de CH_4 sont liées au procédé de fabrication de la coke.

- Dans le cas de la production d'aluminium en lingot vierge, les émissions sont réparties entre la consommation d'électricité (40 à 45%), la consommation d'énergie thermique (23%) et le reste (émissions directes et des procédés auxiliaires).

La production de matériaux intermédiaires issus de MPR, quant à elle, est la deuxième phase du cycle de vie contribuant aux résultats (860 kg CO_2-eq/t pour les métaux ferreux, 1 200 kg CO_2-eq/t pour le cuivre et 470 kg CO_2-eq/t pour l'aluminium). Les impacts sont fortement liés à la consommation d'énergie du procédé de production.

Pour le papier, les impacts sont liés à la collecte (36 kg CO_2-eq/t), au tri (38 kg CO_2-eq/t) et au procédé de production de matériaux intermédiaires issus de MPR (240 kg CO_2-eq/t). La production évitée de matériaux d'origine vierge (-300 kg CO_2-eq/t) et la fin de vie évitée[52] (-70 kg CO_2-eq/t) permettent de présenter un bénéfice environnemental.

Dans le cas du carton, les bénéfices environnementaux de la production évitée (-390 kg CO_2-eq/t) et la fin de vie évitée (-15 kg CO_2-eq/t) sont compensés par les impacts de la collecte (16 kg CO_2-eq/t), du tri (30 kg CO_2-eq/t) et de la production de matériaux intermédiaires issus de MPR (624 kg CO_2-eq/t). Le recyclage du carton présente un impact positif sur l'environnement. Ceci s'explique par le type d'énergie utilisée par les industries du vierge qui consomment, en grande partie, de la biomasse (émettant du carbone biogénique non comptabilisé ici) en comparaison avec les industries du recyclage consommant de l'énergie d'origine non-renouvelable et ceci même si la consommation d'énergie primaire totale de l'industrie du recyclage est inférieure à celle du vierge (cf. chapitre suivant).

Le recyclage de verre présente des bénéfices environnementaux de l'ordre de 560 kg CO_2-eq/t. En effet, l'ajout de calcin de verre dans les fours à verre permet :

- d'éviter une consommation de matières premières vierges et donc des émissions de gaz à effet de serre liée à l'extraction et au transport de ces matériaux,
- d'éviter des émissions de CO_2 liées à la décarbonatation des matières premières vierges,
- de réduire la consommation énergétique du four et donc des émissions liées à la combustion.

Les bénéfices environnementaux du plastique d'emballage PEhd et PET sont liés à la production évitée de granulés d'origine vierge (-1 590 kg CO_2-eq/t pour le PEhd et -1 310 kg CO_2-eq/t pour le PET) et à la fin de vie évitée[52] (-1 400 kg CO_2-eq/t pour le PEhd et -920 kg CO_2-eq/t pour le PET).

Le recyclage des déchets du bâtiment en techniques routières présente un faible bénéfice environnemental (7 kg CO_2-eq/t) en comparaison avec les autres filières. En effet, la production de granulats d'origine vierge et la production de granulats recyclés ont une consommation d'énergie très proche. C'est la fin de vie évitée qui permet de faire la différence.

Le recyclage des textiles en chiffon d'essuyage permet de faire d'importantes économies de gaz à effet de serre (5 610 kg CO_2-eq/t). Ceci est lié à la production de matières premières évitées. Deux cas sont considérés : les chiffons recyclés permettent d'éviter soit des chiffons textiles issus de matières

[52] 64 % valorisation énergétique et 36% centre de stockage

premières vierges soit des chiffons en papier[53]. C'est l'évitement de fibres textiles d'origine vierge qui représente plus de 95% des bénéfices.

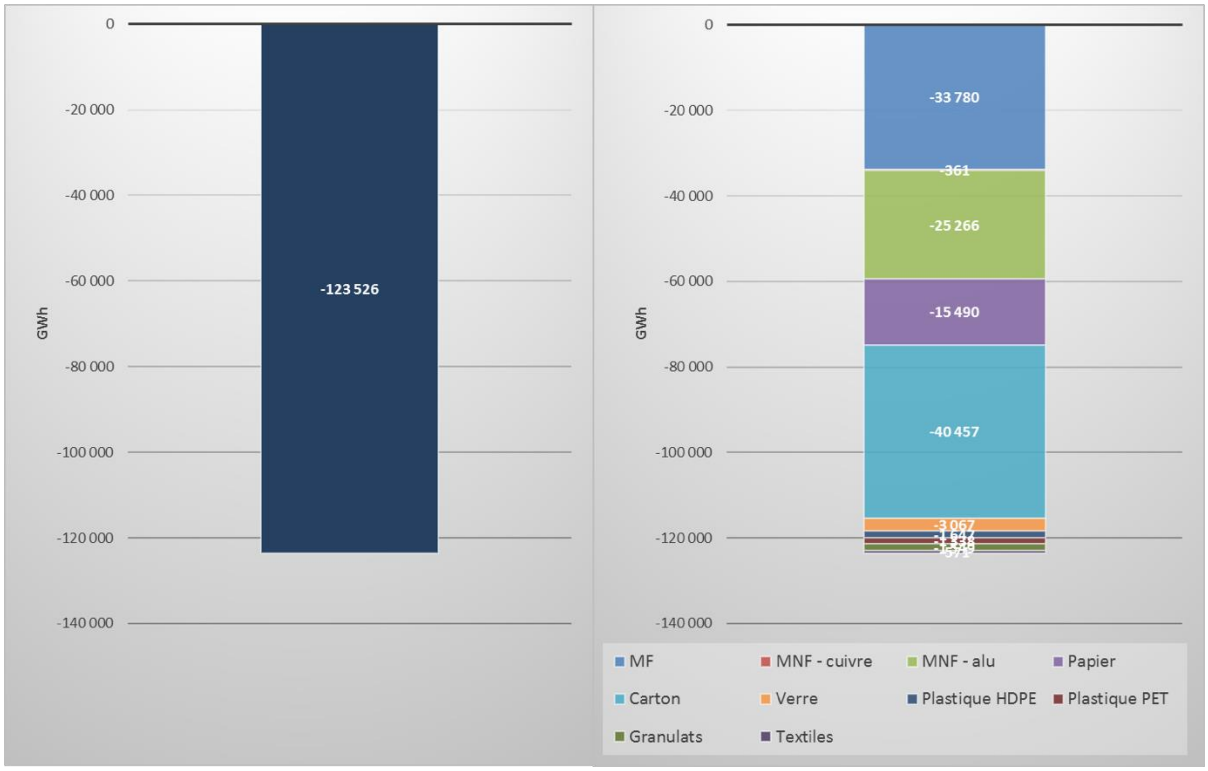
Les résultats sont présentés sous forme de tableaux détaillés en *Annexe 11*.

V.4. Consommation d'énergie primaire

En 2014, le recyclage des métaux ferreux, des métaux non ferreux (aluminium et cuivre), des papiers et cartons, du verre d'emballage, des plastiques d'emballage (PET et PEhd), des déchets du bâtiment à destination des techniques routières ainsi que des textiles de la filière d'essuyage a permis d'éviter la consommation d'environ **123 500 GWh d'énergie**.

Le graphique suivant présente la contribution de chacun des flux à ce bilan. Une valeur négative correspond à une consommation d'énergie évitée.

Figure V-5 : Consommation d'énergie primaire évitée par le recyclage en 2014

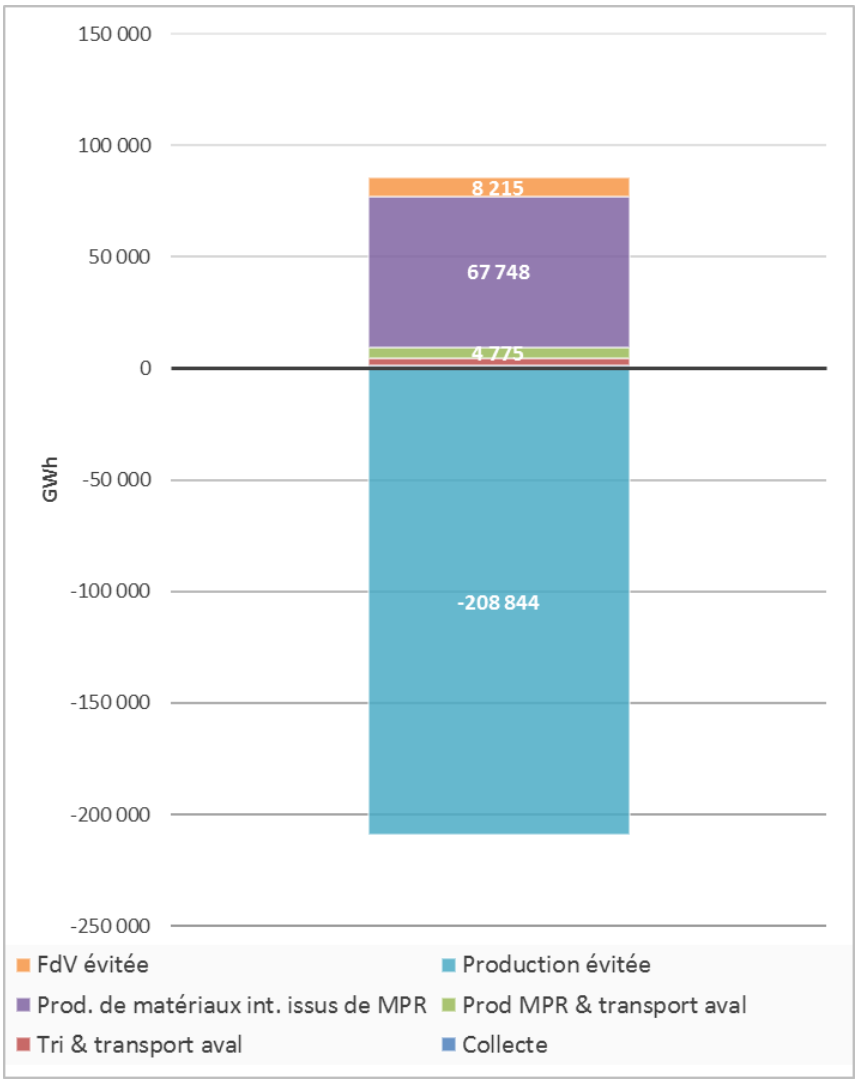


La consommation d'énergie primaire renouvelable et non renouvelable évitée par le recyclage en 2014 se répartit entre le carton (33% du bilan total pour 4500 kt collectées soit 8.8% des tonnages), les métaux ferreux (27% du bilan pour 12 900 kt collectées soit 25.4% des tonnages), l'aluminium (20% du bilan pour 589 kt collectées soit 1.2% des tonnages) et le papier (13% pour 2800 kt collectées soit 5.5% des tonnages). Les autres flux contribuent à hauteur de 7% du bilan (30 090 kt collectées soit 59.1% des tonnages dont 27 700 kt de déchets inertes du bâtiment).

[53] Une répartition 50/50 est considérée dans cette étude.

Pour la totalité des flux étudiés, la contribution de chacune des phases de cycle de vie est présentée dans la figure suivante :

Figure V-6 : Contribution des phases du cycle de vie au bilan « consommation d'énergie primaire » du recyclage en 2014



La production évitée de matériaux d'origine vierge contribue pour 71%[54] au bilan global avec 208 000 GWh d'énergie. La deuxième phase du cycle de vie est la production de matériaux intermédiaires issus de MPR avec 23%[54] soit 67 700 GWh d'énergie.

Les résultats par tonne collectée sont présentés dans les deux figures suivantes. Le premier graphique présente la contribution totale alors que le second détaille la contribution de chacune des phases du cycle de vie.

[54] Pourcentage calculé sur les résultats totaux en valeur absolue

Figure V-7 : Résultats par tonne collectée (consommation d'énergie cumulée)

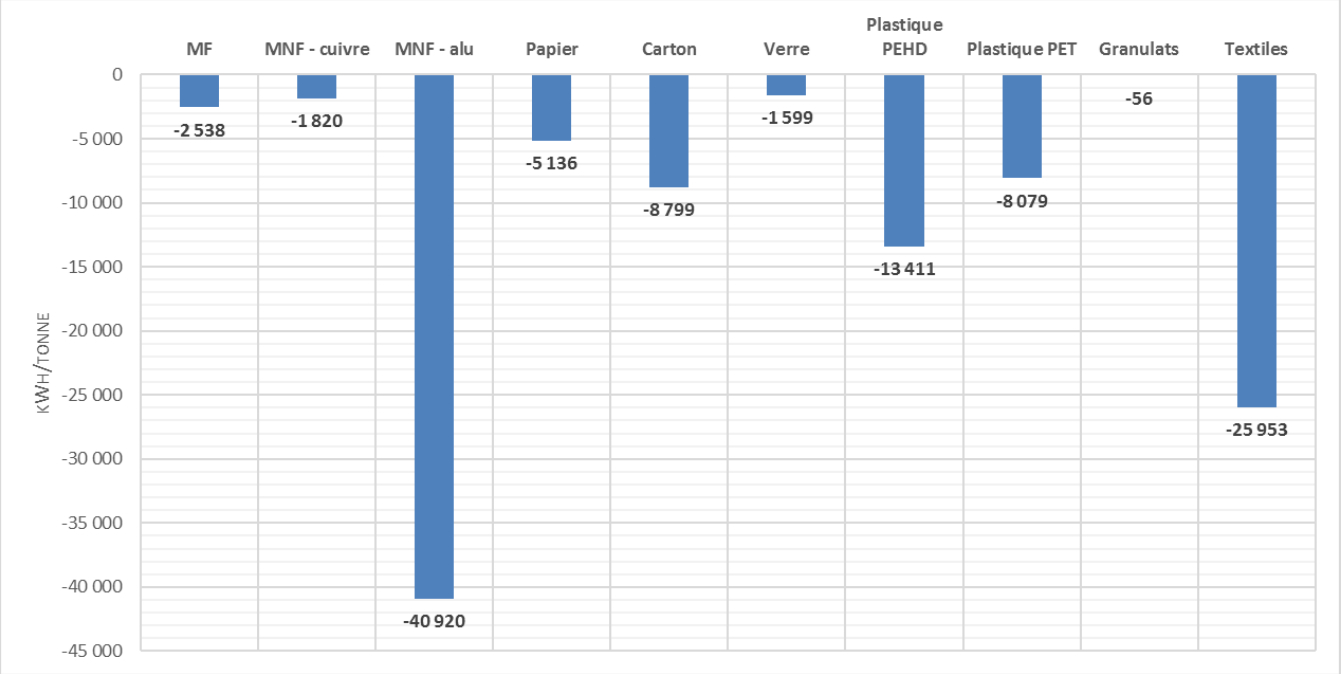
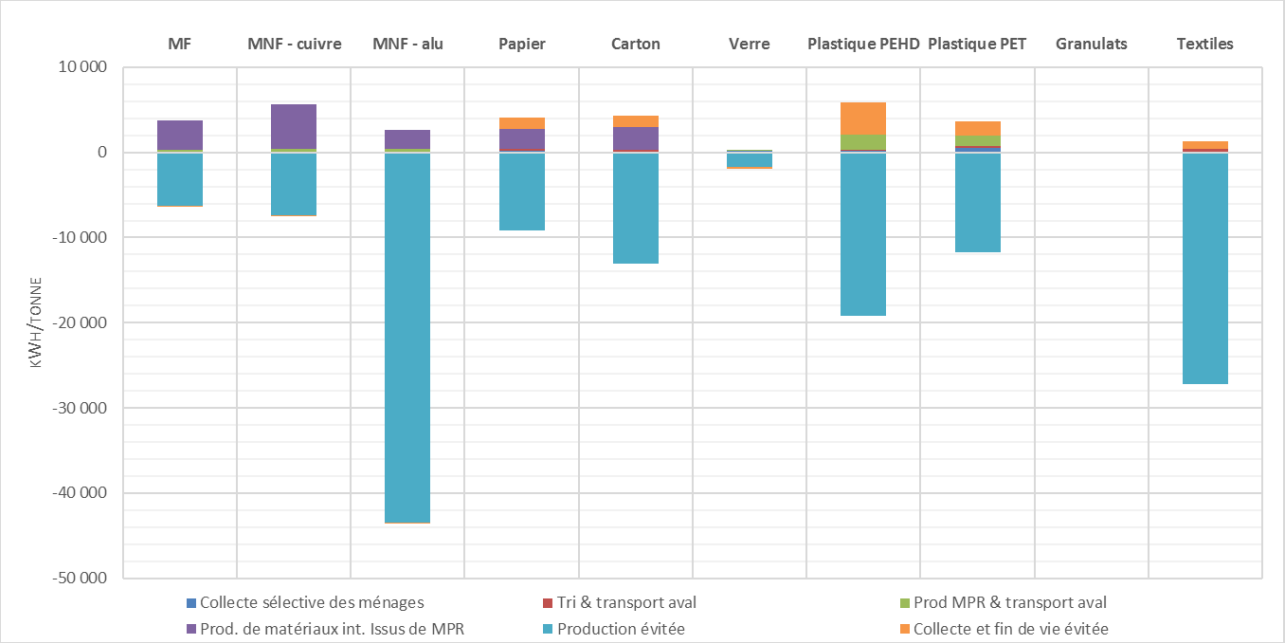


Figure V-8 : Résultats détaillés par tonne collectée (consommation d'énergie primaire)



La consommation d'énergie évitée par le recyclage des métaux ferreux et non ferreux est liée à la consommation d'énergie évitée par production de métaux d'origine vierge (-6 250 kWh/t pour l'acier, - 7 370 kWh/t pour le cuivre et -43 500 kWh/t pour l'aluminium).

La consommation d'énergie de la collecte à la production de matériaux intermédiaires issus de MPR, est de 3 760 kWh/t pour l'acier, 5 700 kWh/t pour le cuivre et 2 660 kWh/t pour l'aluminium.

Le recyclage du papier et du carton permet d'éviter respectivement 5 100 kWh/t et 8 800 kWh/t d'énergie. Ce bénéfice énergétique est lié à la production évitée d'origine vierge (-9 200 kWh/t pour le papier et -13 100 kWh/t pour le carton). L'énergie consommée pour la découpe du bois, le transport, la transformation du bois en papier ou en carton ainsi que la ressource bois en elle-même, utilisée comme matière première, continuent au bilan énergétique de la production d'origine vierge.

La consommation d'énergie de la collecte à la production de matériaux intermédiaires issus de MPR est de 2 740 kWh/t pour le papier et 3 020 kWh/t pour le carton. Enfin, en l'absence d'une filière de recyclage, le papier et le carton seraient dirigés vers une filière de fin de vie qui produirait soit de l'énergie grâce à la valorisation le contenu énergétique du matériau (cas des incinérateurs) soit du biogaz[55] issu de la fermentation de ces matériaux (cas des centres de stockage). Ainsi, ce gain énergétique n'ayant pas lieu lorsque ces flux sont dirigés vers la filière de recyclage, on retrouve ce bilan énergétique en valeur positive dans le graphique présentant les résultats de consommation d'énergie primaire.

À l'image des plastiques, la fin de vie évitée correspond à l'évitement d'un bilan énergétique favorable aux procédés de fin de vie vers lesquels le papier et le carton seraient dirigés en l'absence d'une filière de recyclage. En effet, le PCI est valorisé dans les incinérateurs ainsi que le biogaz produit dans les centres de stockage.

Le recyclage du verre permet de diminuer la consommation d'énergie des fours verriers de l'ordre de 2.75% par tranche de 10% de calcin injecté. C'est cet évitement ainsi que l'évitement de consommation de matières premières vierges (et donc la consommation d'énergie nécessaire à les produire) qui permettent de présenter un bilan énergétique favorable au verre recyclé (-1600 kWh/t).

L'évitement de production de plastiques d'origine vierge, grâce au recyclage des plastiques, permet d'éviter une consommation de 13 400 kWh/t pour le PEhd et 8 080 kWh/t pour le PET. La production évitée de plastique d'origine vierge permet d'économiser 19 230 kWh pour le PEhd et 11 760 kWh/t pour le PET pour une tonne collecte. La consommation d'énergie du recyclage est bien moins élevée que la production de vierge avec 2 080 kWh/t pour la collecte, le tri et la production de matériaux intermédiaires issus de MPR en (granulés PEhd) et 2 000 kWh/t pour la collecte, le tri et la production de matériaux intermédiaires issus de MPR (granulés PET). Enfin, en l'absence d'une filière de recyclage, le plastique serait dirigé vers une filière de fin de vie qui produirait de l'énergie grâce à la valorisation le contenu énergétique du matériau. Ainsi, ce gain énergétique n'ayant pas lieu lorsque ces flux sont dirigés vers la filière de recyclage, on retrouve ce bilan énergétique en valeur positive dans le graphique présentant les résultats de consommation d'énergie primaire.

Le recyclage des déchets du bâtiment en techniques routières présente un faible bénéfice énergétique (-56 kWh/t) en comparaison avec les autres filières. En effet, la production de granulats d'origine vierge et la production de granulats recyclés ont une consommation d'énergie très proche. C'est la fin de vie évitée qui permet de faire la différence.

Le recyclage des textiles en chiffon d'essuyage permet de faire d'importantes économies d'énergies (- 26 000 kWh/t). Ceci est lié à la production de matières premières évitées. Dans cette étude, le papier d'essuyage est évité dans 50% des cas et il représente 30% des gains énergétique. L'évitement du mix textile représente 70% des gains énergétiques.

Les résultats sont présentés sous forme de tableau détaillés en *Annexe 11*.

[55] En centre de stockage, le biogaz produit est valorisé énergétiquement (cf. *Annexe 3 : Modélisation de l'incinération et de l'enfouissement*)

V.5. Analyses de sensibilité

V.5.1. Analyse de sensibilité avec RangeLCA

Le logiciel utilisé pour calculer les résultats est RangeLCA (outil développé par RDC Environment).

Le logiciel calcule automatiquement :

- Les résultats moyens d'impact correspondant à la moyenne des résultats obtenus pour l'ensemble des combinaisons aléatoires de paramètres ;
- Les résultats obtenus pour chacune des combinaisons de paramètres (par exemple, 1000 combinaisons) ; ces résultats peuvent être portés en graphe en fonction de la valeur d'un des paramètres variables du modèle ; ces graphes dits « Range » permettent d'évaluer la sensibilité des résultats par rapport au paramètre mis en abscisse ;
- Le classement de l'ensemble des paramètres par ordre décroissant de sensibilité du modèle ; le logiciel permet ainsi de déterminer la sensibilité des différents résultats à chaque paramètre variable du modèle, tous les autres paramètres restant variables (et non pas, classiquement, tous les autres paramètres étant fixes).

Ce type de résultats permet de s'assurer une analyse précise et complète du système étudié. En effet, le logiciel permet d'étudier un grand nombre de scénarios possibles. En pratique, cela permet de :

- Créer des graphes « Range » pour :
  - Identifier les résultats possibles (valeurs minimum et maximum) ;
  - Évaluer la probabilité des scénarios étudiés ;
  - Exprimer sous forme de graphes, la sensibilité des résultats pour un paramètre précis (pente de droite de régression linéaire).
- Déterminer tous les liens de causalité entre les variables du modèle ;
- Identifier le point critique (ou zone critique) d'inversion des conclusions.
- Identifier la liste des paramètres les plus sensibles (automatiquement calculés par le logiciel).

V.5.2. Toutes filières

L'intérêt de cette analyse de sensibilité est de montrer la variabilité de l'ordre de grandeur des résultats qui vont être communiqués. Celle-ci permet de montrer l'importance des choix réalisés pour les inventaires de cycle de vie ainsi que l'influence des données d'activités.

Le tableau suivant présente les paramètres les plus sensibles pour chacune des filières étudiées. Ces résultats sont issus de l'analyse des procédés contributeurs combinés avec la qualité des données utilisées pour la modélisation. Une quantification chiffrée de la variation des résultats n'est pas systématiquement effectuée pour chacun des paramètres.

On retrouve trois grands types de paramètres sensibles :

- La précision des données d'activité
- Les sources de données des inventaires de cycle de vie. La qualité de ces données est conditionnée à leur représentativité temporelle (date des données), technologique (représentative de la technologie moyenne employée) et géographique (données représentatives de la zone géographique considérée)

- Les choix méthodologiques comme le type de matériau évité, la prise en compte du carbone biogénique, la modélisation du mix électrique.

Tableau V-1 : Liste des paramètres sensibles pour chacune des filières étudiées

Filière	Phases du cycle de vie les plus sensibles	Paramètres sensibles associés
Acier	Procédé de production de matériaux intermédiaires issus de MPR	Choix de la source de données pour le procédé
	Production évitée	Quantité de ferraille pour produire 1 tonne d'acier
Aluminium	Production évitée	Choix de la source de données pour la matière première évitée
Cuivre	Production évitée	Zone géographique du procédé de production de matériaux intermédiaires issus de MPR Quantité de déchets de cuivre pour produire 1 tonne de cuivre recyclé
Papier	Production évitée	Choix de la source de données pour le procédé de production de la matière première vierge Taux de substitution à la matière première évitée Taux de pertes du procédé de transformation des déchets de papiers
	Production de matériaux intermédiaires issus de MPR	Choix de la source de données pour le procédé
	Fin de vie évitée	Scénario de fin de vie en l'absence de recyclage (incinération vs enfouissement) Émissions de CH_4 par le centre d'enfouissement
Carton	Production évitée	Taux de substitution à la matière première évitée Taux de pertes du procédé de transformation des déchets de papiers
	Fin de vie évitée	Scénario de fin de vie en l'absence de recyclage (incinération vs enfouissement) Émissions de CH_4 par le centre d'enfouissement
Verre	Impacts évités	Quantité d'énergie économisée grâce à l'injection de calcin dans les fours Type d'énergie économisée grâce à l'injection de calcin dans les fours
PEHD	Production évitée	Efficacité du procédé de production de matériaux intermédiaires issus de MPR
	Fin de vie évitée	Scénario de fin de vie en l'absence de recyclage (incinération vs. enfouissement)
PET	Production évitée	Efficacité du procédé de production de matériaux intermédiaires issus de MPR Taux de substitution
	Fin de vie évitée	Scénario de fin de vie en l'absence de recyclage (incinération vs. enfouissement)

Filière	Phases du cycle de vie les plus sensibles	Paramètres sensibles associés
Granulats	Production des matières premières de recyclage	Consommation d'énergie du procédé de production des MPR
Textiles	Production évitée	Choix du scénario d'évitement : papier ou mix textile Mix textile évité

La finalité de cette étude est la compréhension des enjeux de la filière et la réalisation d'un outil Web, sous la forme d'un logiciel, pour rendre les calculs spécifiques à chacune des filières de recyclage étudiées et permettre la reproductibilité de ces bilans. En ce sens, l'illustration des paramètres sensibles est axée sur les choix significatifs qui ne seront pas modifiables par l'utilisateur de l'outil, comme, par exemple, le choix d'un inventaire de cycle de vie.

V.5.3. Filière ferraille : source de données

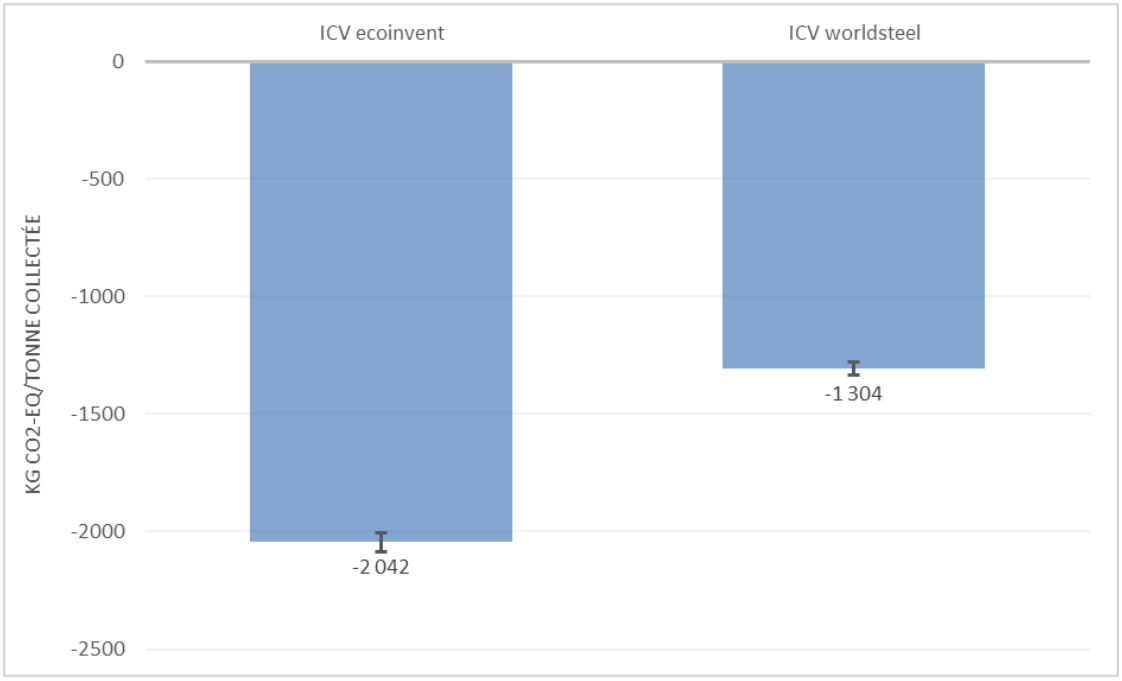
Les inventaires de cycle de vie utilisés dans cette étude sont ceux de Worldsteel pour la production de matière vierge et pour le procédé de production de matériaux intermédiaires issus de MPR.

Ecoinvent fournit également des inventaires de cycle de vie avec une représentativité technologie et géographique comparable à Worlsteel. Les données d'Écoinvent sont cependant plus anciennes.

Cette analyse de sensibilité montre les résultats pour la filière ferraille avec les inventaires de cycle de vie d'Écoinvent et ceux de Worldsteel. De plus, la quantité de ferraille nécessaire pour la production de 1 tonne d'acier varie entre 1.05 tonnes et 1.092 tonnes[56]

[56] Donnée utilisée pour le calcul des résultats moyens

Figure V-9 : Sensibilité des résultats pour la filière de recyclage des ferrailles sur la catégorie d'impact changement climatique



Les résultats varient de 740 kgCO2-eq/t de ferraille collectée selon les inventaires de cycle de vie utilisés. Cette variabilité est exclusivement liée aux impacts du procédé de production de matériaux intermédiaires issus de MPR qui est moins élevée dans le cas de l'inventaire d'Ecoinvent.

La barre d'erreur sur chacun des histogrammes représente la variabilité des résultats en fonction de la quantité de ferraille nécessaire pour la production d'une tonne d'acier. Plus cette quantité de ferraille est faible, plus les bénéfices du recyclage de l'acier sont grands. Lorsqu'on diminue la quantité de ferraille nécessaire de 3.8% (de 1.092 t à 1.05 t), les résultats varient de 4%. Il y a donc une forte corrélation entre les résultats et ce paramètre. Cependant, l'influence sur les résultats finaux reste limitée.

Avec une modélisation à partir des sources des inventaires d'Ecoinvent, les bénéfices du recyclage de l'acier seraient plus élevés. L'approche utilisée dans cette étude par rapport aux sources de données disponibles est conservative.

	Résultats totaux de l'étude	**Résultats totaux alternatifs (avec ICV Ecoinvent)**	***Différence*** ***(par rapport aux résultats de l'étude)***
Changement climatique (kt CO2-eq)	-22 500	-32 100	*+ 43 %*
Consommation d'énergie primaire (GWh)	-123 500	-202 500	*+ 64 %*

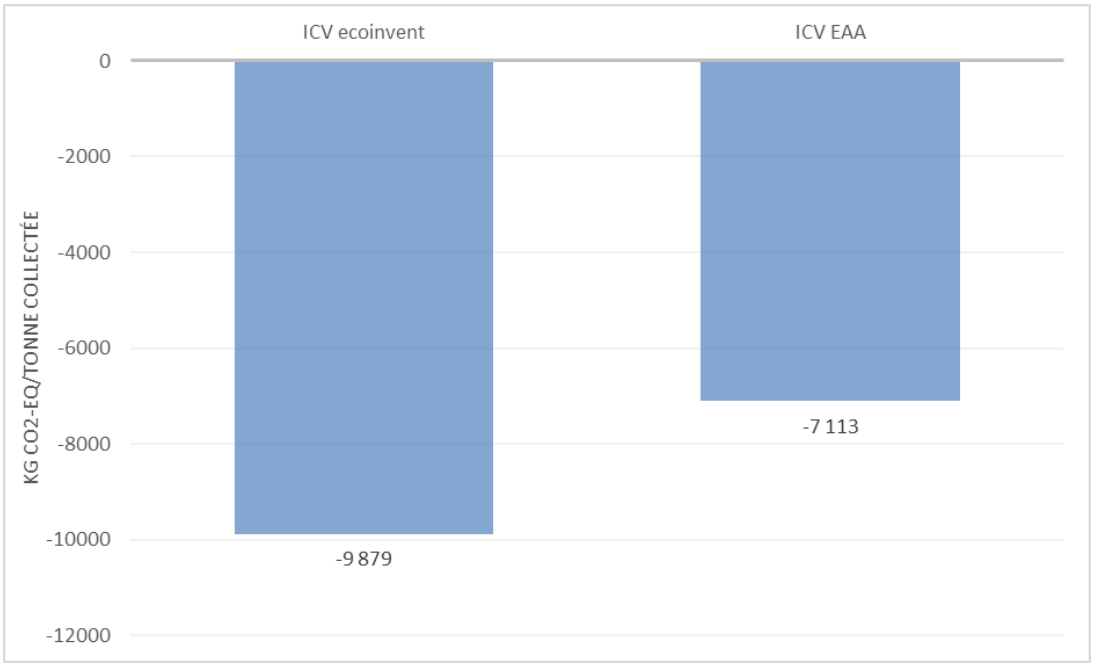
V.5.4. Filière aluminium : source de données

Les inventaires de cycle de vie utilisés dans cette étude sont ceux de l'association européenne de l'aluminium (EAA) pour la production de matière vierge et pour le procédé de production de matériaux intermédiaires issus de MPR.

Ecoinvent fournit également des inventaires de cycle de vie avec une représentativité technologie et géographique comparable à EAA. Les données d'Écoinvent sont cependant plus anciennes.

Cette analyse de sensibilité montre les résultats pour la filière aluminium avec les inventaires de cycle de vie d'Écoinvent et ceux d'EAA.

Figure V-10 : Sensibilité des résultats pour la filière de recyclage de l'aluminium sur la catégorie d'impact changement climatique



Les résultats varient d'environ 2 750 kg CO2-eq/t d'aluminium collectée en fonction des inventaires de cycle de vie utilisés. Cette différence s'explique par la différence d'impacts d'une tonne d'aluminium primaire selon ecoinvent (environ 6 450 kg CO2-eq) et d'une tonne d'aluminium selon EAA (environ 4 050 kg CO2-eq).

Avec une modélisation à partir des sources des inventaires d'Ecoinvent, les bénéfices du recyclage de l'aluminium seraient plus élevés. L'approche utilisée dans cette étude par rapport aux sources de données disponibles est conservative.

	Résultats totaux de l'étude	**Résultats totaux alternatifs (avec ICV Ecoinvent)**	***Différence*** ***(par rapport aux résultats de l'étude)***
Changement climatique (kt CO2-eq)	-22 500	- 24 200	*+ 8%*
Consommation d'énergie primaire (GWh)	-123 500	- 125 000	*+ 1%*

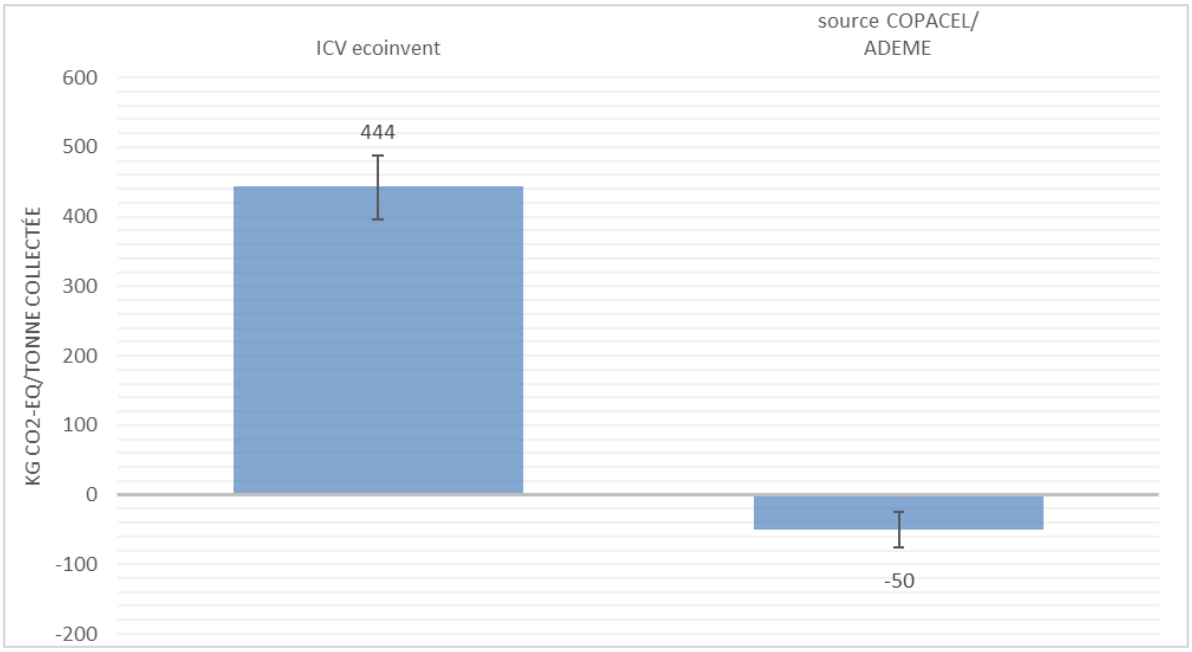
V.5.5. Filière papier : source de données de la matière première évitée

Pour cette analyse de sensibilité, plusieurs paramètres sont rendus variables :

- Choix de la source de données pour le procédé de production de matériaux intermédiaires issus de MPR et le procédé de production de papier d'origine vierge. En cas de base, les données issues du rapport ADEME-COPACEL en 2013 sont utilisées. Les données issues d'Ecoinvent sont également utilisées pour cette analyse de sensibilité ;
- Le taux de substitution qui est défini entre 85% et 95% (90% en cas de base) ;
- La quantité de déchets de papiers entrants dans le procédé de production de matériaux intermédiaires issus de MPR nécessaire à la production d'une tonne sortante. Celle-ci varie de plus ou moins de 25% autour de la valeur de 1.174 tonnes utilisée en cas de base.
- L'approche utilisée dans cette étude pour le papier par rapport aux sources de données disponibles n'est pas conservative.

Les résultats pour la catégorie changement climatique sont présentés dans le graphique ci-dessous.

Figure V-11 : Sensibilité des résultats pour la filière de recyclage du papier sur la catégorie changement climatique



On constate que les résultats sont très sensibles à l'inventaire de cycle de vie utilisé puisque la contribution au changement climatique du recyclage présente une émission dans le cas des inventaires d'Ecoinvent et un bénéfice environnemental avec les inventaires issus du rapport ADEME/COPACEL 2013.

Les énergies utilisées par l'industrie du vierge sont, pour une plus grande part que pour l'industrie du recyclée, issues de la biomasse par rapport à l'industrie du recyclé. Les émissions liées à la combustion de ces énergies ne sont pas comptabilisées dans la méthode utilisée pour cette étude. Cette différence est plus marquée avec les inventaires d'Écoinvent.

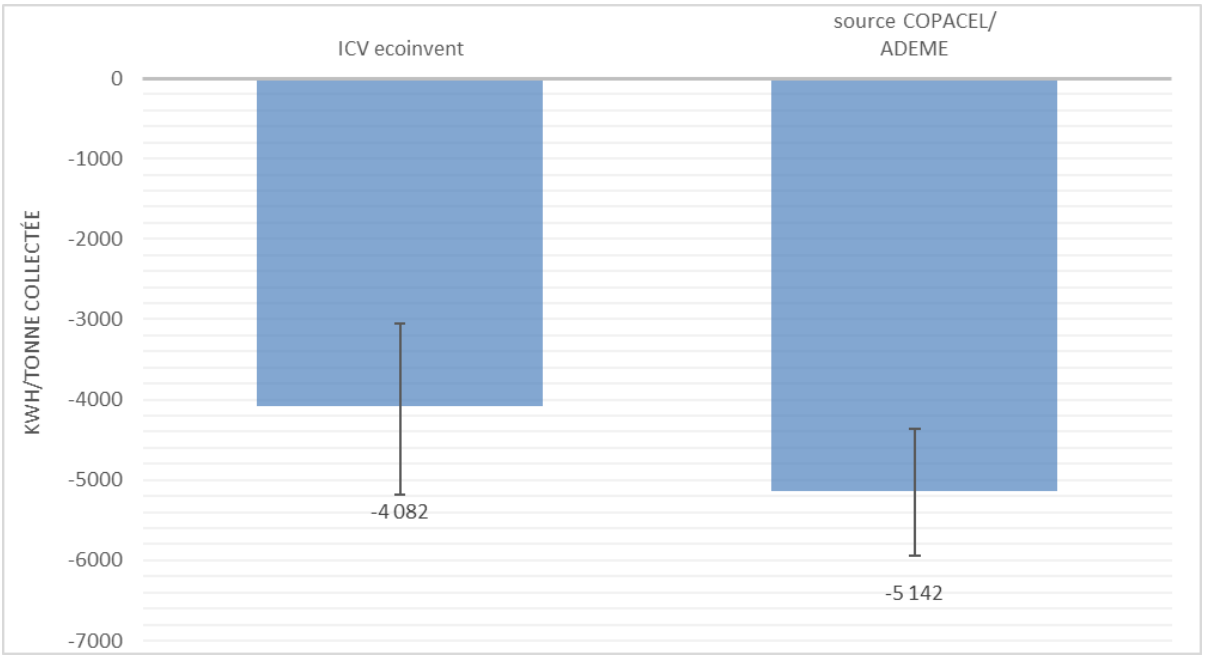
Les inventaires Ecoinvent n'ont pas été retenus dans l'étude en raison de leur représentativité technologie limitée (données issues d'un ou deux producteurs en Europe) ainsi que de leur représentativité temporelle (année 2000) en comparaison avec les inventaires de la COPACEL/ADEME

qui sont issus d'une collecte de données auprès d'un plus grand nombre de producteurs de papiers (recyclés ou non) en 2011.

La barre d'erreur sur chacun des histogrammes représente la variabilité des résultats en fonction de la quantité de déchets papier nécessaire pour la production d'une tonne recyclée et du taux de substitution. Plus la quantité de papier nécessaire est faible et plus le taux de substitution considéré est grand, plus les résultats sont avantageux pour le recyclé. Les résultats avec l'ICV COPACEL/ADEME sont fortement sensibles à ces résultats.

Les résultats pour la consommation d'énergie primaire sont présentés dans le graphique ci-dessous.

Figure V-12 : Sensibilité des résultats pour la filière de recyclage du papier sur la consommation d'énergie primaire



Dans les deux cas les résultats sont à l'avantage du recyclé. La consommation d'énergie totale nécessaire à la production de recyclé est inférieure à la quantité d'énergie pour la production de vierge. Le taux de substitution et la quantité de déchets de papiers nécessaires à la production d'une tonne de recyclé sont des paramètres influant sur les résultats de la consommation d'énergie primaire.

L'influence du choix des inventaires de cycle de vie est résumée dans le tableau ci-dessous.

	Résultats totaux de l'étude	**Résultats totaux alternatifs (avec ICV Ecoinvent)**	***Différence*** ***(par rapport aux résultats de l'étude)***
Changement climatique (kt CO2-eq)	-22 500	- 20 500	*- 7%*
Consommation d'énergie primaire (GWh)	-123 500	-119 000	*- 4%*

VI. Conclusions

VI.1. Principaux enseignements de l'étude

Cette étude s'attache à réaliser le bilan environnemental de 8 filières de recyclage de déchets collectés en France. Elle permet de dresser un portrait de ces filières selon une même méthodologie.

Les filières et les matériaux associés sont :

- **Filière des ferrailles :** Ferrailles apportées par les ménages et assimilés dans les déchèteries ou directement sur les recycleurs de ferrailles, déchets de démolition, déchets industriels, DEEE, VHU et emballages ;
- **Filière des métaux non ferreux** : Aluminium et cuivre apportés par les ménages et assimilés dans les déchèteries ou directement sur les recycleurs de ferrailles, déchets de démolition, déchets industriels, DEEE, VHU et emballages aluminium ;
- **Filière des papiers :** Papier graphique (belles sortes et moyennes sortes) issus des ménages et des activités économiques ;
- **Filière des cartons** : Cartons d'emballages issus des ménages et des activités économiques ;
- **Filière verre** : Verre d'emballage issu des ménages et des activités économiques ;
- **Filière des plastiques** : Plastiques d'emballages en PET et PEhd issus des ménages et des activités économiques ;
- **Filière des granulats** : Déchets de chantiers et gravats issus des ménages et assimilés collectés en déchèterie
- **Filière des textiles :** Vêtements, linge et textiles issus des ménages et des blanchisseries recyclés dans la filière d'essuyage

L'unité fonctionnelle est la suivante : **Analyse de la collecte, du tri et de la transformation d'une tonne de déchets afin de produire des matériaux intermédiaires issus de MPR en substitution de matériaux intermédiaires issus de ressources vierges.**

Le bilan environnemental des filières de recyclage est établi pour deux indicateurs environnementaux :

- La contribution au changement climatique (effet de serre)
- La consommation d'énergie primaire (renouvelable et non renouvelable).

Les résultats sont détaillés selon les phases de cycle de vie suivantes : la **collecte** des déchets à recycler, le **tri** de ces déchets, la **production des matières premières de recyclage**, la **production de matériaux intermédiaires issus de MPR**, la **production évitée** de matériaux intermédiaires d'origine vierge et la **collecte et la fin de vie évitée** grâce à la mise en place d'une filière de recyclage.

En 2014, le recyclage des métaux ferreux, des métaux non ferreux (aluminium et cuivre), des papiers et cartons, du verre d'emballage, des plastiques d'emballage (PET et PEhd), des déchets du bâtiment à destination des techniques routières ainsi que des textiles de la filière d'essuyage a permis d'éviter environ **22 500 kt CO_2-eq et 123 500 GWh d'énergie primaire.**

Les principaux enseignements de l'évaluation pour l'indicateur changement climatique sont les suivants :

- Le recyclage des métaux ferreux représente **76% du bilan total ;**
- Le recyclage de l'aluminium contribue à hauteur de **20 % du bilan total ;**
- Les autres flux contribuent à hauteur de **4% du bilan global ;**
- On constate que le recyclage du carton est la seule filière qui donne un résultat algébriquement positif puisque le recyclage de ces matières émet plus de CO_2 équivalent que la production de carton à partir de matière vierge. Cette contribution est de l'ordre de 1 200 kt CO2-eq pour 4 500 kt collectées. En effet, selon FEFCO, l'industrie du vierge utilise, en moyenne en Europe, une plus grande quantité d'énergie d'origine renouvelable (biomasse) que l'industrie du recyclé. La combustion de cette biomasse émet du carbone d'origine biogénique[57] qui n'est pas comptabilisé dans cette étude ou, qui s'il était comptabilisé, aurait un bilan neutre sur l'indicateur effet de serre (le carbone émis pendant la combustion a été capté pendant la croissance de la biomasse). Il est important de noter que les résultats sur l'effet de serre ne reflètent pas la plus grande sobriété énergétique de la filière du recyclage comme le montrent les résultats de consommation d'énergie primaire.
- Par ailleurs, les caractéristiques des données utilisées (disponibles au moment de l'étude) limitent la validité des conclusions :
  - Les données utilisées pour la transformation des balles de papiers en pâte à papier (source : ADEME-COPACEL 2013) correspondent à la production de pâte à papier pour ramettes de papier. Le recyclage des journaux et magazines est approximé via ces données, alors qu'il est réalisé dans des usines intégrées où la pâte produite est immédiatement transformée en bobines de papier. Les résultats actuels désavantagent le recyclage.
  - Les données d'inventaire de la régénération du carton (recyclage) et les données de production de carton vierge sont des données issues de moyennes européennes (FEFCO) alors que la part des fibres de récupération, utilisées par les usines papetières en France, a été de 73.6% du tonnage collecté en 2014. Enfin, selon FEDEREC[58], la part respective de l'utilisation de la biomasse entre les usines consommant des fibres vierges et celles consommant des fibres recyclées n'est pas la même en France que dans certains pays d'Europe, ce qui ne permet pas de mettre en évidence l'éventuelle économie de gaz à effet de serre que pourrait procurer le recyclage de la fibre.
- La filière papier est très sensible aux hypothèses utilisées, le taux de substitution et l'efficacité du procédé de recyclage sont des paramètres influents sur les résultats de la filière. L'analyse de sensibilité montre l'influence du choix du LCI papier sur les résultats.. On constate également que le choix de l'inventaire a une importance cruciale puisque, si les inventaires d'Ecoinvent version 2 étaient utilisés (pour la production de vierge et le procédé de production de matériaux intermédiaires issus de MPR), le recyclage du papier présenterait un résultat algébriquement positif sur l'effet de serre. Derrière ces inventaires, c'est le type d'énergie

[58] Le taux d'utilisation des fibres récupérées par l'industrie papetière en France était de 66,3% en 2015 (source : CEPI). La France se place au 7ème rang européen, contre un taux d'utilisation européen moyen de 53,2% (il est de 5.5% en Finlande et 11.9% en Suède, pays gros consommateurs de fibres vierges). Ce ratio montre bien que la part des usines de vierge, supposées consommer davantage de biomasse selon FEFCO, sont minoritaires en France.

utilisée par l'industrie du recyclé et l'industrie du vierge qui impacte fortement la contribution de l'un ou l'autre sur l'effet de serre.

- Les phases de cycle de vie les plus contributives aux résultats sont la production évitée de matière première vierge et la production de matériaux intermédiaires issus de MPR pour toutes les filières. Dans le cas des emballages plastiques, la collecte et la fin de vie évitée ont également une influence sur les résultats.

Les principaux enseignements de l'évaluation pour l'indicateur consommation d'énergie primaire sont les suivants :

- La consommation d'énergie primaire évitée par le recyclage en 2014 se répartit entre **le carton (33% du bilan total), les métaux ferreux (27%), l'aluminium (20%) et le papier (13%).** Les autres flux contribuent à hauteur de 7% du bilan.
- Les phases de cycle de vie les plus contributives aux résultats sont la production évitée de matière première vierge et la production de matériaux intermédiaires issus de MPR pour toutes les filières. Dans le cas des emballages plastiques, la collecte et la fin de vie évitée ont également une influence sur les résultats.
- Au regard de l'énergie primaire totale consommée, le papier et le carton recyclés demandent une consommation inférieure au vierge. Cependant, l'industrie du vierge utilise une part d'énergie renouvelable (biomasse) plus importante au regard des inventaires utilisés.

  Par ailleurs, les inventaires de cycle de vie du papier s'arrêtent au niveau de transformation en pâte à papier. L'impact de la filière vierge est donc sous-estimée puisque les filières de recyclage se font en grande majorité dans des usines intégrées[59] alors que la proportion d'usines intégrées pour la filière du vierge est plus faible. La production dans des usines non intégrées induit de devoir sécher deux fois : séchage de la pâte à papier pour son transport et séchage du papier lorsque la bobine est produite.

Pour les deux indicateurs, les paramètres les plus sensibles sont :

- **Le choix de la source de données pour le procédé de production de matériaux intermédiaires issus de MPR ;**
- **Le choix de la source de données pour la matière première évitée ;**
- **Le taux de substitution à la matière première évitée.**

[59] usines dans lesquelles la pate à papier est directement transformée en bobine

Afin de simplifier la communication auprès du grand public, il est proposé d'exprimer la comparaison entre les deux industries (industrie du vierge et industrie du recyclage) en pourcentage.

Les colonnes « économies (%) » peuvent être lues ainsi :

Le recyclage d'une tonne de ferrailles permet d'éviter :

- ***« 40% »** de la consommation énergétique nécessaire à la production de l'équivalent en acier primaire ;*
- ***« 58% »** des émissions de GES nécessaires à la production de l'équivalent en acier primaire.*

Tableau VI-1 : Pourcentage de production de primaire évitée pour l'énergie primaire et l'effet de serre

Résultats par tonne collectée	**Bilan Energie primaire (renouvelable et non renouvelable)**				**Bilan GES (gaz à effet de serre)**			
	Matière primaire (kWh)	Matière de recyclage (kWh)	Δ(kWh)	**Economies (%)**	Matière primaire (kg eq. CO_2)	Matière de recyclage (kg eq. CO_2)	Δ (kg eq. CO_2)	**Economies (%)**
Ferraille/Acier	6 248	3 763	-2 485	**40%**	2 211	938	-1 272	**58%**
Aluminium	43 525	2 656	-40 869	**94%**	7 803	562	-7 241	**93%**
Cuivre	7 369	5 695	-1 674	**23%**	1 445	1 304	-140	**10%**
PET	11 765	1 999	-9 766	**83%**	1 311	392	-919	**70%**
PEHD d'emballage	19 228	2 084	-17 143	**89%**	1 587	169	-1 418	**89%**
Verre	1 716	313	-1 403	**82%**	594	75	-519	**87%**
Textiles (chiffons)	27 188	398	-26 790	**99%**	5 608	87	-5 521	**98%**
Granulats	35	29	-6	**16%**	4	3	-1	**15%**

Papier	9 193	2 739	-6 453	**70%**	297	317	20	**-7%**
Carton	13 115	3 017	-10 098	**77%**	390	670	280	**-72%**

VI.2. Limites de l'étude

Seuls deux indicateurs sont évalués dans cette étude, le changement climatique et la consommation de ressource primaire. De ce point, de vue, le rapport n'est pas en conformité avec la norme ISO 14 044.

Toutes les filières de recyclage ne sont pas couvertes dans cette étude comme le recyclage du bois, des plastiques autres que les emballages PEhd et PET ou une grande partie de la filière textile.

Le recyclage des VHU et DEEE n'est pas évalué dans sa globalité. En effet, il a été décidé de travailler par matériau. Le recyclage des métaux contenus est donc évalué mais pas les autres matériaux à l'image du plastique ou du verre plat.

Les procédés de production des matières premières vierges sont, pour la plupart, des inventaires de cycle de vie agrégés. Le mix électrique ne peut pas être adapté à la zone géographique spécifique étudiée.

L'inventaire de cycle de vie de l'aluminium, réalisé par l'EAA, utilise un mix de consommation spécifique et non une approche attributionnelle comme cela est recommandé dans cette étude.

La filière papiers étudiée ne considère pas toute la diversité de la filière. Les données utilisées pour la transformation des balles de papiers en pâte à papier (source : ADEME-COPACEL 2013) correspondent à la production de pâte à papier pour ramettes de papier. Le recyclage des journaux et magazines est approximé via ces données. Afin de répondre pleinement à l'objectif 1 de l'étude, il aurait été préférable que le niveau de transformation du papier soit comparable au niveau de transformation du carton (bobine). Cependant, le choix d'inventaires de cycle de vie était limité au moment de la réalisation de cette étude.

Les données d'inventaire de la régénération du carton (recyclage) et les données de production de carton vierge sont des données issues de moyennes Européenne (FEFCO) alors que la part des fibres de récupération, utilisées par les usines papetières en France, a été de 73.6% du tonnage collecté en 2014.

Les taux de substitutions aux matières premières vierges sont des données communément utilisées en ACV. Elles ne relèvent pas de données mesurées.

VII. Annexes

Annexe 1 : Modélisation des mix énergétiques

Dans un pays donné, on effectue une approche dite « attributionnelle moyenne » (qui permet le calcul du mix attributionnel moyen) dès lors que l'on raisonne de la manière suivante : chaque technologie de production participe proportionnellement au mix national de production d'électricité selon la place qu'elle occupe dans la génération d'électricité à l'échelle nationale.

Avec cette approche, tous les kWh consommés se voient attribuer les mêmes impacts, quel que soit l'instant où ils sont consommés : cette approche ne fait pas apparaître les différences qui existent entre heures creuses et heures de pointe.

Le mix électrique français, européen, tunisien et asiatique de consommation sont calculés à partir des données de l'agence internationale de l'énergie (International Energy Agency, IEA) et correspondent à l'année 2012.

Zone géographique	France (2012)	Europe (2012)	Tunisie (2012)	Asie (2012)	Inventaire de cycle de vie
Charbon	4.1%	26.7%	0.8%	50.2%	electricity, hard coal, at power plant, UCTE, Ecoinvent v2.2
Pétrole	0.8%	1.8%	0.2%	6.1%	electricity, oil, at power plant, UCTE, Ecoinvent v2.2
Gaz	4.3%	18.7%	96.9%	24%	electricity, natural gas, at power plant, UCTE, Ecoinvent v2.2
Nucléaire	75%	24.5%	0	3.3%	electricity, nuclear, at power plant, UCTE, Ecoinvent v2.2
Hydraulique	11.6%	16.6%	0.9%	13%	electricity, hydropower, at power plant, FR, Ecoinvent v2.2
Renouvelables	4.2%	11.7%	1.1%	3.3%	electricity, at wind power plant, RER, Ecoinvent v2.2

Le mix de chaleur, utilisé pour modéliser la récupération de chaleur dans les incinérateurs, est présenté dans le tableau suivant. Il est issu des données de l'agence internationale de l'énergie et correspond à l'année 2009.

Zone géographique	France (2012)	Europe (2012)	Tunisie (2012)	Asie (2012)	Inventaire de cycle de vie
Charbon	8.8%	40.4%	45.8%	99.8%	heat, at hard coal industrial furnace 1-10MW, RER, Ecoinvent v2.2
Pétrole	12%	6.9%	49.5%	0%	heat, light fuel oil, at boiler 100kW, non-modulating, CH, Ecoinvent v2.2
Gaz	79.2%	52.7%	4.7%	0.2%	heat, natural gas, at industrial furnace low-NOx >100kW, RER, Ecoinvent v2.2

Annexe 2 : Modélisation du transport

Transport par camion

Les impacts environnementaux du transport par camion comprennent :

- Les émissions liées à la production et à l'approvisionnement de carburant ;
- Les émissions directes lors de la combustion du carburant,
- Les infrastructures.

Consommation de carburant et émissions directes :

La consommation de carburant et les émissions dans l'air sont déterminées avec la méthodologie COPERT 4[60] (version 10.0).

COPERT 4, un outil de calcul des émissions polluantes imputables au transport routier. Il permet d'estimer les émissions des polluants majeurs (CO, NO_x, VOC, PM, NH_3, SO_2, métaux lourds) produits par les différentes catégories de véhicules (de la voiture au semi-remorque) ainsi que les émissions de gaz à effet de serre (CO_2, N_2O, CH_4).

COPERT 4 donne la consommation du camion chargé à 100%. Pour calculer la consommation réelle, on considère que deux tiers est fixe et qu'un tiers est fonction de la masse effectivement transportée par le camion.

Le taux de chargement des camions modélisés dans cette étude est défini à 100% de la charge utile.

Le procédé Ecoinvent utilisé pour la consommation de carburant est le suivant : « *diesel, low-sulphur, at regional storage, RER, ecoinvent v2.2.* »

Les normes d'émissions respectées par la flotte de camions modélisés sont réparties selon les règles suivantes :

- 40% EURO 4,
- 60% EURO 5.

La méthode COPERT 4 établit des consommations de diesel par kilomètre parcouru en fonction des voies empruntées. Une différenciation est également faite sur le lieu d'émission (densité de population faible pour les zones rurales et voies rapides et densité forte pour les zones urbaines)

Les voies empruntées par les camions modélisés sont à :

- 5% en zone urbaine,
- 15% en zone rurale,
- 80% en voie rapide[61].

[60] Destinée à être utilisée à l'échelle européenne et financée par *l'European Environment Agency* (EEA), cette méthodologie a été mise au point par Leonidas Ntziachristios et Zissis Samaras (*Laboratory of Applied Thermodynamics, Atristotle University of Thessaloniki*, Grèce). Copert 4 fait partie du projet ARTEMIS qui a fédéré 36 organisations (entreprises, instituts de recherche, universités) de 15 pays européens dans le but d'harmoniser les facteurs d'émissions utilisés dans les différents pays d'Europe.

[61] Hypothèse RDC Environment

Infrastructures

L'inventaire de cycle de vie des infrastructures est défini pour un camion moyen et est exprimé en v.km (véhicule x kilomètres). L'ICV est basé sur le rapport n°14 d'Ecoinvent – Transport.

Les infrastructures inclues sont la production du camion, son entretien et sa fin de vie ainsi que la fabrication des routes, l'entretien et la fin de vie.

Transport par barge

Les impacts environnementaux du transport par barge comprennent :

- Les émissions liées à la production et à l'approvisionnement de carburant ;
- Les émissions directes liées à la combustion du carburant,
- Les infrastructures.

Consommation de carburant :

La consommation de carburant des barges est déterminée à partir de l'étude « Efficacités énergétiques et émissions unitaires de CO2 du transport fluvial de marchandises », financée par l'ADEME et VNF, réalisée par TL&Associés Consulting (rapport final daté de Janvier 2006).

D'après cette étude, la consommation est définie en fonction de la capacité des barges automotrices. Un mix de capacité représente le parc naviguant sur les canaux en France.

Le tableau suivant présente la répartition des barges automotrices:

Bassin	équipement		consommation unitaire d'énergie (gep/t.km)	Emission unitaire de CO2 (gCO2/t.km)	Efficacité énergétique (t.km/kep)	consommation totale d'énergie (tep)	emissions totales de CO2 (tCO2)
Interbassin	automoteur	< 400 t	12.1	38.2	82.4	9 699.6	30 553.90
Total	automoteur	< 400 t	14	44.3	71	29 934.3	94 293.00
		400 - 600 t	13.8	43.4	73	1 996.5	6 288.90
		650 - 1000 t	12.3	38.8	81	4 948.7	15 588.50
		1000 - 1500 t	11.5	36.3	87	13 851.9	43 633.40
		> 1500 t	9.5	30	105	11 444.3	36 049.70
	pousseur	295 - 590 kW	8.6	27.1	116	5 052.9	15 916.60
		590 - 880 kW	7.8	24.4	129	4 559.8	14 363.30
		> 880 kW	6.8	21.5	147	7 209.1	22 708.80

	Répartition
< 400 t	48%
400 - 600 t	3%
650 - 1000 t	8%
1000 - 1500 t	22%
> 1500 t	18%

Émissions directes

Les impacts de la consommation de carburants sont modélisés à l'aide du procédé Ecoinvent : « light fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, non-modulating, RER »

Infrastructures

L'inventaire de cycle de vie des infrastructures est défini pour une barge moyenne et est exprimé en t.km. L'ICV est basé sur le procédé Ecoinvent « *transport, barge, RER Ecoinvent v2.2* » et le rapport n°14 d'Ecoinvent – Transport.

Transport par train

Les impacts environnementaux du transport par train comprennent :

- Les émissions liées à la production et à l'approvisionnement de carburant ou liées à la production d'électricité
- Les émissions directes,
- Les infrastructures

Consommation d'électricité et de diesel

Deux types de locomotives sont modélisés : électriques et diesel.

Les données de consommation énergétique sont calculées sur base des données fournies par la SNCF (source : « Trafics et consommation d'énergie des différentes catégories de trains SNCF par mode de traction en 1999 », SNCF, direction de la stratégie, Mission économie).

Émissions directes

Pour les trains au diesel, les polluants émis dans l'air sont le CO_2, les NOx, le SO_2, les particules et les hydrocarbures aromatiques.

Pour les trains électriques, les émissions résultant de la production d'électricité sont déterminées par le mix électrique du pays de production (la France dans cet outil).

Infrastructure

L'inventaire de cycle de vie des infrastructures est défini pour un train moyen et est exprimé en t.km. L'ICV est basé sur le procédé Ecoinvent « *transport, freight, rail, RER, Ecoinvent v2.2* » et le rapport n°14 d'Ecoinvent – Transport.

Les infrastructures inclues sont la production du train, son entretien et sa fin de vie ainsi que la fabrication des chemins de fer, l'entretien et la fin de vie.

Transport par bateau

Les impacts environnementaux du transport maritime comprennent :

- Les émissions liées à la production et à l'approvisionnement de carburant ;
- Les émissions directes liées à la combustion du carburant,
- Les infrastructures.

Consommation de carburant et émissions directes :

Les impacts sont calculés par container. Ceci permet de prendre en compte le taux de chargement des containers.

La consommation de carburant est définie par container, c'est-à-dire par « Équivalent vingt pieds » (EVP). Elle est estimée à 0.031 kg fioul /km/EVP (cf. tableau ci-dessous). Cette consommation n'est pas variable en fonction du taux de chargement du navire.

Paramètre	Unité	Valeur
Capacité moyenne d'un navire	# EVP	5000
Consommation de fioul par jour et par navire	t de fioul / jour	153
Vitesse moyenne du navire	Nœuds	22.5
Distance moyenne parcourue par jour	km/jour	1000.08
Consommation de fioul / EVP / km	kg fuel /km /EVP	0.031

(Source de la modélisation : Bilan carbone ADEME, données pour un navire de 5000 EVP)

La quantité de fret transporté par équivalent vingt pieds est de 21.75 tonnes (Ecoinvent v2, rapport n°14).

La production et le transport du carburant sont modélisés par le procédé Ecoinvent : « *heavy fuel oil, at regional storage, RER, Ecoinvent v2.2* ».

Les émissions liées à la combustion du carburant sont estimées sur base du procédé Ecoinvent « *operation, transoceanic freight ship, OCE, Ecoinvent v2.2* ».

Infrastructures

L'inventaire de cycle de vie des infrastructures est défini pour un navire moyen via les procédés Ecoinvent suivant : « *transoceanic freight ship, OCE, Ecoinvent v2.2* » et « *maintenance, transoceanic freight ship, RER, Ecoinvent v2.2* ».

Annexe 3 : Modélisation de l'incinération et de l'enfouissement

1. Incinération

Modélisation des émissions

Le déchet entrant dans l'incinérateur est caractérisé selon sa fraction inerte et sa fraction combustible. Chacune de ces fractions est alors décomposée plus finement :

- La fraction inerte est décomposée en trois sous-fractions : la part d'acier, d'aluminium et d'autres inertes.
- La fraction combustible est caractérisée par sa composition chimique en 41 éléments, le taux d'humidité, le PCI et le taux de carbone biomasse.

C'est sur base de cette composition chimique et des coefficients de transfert que seront calculées les émissions spécifiques aux déchets dans l'eau, dans l'air et dans les résidus.

On retrouve dans cette catégorie la plupart des émissions : CO_2, SO_2, P, B, HCl, Br, HF, I, Ag, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, V, Zn, Be, Sc, St, Tl, W, Th, Si, Fe, Ca, Al, K, Mg, Na.

Note : les émissions de CO2 sont réparties entre les émissions de CO2 d'origine biomasse et le CO2 d'origine fossile.

Les coefficients de transfert sont des éléments importants de la modélisation. Ils décrivent la relation entre la masse d'un élément (ex : le plomb) présent dans le déchet avant la combustion et la masse de cet élément présent dans chacune des sorties de l'incinérateur.

La méthodologie appliquée pour calculer les coefficients de transfert se résume à la mesure de la masse des éléments entrés dans l'incinérateur et celle dans toutes les sorties de l'incinérateur, pendant l'incinération de déchets représentatifs.

Certaines émissions sont spécifiques au procédé (et non au déchet). C'est le cas des COV, PM, CO, CN. Ces émissions sont basées sur des données d'émissions collectées par RDC.

Les NOx émis ainsi que le NH3 sont dépendants du traitement de DeNOx utilisé par l'incinérateur. Les émissions modélisées dépendent donc de la technologie.

Consommation de réactifs

Les consommations des différents réactifs (liés au traitement des fumées) sont allouées massiquement suivant la composition du déchet.

La consommation de réactifs est exprimée au moyen d'un facteur traduisant la quantité nécessaire de réactifs pour traiter une certaine masse d'un polluant donné (S, Cl ou F).

Les réactifs utilisés pour la DeNOx sont, quant à eux, dépendants de la technologie de DeNOx utilisée.

Valorisation énergétique

Le Pouvoir calorifique inférieur (PCI) du déchet est valorisé sous forme de chaleur. Cette chaleur peut être convertie en énergie thermique et/ou électrique.

La production d'énergie lors du processus d'incinération pour chaque déchet est calculée de la manière suivante :

Énergie thermique valorisée = PCI * ηthermique * taux de débouché chaleur

avec ηthermique = rendement brut de récupération thermique à l'incinération

et taux de débouché chaleur = chaleur vendue trouvant un consommateur final

Énergie électrique valorisée = PCI * ηélectrique * taux de débouché électrique

avec ηélectrique = rendement brut de récupération électrique à l'incinération

et taux de débouché électrique = électricité consommée par l'incinérateur ou effectivement vendue sur le réseau

Les données utilisées sont les suivantes :

ηthermique * taux de débouché chaleur	**0.195**
ηélectrique * taux de débouché électrique	0.085

Source : données proposées par la commission européenne pour le projet PEF. Données basées sur l'enquête ITOM 2012 de l'ADEME en supposant un PCI moyen des déchets de 9 MJ/kg.

L'énergie produite par valorisation énergétique se substitue :

- Au mix électrique production de la zone géographique étudiée dans le cas de l'électricité ;
- Au mix moyen de chaleur industrielle de la zone géographique étudiée dans le cas d'une production thermique.

Les PCI des matériaux sont présentés dans le tableau suivant :

Matériaux	PCI (MJ/kg)
Papiers	14.12
Cartons	15.92

PE	42.47
PET	22.95
Textiles	14.45
PP	32.78
PU	30.67
Caoutchouc	27.19

Source : Ecoinvent v2.2

2. Enfouissement

Le déchet enfoui est caractérisé selon sa composition chimique (41 éléments), le taux d'humidité, le taux de carbone biomasse et son taux de dégradation à 100 ans.

Les émissions dans l'air et dans l'eau dépendent directement du type de déchet et du taux de dégradation de celui-ci.

- Des coefficients de transfert pour chaque élément chimique sont utilisés pour modéliser les émissions vers l'air et vers l'eau.
- Ces coefficients de transfert sont issus d'un bilan massique moyen réalisé en entrée et en sortie de différents centres de stockage et d'hypothèses de modélisation (actuellement basées sur la modélisation Ecoinvent)

La modélisation des émissions (dans l'air et dans l'eau) est séparée suivant 2 horizons temporels pour pouvoir prendre en compte l'ensemble des impacts potentiels d'un CET sur l'ensemble de la durée d'exploitation de celle-ci :

- Les émissions ayant lieu à court terme : de t0 à t0+100 ans
- Les émissions ayant lieu à long terme : de t0+ 100 à t0 + 60 000 ans

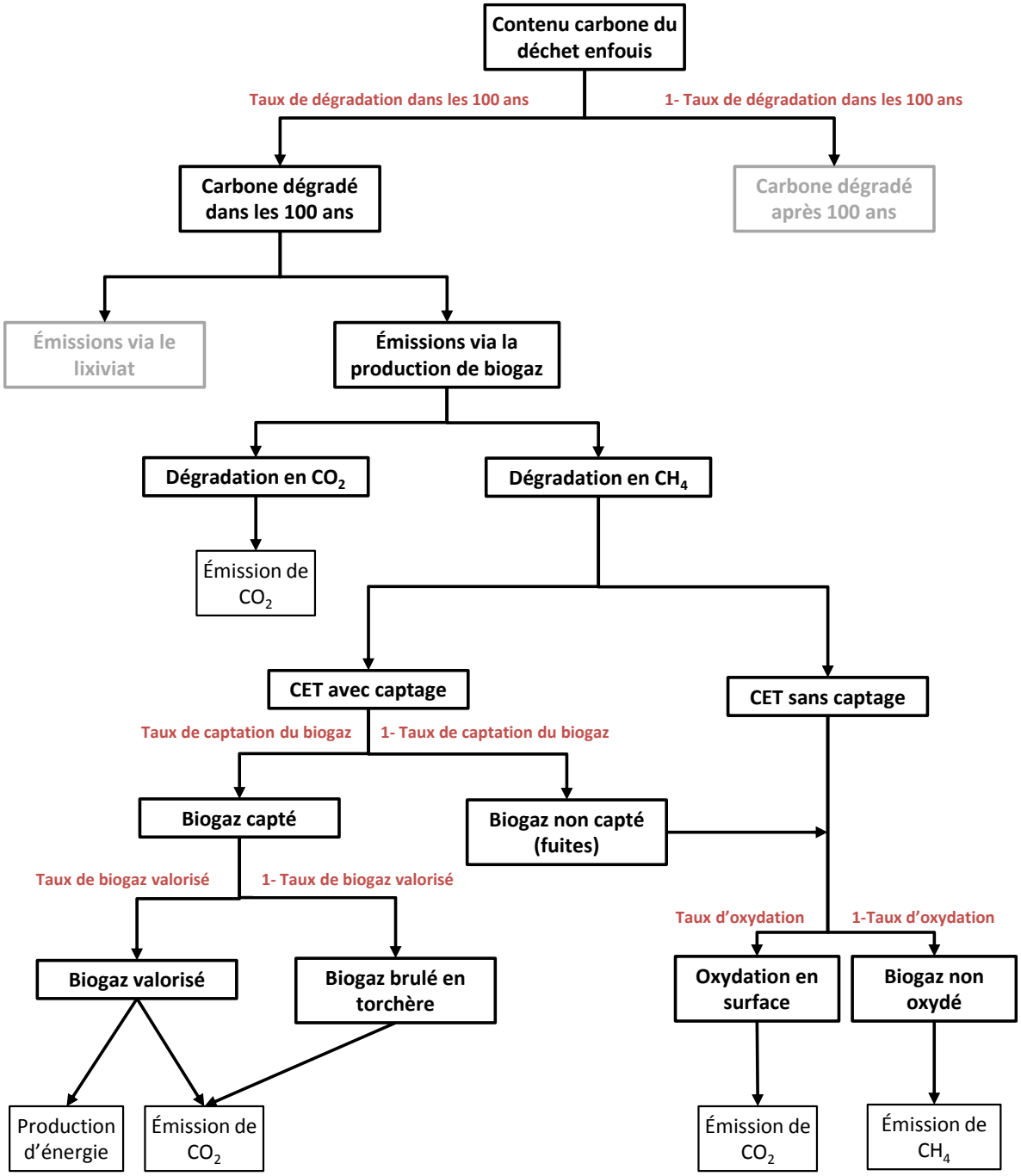
Les émissions ayant lieu à long terme ne sont pas comptabilisées dans cette étude.

Consommation de réactifs

Les réactifs consommés sont utilisés pour le traitement des lixiviats. Ils sont utilisés pour ajuster le pH de la STEP. Ces consommations sont allouées massiquement à la quantité de déchets entrants.

Valorisation énergétique

Le devenir du biogaz est modélisé sur base du schéma suivant :



L'énergie produite par valorisation énergétique se substitue :

- Au mix électrique production de la zone géographique étudiée dans le cas de l'électricité ;
- Au mix moyen de chaleur industrielle de la zone géographique étudiée dans le cas d'une production thermique.

Annexe 4 : Données de modélisation de la collecte sélective

Collecte en porte à porte

La consommation des bennes à ordure ménagères (BOM) est divisée en deux parties : roulage et collecte. En roulage, la consommation est de 40 l/100km et pendant la collecte de 100 litres/100km**.** La consommation moyenne d'une BOM[62] en France étant de **60 litres/100 km**, la part de la distance en roulage est de 66% et la part en collecte est donc de 34%.

Les émissions des bennes à ordures ménagères sont modélisées via COPERT IV (émissions d'un camion de 10 tonnes en charge utile).

Les distances suivantes sont considérées pour la collecte sélective[63] :

- Distance collecte sélective en PAP : moyenne totale (hors verre) : 54 km/tonne
- Distance collecte sélective en PAP : emballages corps creux : 86.3 km/tonne[64]

La distance moyenne totale de 12.2 km/tonne[63] est considérée pour la collecte non sélective.

Collecte en point d'apport volontaire

La collecte en point d'apport volontaire se divise en deux grandes étapes :

- La distance parcourue par le particulier jusqu'au point de collecte
- La distance parcourue par le camion de collecte pour récupérer les déchets du point d'apport volontaire et les acheminer vers le traitement approprié.

La distance parcourue par les particuliers imputable à l'apport en point volontaire est issue du rapport nommé « Transport et logistique des déchets – Rapport final », ADEME, réalisé par Bio Intelligence Service, AJI-Europe, P2R en 2012.

Tonnages d'emballages collectés en point d'apport volontaires en France :

	Unité	Valeur	Source
Quantité d'emballages ménagers légers et assimilés collectés	Mt	1.73	[1]
Part d'emballages ménagers légers collectés en PAV	%	26%	[1]
Quantité d'emballages ménagers légers et assimilés collectés en PAV	Mt	0.4498	Calcul
Quantité de verre creux usagé collecté en vue du recyclage	Mt	1.92	[1]
Part de verre creux usagé collecté en PAV	%	80%	[1]
Quantité de verre creux collecté en PAV	Mt	1.536	Calcul

[1] : Bio Intelligence Service, AJI-Europe, P2R. 2012. Transport et logistique des déchets – Rapport final. ADEME. 281 pages.

[62] « Les Bennes à ordures ménagères écologiques, quelles solutions pour les réseaux ? », ADEME, octobre 2003

[63] Enquête collecte 2007, Analyse des distances parcourues par les bennes de collecte des ordures ménagères - ADEME

[64] Distance considérée pour le verre creux

Distance parcourue imputable à l'apport en PAV en France :

	Unité	Valeur	Source
Distance imputable pour les journaux, magazines et emballages	km/an/ménage	0.55	[1]
Distance imputable pour le verre	km/an/ménage	0.04	[1]
Nombre de ménages en 2012	#	28 269 700	[2]
Distance totale annuelle parcourue pour les journaux, magazines et emballages	km totaux	15 548 335	Calcul
Distance totale annuelle parcourue pour le verre	km totaux	1 130 788	Calcul

[1] : Bio Intelligence Service, AJI-Europe, P2R. 2012. Transport et logistique des déchets – Rapport final. ADEME. 281 pages.

[2] : Insee, Ménages selon la structure familiale en 2012

La distance par tonne de déchets collectés est donc de :

- 34.6 km/t pour les journaux, magazines et emballages
- 10.1 km/t pour le verre

La distance parcourue par le camion de collecte est estimée à 50 km (hypothèse). Le camion modélisé est un camion de charge utile de 25 t.

Les impacts du transport du particulier sont modélisés via l'inventaire de cycle de vie « *operation, passenger car, diesel, fleet average 2010, RER, ecoinvent v2.2* ».

Annexe 5 : données de modélisation de la découpe des métaux au gaz propane

Les émissions générées par la découpe des métaux au gaz propane sont basée sur la publication suivante : « emission factors for LPG combustion, USEPA, 2008 »[65].

Polluants	**lb/10³ gal**	**kg/m³ propane liquide**
PM filterable	0.2	0.024
PM, condensable	0.5	0.06
PM total	0.7	0.084
SO_2	0.018	0.0022
NOx (express as NO2)	13	1.56
N_2O	0.9	0.11
CO_2	12500	1498
CO	7.5	0.9
CH_4	0.2	0.024

L'inventaire de cycle de vie de production de gaz propane est le suivant : *propane/ butane, at refinery, RER, Ecoinvent v.2.2*

[65] http://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch01/

Annexe 6 : Résultats de l'ACV de la pâte à papier recyclée et de la pâte marchande moyenne

Les résultats sont issus de l'étude : *« Analyse de cycle de vie des ramettes de papier de bureau, Juillet 2013, ADEME-COPACEL »*

L'ensemble des bilans environnementaux qui ont été calculés pour les pâtes à papier ont été établis pour la production d'une TSA (tonne séchée à l'air) ; par convention, le taux d'humidité considéré pour une tonne séchée à l'air est de 10 %. De plus ces bilans ont été établis en « cradle-to-gate » pour la pâte chimique et en « wastepaper-to-gate » pour la pâte recyclée.

	Effet de serre à 100 ans (méthode IPCC sans carbone biogénique)	**Effet de serre à 100 ans** (méthode IPCC avec carbone biogénique)	**Consommation d'énergie primaire renouvelable**	**Consommation d'énergie primaire non renouvelable**	**Consommation d'énergie totale**
unité	*kg CO2-eq/TSA*	*kg CO2-eq/TSA*	*MJ/TSA*	*MJ/TSA*	*MJ/TSA*
Pâte à papier kraft marchande moyenne Feuillus	400	-1 100	39 000	7 300	46 300
Pâte à papier kraft marchande moyenne Résineux	410	-1 300	42 000	7 500	49 500
Pâte à papier kraft marchande moyenne Eucalyptus	440	-920	38 000	5 700	43 700
Pâte à papier kraft marchande moyenne	**417**	**-1 107**	**39 667**	**6 833**	**46 500**
Pâte à papier recyclée moyenne (avec collecte et tri)	470	510	640	12 000	12 640
Pâte à papier recyclée moyenne (hors collecte et tri)[66]	**308**	**320**	**595**	**9 960**	**10 555**

[66] Recalculé sur base de « l'analyse de la contribution des étapes ou procédés pour la pâte à papier » détaillées dans le rapport.

Annexe 7 : Données sur la régénération des emballages PET et PEhd en granulés

Les données pour le procédé production de granulés de PEhd et de PET sont issues du regroupement des sources suivantes :

[1] Le rapport « Life cycle inventory of 100% postconsumer HDPE and PET recycled resin from postconsumer containers and packaging, april 2010, prepared for the plastics division of the american chemistry council, INC ; the association of postconsumer plastic recyclers (APR), the national association for PET container ressources (NAPCOR), and the PET resin association (PETRA) ».

[2] Les données transmises par PAPREC pour le PET et le PEhd

[3] Les données transmises par Nordpalplast pour le PET

[4] Les données issues de visites d'installations de recyclage de PEhd en Espagne, au Portugal et aux Pays-Bas en 2007-2008.

PEhd

Les données du procédé de production de granulés de PEHD sont présentées dans le tableau suivant. Une moyenne arithmétique est faite entre les données des trois sources utilisées.

pour 1 tonne de granulés produits	**Moyenne**	**Unités**	**Inventaire de cycle de vie**
Matières premières			
PEHD trié	1076	kg	-
Hydroxyde de sodium (100%)	0.135	kg	sodium hydroxide, 50% in H2O, production mix, at plant, RER, ecoinvent v2.2
Anti-mousses	0.76	kg	propylene glycol, liquid, at plant, RER, ecoinvent v2.2
charges	0.285	kg	limestone, milled, packed, at plant, CH, ecoinvent v2.2
Détergent	0.32	kg	soap, at plant, RER, ecoinvent v2.2
Détergent alcalin	0.03	kg	sodium phosphate, at plant, RER, ecoinvent v2.2
Consommation d'énergie			
Électricité	640.22	kWh	Mix électrique moyenne tension (fonction de la zone géographique)
Diesel	0.06	l	diesel, burned in building machine, GLO, ecoinvent v2.2
Gaz naturel	2.56	m³	natural gas, burned in industrial furnace >100kW, RER, ecoinvent v2.2
Gaz liquéfié	0.26	l	Modélisation du propane --> cf *Annexe 5*
Propane	0.11	l	Modélisation du propane --> cf *Annexe 5*
Consommation d'eau			
Eau du réseau	1201.60	l	tap water, at user, RER, ecoinvent v2.2
Sorties			
Émissions dans l'air			
Particules (PM 10)	0.023	kg	-
Particules (PM 2.5)	0.015	kg	-

Déchets			
Déchets enfouis	65.7	kg	50% disposal, packaging paper, 13.7% water, to sanitary landfill, CH, ecoinvent v2.2 50% disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to sanitary landfill, CH, ecoinvent v2.2
Déchets incinérés avec récupération énergétique	13.4	kg	50% disposal, packaging paper, 13.7% water, to municipal incineration, CH, ecoinvent v2.2 50% disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration, CH, ecoinvent v2.2
Émissions dans l'eau			
DBO	0.3	kg	-
DCO	0.0015	kg	-
MES	0.29	kg	-
Matières dissoutes	0.0091	kg	-

PET

Les données du procédé de production de paillettes de PET sont présentées dans le tableau suivant. Une moyenne arithmétique est faite entre les données des trois sources utilisées.

pour 1 tonne de paillettes produites	**Moyenne**	**Unités**	**Inventaire de cycle de vie**
PET trié	1365	kg	-
Hydroxyde de sodium (100%)	12.7	kg	sodium hydroxide, 50% in H2O, production mix, at plant, RER, ecoinvent v2.2
Détergent	1.6	kg	soap, at plant, RER, ecoinvent v2.2
Anti-mousses	3.1	kg	propylene glycol, liquid, at plant, RER, ecoinvent v2.2
Charges	0.44	kg	limestone, milled, packed, at plant, CH, ecoinvent v2.2
Coagulant	0.70	kg	iron sulphate, at plant, RER, ecoinvent v2.2
Floculant	0.55	kg	acrylic acid, at plant, RER, ecoinvent v2.2
Consommation d'énergie			
Électricité	359	kWh	Mix électrique moyenne tension (fonction de la zone géographique)
Gaz naturel	29	m³	diesel, burned in building machine, GLO, ecoinvent v2.2
Gaz liquéfié	0.086	l	Modélisation du propane --> cf *Annexe 5*
Propane	0.015	l	Modélisation du propane --> cf *Annexe 5*
Consommation d'eau			
Eau du réseau	1474	l	tap water, at user, RER, ecoinvent v2.2
Sorties			
Émissions dans l'air			
Particules	0.039	kg	-
COV	0.037	kg	-

Déchets			
Déchets enfouis	181.7	kg	50% disposal, packaging paper, 13.7% water, to sanitary landfill, CH, ecoinvent v2.2 50% disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to sanitary landfill, CH, ecoinvent v2.2
Déchets incinérés avec récupération énergétique	150.2	kg	50% disposal, packaging paper, 13.7% water, to municipal incineration, CH, ecoinvent v2.2 50% disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration, CH, ecoinvent v2.2
Émissions dans l'eau			
DBO	7.260	kg	-
DCO	20.2	kg	-
MES	2.98	kg	-

Une consommation électrique supplémentaire de 480.6 kWh/t de paillettes PET est nécessaire pour obtenir des granulés de PET (source : [1]).

Annexe 8 : Données utilisées pour le calcul de la consommation électrique de la filière granulats

Les données suivantes ont été utilisées pour le calcul de la consommation électrique de la transformation des déchets de chantier en granulats

Paramètre	Valeur	Unité	Commentaire
Heures de travail annuelles	1750	h	
Débit horaire	40	t/h	
Procédé			
Puissance installée	170	kW	Donnée en entrée
% utilisé de la puissance	85%	%	80% à 90%
Groupe climatisation froid/chauffage			
Puissance installée	145	kW	
% utilisé de la puissance	60%	%	Selon les saisons la variation est importante, entre 10 et 100% de puissance consommée. Une moyenne de 50 à 70% peut être considérée

Données transmises par Aktid en novembre 2015.

Annexe 9 : Données de modélisation du mix textile évité

Les matériaux évités grâce à l'utilisation de chiffons issus de textiles recyclés sont les suivants :

- Évitement du mix textile représentatif de la consommation de textiles en Europe
- Évitement de papier d'essuyage

Le mix de textiles évités est présenté dans le tableau suivant :

Matériaux	Répartition
Coton	40.2%
Laine	7.3%
Polyester	21.5%
Polyamide	12.7%
Acrylique	8.3%
Viscose	8.4%
Elastane/ PU	1.6%

Source : Élaboration d'un plan de développement d'une base publique de données d'ACV comme support à l'affichage, étude réalisée par BioIS pour l'ADEME, janvier 2010

Les inventaires de cycle de vie utilisés sont les suivants :

Matériaux	Inventaires de cycle de vie associés pour la production de la matière	Inventaires de cycle de vie associés pour la transformation de la matière en tissu
Coton	80% cotton fibres, ginned, at farm, CN, EI v2.2 20% cotton fibres, at farm, US, EI v2.2	yarn production, cotton fibres, GLO, EI v2.2 (filage)
Laine	wool, sheep, at farm, US, EI v2.2	yarn production, cotton fibres, GLO, EI v2.2 (filage)
Polyester	polyethylene terephtalate, granulate, bottle grade, at plant, RER, PlasticsEurope 2010	extrusion, plastic film, RER, EI v2.2 (filage)
Polyamide	50% nylon 6, at plant, RER, PlasticsEurope 2005 50% nylon 66, at plant, RER, PlasticsEurope 2005	extrusion, plastic film, RER, EI v2.2 (filage)
Acrylique	89%[67] Acrylonitrile, at plant, RER, PlasticsEurope 2005 10% Non-ionic comonomer 1/3 vinyl acetate, at plant, RER, EI v2.2 1/3 methyl acrylate, at plant, GLO, EI v2.2 1/3 vinyl chloride, at plant, RER, EI v2.2 1% Ionic comonomer : sodium sulphate from sulfuric acid digestion of spodumene, GLO, EI v2.2	extrusion, plastic film, RER, EI v2.2 (filage)
Viscose	viscose fibres, at plant, GLO, EI v2.2	yarn production, cotton fibres, GLO, EI v2.2 (filage)
Elastane / PU	polyurethane, flexible foam, at plant, RER, PlasticsEurope 2005	-

[67] Répartition entre les différentes sources d'acrylique issue de la source : « *Document de référence sur les meilleures techniques disponibles, Industrie textile, juillet 2003* »

Annexe 10 : Données de tonnages collectés utilisées pour les résultats de cette étude

Collecte métaux ferreux	**ktonnes**	**%**	**Source**	**Positionnement sur la filière**
Déchèteries, Collectes, Apports volontaires (y compris les tonnages récupérés des machines et matériels hors d'usage)	8 000	62%	Chiffres FEDEREC 2014	
dont collecte des emballages ménagers	*42*	*1%*	Comité d'information matériaux 2014 *(slide 7, colonne Federec)*	en sortie de centre de tri
dont métaux issus des DEEE	*458*	*1%*	**DEEE ménagers :** ADEME - Projet de quantification des déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) en France, décembre 2013 **DEEE professionnels :** ADEME - Inventaire 2012 des sites de traitement de déchets d'équipements électriques et électroniques, mai 2014 **Part de métaux ferreux dans les DEEE :** 45% (ADEME - EEE- Rapport annuel 2013)	en sortie de broyage/tri post broyage
dont acier des mâchefers	*61.5*	*0.5%*	Comité d'information matériaux 2014 *(slide 12, colonne Federec)*	en sortie de broyage/tri post broyage
reste	*7 709*	*60%*	Chiffres FEDEREC 2014	en sortie du récupérateur
Chutes neuves	2 300	18%	Chiffres FEDEREC 2014	en sortie du récupérateur
Déchets de démolition de bâtiments (y compris le fer à béton récupéré dans le béton)	1 400	11%	Chiffres FEDEREC 2014	en sortie du récupérateur
Ferrailles des VHU (VL, VUL, PL)	1 200	9%	Chiffres FEDEREC 2014	en sortie de broyage/tri post broyage
Total	**12 900**	**100%**	-	-

Collecte MNF - Aluminium	Ktonnes	%	Source	Positionnement sur la filière
Après passage au broyage (incluant MNF issus des DEEE et issus des MNF VHU)	160	27%	Chiffres FEDEREC 2014	post broyage
dont aluminium issu des DEEE	*22*	*4%*	*4% du flux selon expert FEDEREC*	*post broyage*
dont aluminium issu des VHU	*22*	*4%*	*4% du flux selon expert FEDEREC*	*post broyage*
dont autres	*117*	*20%*	*déduit*	*post broyage*
Aluminium issu de la collecte sélective	3	1%	Comité d'information matériaux 2014 *(slide 17, colonne Federec)*	post broyage
Préparation (Tri, Cisaillage, Mise en paquet, en vrac…)	379	64%	Chiffres FEDEREC 2014	-
dont aluminium vrac	*124*	*21%*	*estimation expert FEDEREC*	*post tri/conditionnement*
dont aluminium cisaillé	*255*	*43%*	*estimation expert FEDEREC*	*post cisaillage*
Chutes neuves	47	8%	Chiffres FEDEREC 2014	post broyage
Total	**589**	**31%**	-	-

Collecte MNF - cuivre	ktonnes	%	Source	Positionnement sur la filière
Cuivre issus des ménages et des activités économiques	175	92%	Chiffres FEDEREC 2014	-
dont cuivre issu des DEEE	*7*	*4%*	4% du flux selon expert FEDEREC	post broyage
dont cuivre issu des VHU	*7*	*4%*	4% du flux selon expert FEDEREC	post broyage
dont cuivre préparé (cisaillage et/ou presse)	*16*	*8%*	*estimation expert FEDEREC*	post cisaillage
dont cuivre vrac	*145*	*76%*	*estimation expert FEDEREC*	Post tri/conditionnement

Chutes neuves	15	8%	Chiffres FEDEREC 2014	post broyage
Total	**190**	**100%**	-	-

Collecte papier	**ktonnes**	**%**	**Source**	**Positionnement sur la filière**
Collecte industrielle	1330	47.50%	Chiffres FEDEREC 2014	Post tri
Collecte des papiers de bureau	350	12.50%	Chiffres FEDEREC 2014	Post tri
Collecte sélective issue des déchets ménagers	1120	40%	Chiffres FEDEREC 2014	Post tri
Total	**2800**	**100%**	**-**	-

Collecte carton	**ktonnes**	**%**	**Source**	**Positionnement sur la filière**
Collecte industrielle (dont distribution : 25 %)	3735	83%	Chiffres FEDEREC 2014	Post tri
Collecte sélective issue des déchets ménagers	765	17%	Chiffres FEDEREC 2014	Post tri
Total	**4 500**	**100%**	-	-

Collecte verre creux	**ktonnes**	**%**	**Source**	**Positionnement sur la filière**
Collecte sélective des déchets ménagers	1 899	99%	Chiffres FEDEREC 2014	Post regroupement
Collecte industrielle	19	1%	Chiffres FEDEREC 2014	Post regroupement
Total	**1 918**	**100%**	-	-

Collecte Plastiques	ktonnes	%	Source	Positionnement sur la filière
Collecte sélective des déchets ménagers	230	27%	Chiffres FEDEREC 2014	
dont PET	*153.3*	*18%*	*Basé sur les hypothèses suivantes : - flux régénéré uniquement composé de PEhd et PET - part que représente chaque résine dans le total de déchets plastiques régénérés (données 2012 étude 2ACR sur le recyclage des plastiques en France, 2014)*	*post tri*
dont PEhd	*76.7*	*9%*		*post tri*
dont autres plastiques	*0*	*0%*		*-*
Collecte industrielle	630	73%		
dont PET	*173*	*20%*	*basé sur la part que représente chaque résine dans le total de déchets plastiques régénérés (données 2012 étude 2ACR sur le recyclage des plastiques en France, 2014)*	*post tri*
dont PEhd	*87*	*10%*		*post tri*
dont autres plastiques	*370*	*43%*		*post tri*
Total	**860**	**100%**	**-**	**-**

Annexe 11 : Résultats ACV détaillés

Résultats totaux – Effet de serre

kt CO2-eq	MF	MNF - cuivre	MNF - alu	Papier	Carton	Verre	Plastique PEhd	Plastique PET	Granulats	Textiles
Total	**-16 997**	**-32**	**-4 473**	**-152**	**1 238**	**-1 069**	**-346**	**-305**	**-197**	**-124**

Résultats détaillés par tonne collectée – Effet de serre

kg CO2-eq / tonne collectée	MF	MNF - cuivre	MNF - alu	Papier	Carton	Verre	Plastique PEhd	Plastique PET	Granulats	Textiles
Collecte sélective des ménages	0.4		0.6	35.9	16.0	38.7	32.2	107.1	0	21
Tri & transport aval	21.8	10.1	9.8	37.6	30.5	12.3	21.4	25.4	3.4	58.2
Prod MPR & transport aval	54.2	95.2	84.5			24.2	115.4	259.8		7.7
Prod. de matériaux int. issus de MPR	861.8	1 199.0	466.9	243.6	623.5	-594				
Production évitée	-2 211	-1 445	-7 803	-297	-390		-1 587	-1 311	-4	-5 608
Collecte et fin de vie évitée	-4.7	-20.8	-3.8	-71	-15.1	-38.6	-1 396.4	-920.3	-6.5	-132.6
Total	**-1 277**	**-161**	**-7 245**	**-50**	**265**	**-557**	**-2 815**	**-1 839**	**-7**	**-5 654**

Résultats totaux – Consommation d'énergie primaire totale

GWh	MF	MNF - cuivre	MNF - alu	Papier	Carton	Verre	Plastique PEhd	Plastique PET	Granulats	Textiles
Total	**-33 780**	**-361**	**-25 266**	**-15 490**	**-40 457**	**-3 067**	**-1 647**	**-1 338**	**-1 549**	**-571**

Résultats détaillés par tonne collectée – Consommation d'énergie primaire totale

kWh / tonne collectée	MF	MNF - cuivre	MNF - alu	Papier	Carton	Verre	Plastique PEhd	Plastique PET	Granulats	Textiles
Collecte sélective des ménages	2		3	159	71	172	143	475	0	94
Tri & transport aval	101	46	45	262	209	41	141	256	29	357
Prod MPR & transport aval	231	406	362			83	1 800	1 268		-53
Prod. de matériaux int. issus de MPR	3 429	5 243	2 246	2 318	2 738	-1 716				
Production évitée	-6 248	-7 369	-43 525	-9 193	-13 115		-19 228	-11 765	-35	-27 188
Collecte et fin de vie évitée	-53	-146	-51	1 317	1 299	-197	3 732	1 687	-50	836
Total	**-2 538**	**-1 820**	**-40 920**	**-5 136**	**-8 799**	**-1 599**	**-13 411**	**-8 079**	**-56**	**-25 953**

Annexe 12 : Facteurs de caractérisation des méthodes associées aux indicateurs environnementaux

Bern model – Global Warming potentials (GWP) over a 100 year time horizon, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007

Compartment	Sub compartment	Name	Factor
air	lower stratosphere + upper troposphere	Carbon dioxide, fossil	1
air	low population density	Carbon dioxide, fossil	1
air	unspecified	Carbon dioxide, fossil	1
air	high population density	Carbon dioxide, fossil	1
air	unspecified	Carbon dioxide, land transformation	1
air	lower stratosphere + upper troposphere	Carbon dioxide, land transformation	1
air	low population density	Carbon dioxide, land transformation	1
air	high population density	Carbon dioxide, land transformation	1
air	lower stratosphere + upper troposphere	Carbon monoxide, fossil	1.5714
air	high population density - low altitude	Carbon monoxide, fossil	1.5714
air	high population density	Carbon monoxide, fossil	1.5714
air	low population density	Carbon monoxide, fossil	1.5714
air	unspecified	Carbon monoxide, fossil	1.5714
air	low population density - low altitude	Carbon monoxide, fossil	1.5714
air	unspecified - low altitude	Carbon monoxide, fossil	1.5714
air	high population density	Chloroform	30
air	unspecified	Chloroform	30
air	lower stratosphere + upper troposphere	Chloroform	30
air	low population density	Chloroform	30
air	lower stratosphere + upper troposphere	Dinitrogen monoxide	298
air	unspecified	Dinitrogen monoxide	298
air	low population density	Dinitrogen monoxide	298
air	high population density	Dinitrogen monoxide	298
air	lower stratosphere + upper troposphere	Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	1430
air	low population density	Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	1430
air	unspecified	Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	1430
air	high population density	Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	1430
air	high population density	Ethane, 1,1,1-trifluoro-, HFC-143a	4470
air	low population density	Ethane, 1,1,1-trifluoro-, HFC-143a	4470
air	unspecified	Ethane, 1,1,1-trifluoro-, HFC-143a	4470
air	lower stratosphere + upper troposphere	Ethane, 1,1,1-trifluoro-, HFC-143a	4470
air	lower stratosphere + upper troposphere	Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	6130
air	high population density	Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	6130
air	unspecified	Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	6130
air	low population density	Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	6130

air	unspecified	Ethane, 1,1-dichloro-1-fluoro-, HCFC-141b	725
air	low population density	Ethane, 1,1-dichloro-1-fluoro-, HCFC-141b	725
air	high population density	Ethane, 1,1-dichloro-1-fluoro-, HCFC-141b	725
air	lower stratosphere + upper troposphere	Ethane, 1,1-dichloro-1-fluoro-, HCFC-141b	725
air	high population density	Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	124
air	unspecified	Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	124
air	lower stratosphere + upper troposphere	Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	124
air	low population density	Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	124
air	lower stratosphere + upper troposphere	Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	10000
air	unspecified	Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	10000
air	high population density	Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	10000
air	low population density	Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	10000
air	unspecified	Ethane, 1-chloro-1,1-difluoro-, HCFC-142b	2310
air	low population density	Ethane, 1-chloro-1,1-difluoro-, HCFC-142b	2310
air	lower stratosphere + upper troposphere	Ethane, 1-chloro-1,1-difluoro-, HCFC-142b	2310
air	high population density	Ethane, 1-chloro-1,1-difluoro-, HCFC-142b	2310
air	low population density	Ethane, 2,2-dichloro-1,1,1-trifluoro-, HCFC-123	77
air	unspecified	Ethane, 2,2-dichloro-1,1,1-trifluoro-, HCFC-123	77
air	lower stratosphere + upper troposphere	Ethane, 2,2-dichloro-1,1,1-trifluoro-, HCFC-123	77
air	high population density	Ethane, 2,2-dichloro-1,1,1-trifluoro-, HCFC-123	77
air	low population density	Ethane, 2-chloro-1,1,1,2-tetrafluoro-, HCFC-124	609
air	high population density	Ethane, 2-chloro-1,1,1,2-tetrafluoro-, HCFC-124	609
air	lower stratosphere + upper troposphere	Ethane, 2-chloro-1,1,1,2-tetrafluoro-, HCFC-124	609
air	unspecified	Ethane, 2-chloro-1,1,1,2-tetrafluoro-, HCFC-124	609
air	lower stratosphere + upper troposphere	Ethane, chloropentafluoro-, CFC-115	7370
air	high population density	Ethane, chloropentafluoro-, CFC-115	7370
air	low population density	Ethane, chloropentafluoro-, CFC-115	7370
air	unspecified	Ethane, chloropentafluoro-, CFC-115	7370
air	high population density	Ethane, hexafluoro-, HFC-116	12200
air	unspecified	Ethane, hexafluoro-, HFC-116	12200
air	lower stratosphere + upper troposphere	Ethane, hexafluoro-, HFC-116	12200
air	low population density	Ethane, hexafluoro-, HFC-116	12200
air	lower stratosphere + upper troposphere	Ethane, pentafluoro-, HFC-125	3500
air	unspecified	Ethane, pentafluoro-, HFC-125	3500
air	high population density	Ethane, pentafluoro-, HFC-125	3500
air	low population density	Ethane, pentafluoro-, HFC-125	3500
emission factors	RDC category	IPCC 2007 w/o C biogenic, GWP 100a - w/o LT	1
air	lower stratosphere + upper troposphere	Methane, biogenic	22.25
air	high population density	Methane, biogenic	22.25
air	low population density	Methane, biogenic	22.25
air	unspecified	Methane, biogenic	22.25
air	low population density	Methane, bromo-, Halon 1001	5

air	unspecified	Methane, bromo-, Halon 1001	5
air	high population density	Methane, bromo-, Halon 1001	5
air	lower stratosphere + upper troposphere	Methane, bromo-, Halon 1001	5
air	lower stratosphere + upper troposphere	Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	1890
air	high population density	Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	1890
air	unspecified	Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	1890
air	low population density	Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	1890
air	high population density	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	7140
air	lower stratosphere + upper troposphere	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	7140
air	low population density	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	7140
air	unspecified	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	7140
air	unspecified	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	1810
air	lower stratosphere + upper troposphere	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	1810
air	low population density	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	1810
air	high population density	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	1810
air	unspecified	Methane, chlorotrifluoro-, CFC-13	14000
air	high population density	Methane, chlorotrifluoro-, CFC-13	14000
air	lower stratosphere + upper troposphere	Methane, chlorotrifluoro-, CFC-13	14000
air	low population density	Methane, chlorotrifluoro-, CFC-13	14000
air	unspecified	Methane, dichloro-, HCC-30	8.7
air	high population density	Methane, dichloro-, HCC-30	8.7
air	low population density	Methane, dichloro-, HCC-30	8.7
air	lower stratosphere + upper troposphere	Methane, dichloro-, HCC-30	8.7
air	unspecified	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	10900
air	high population density	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	10900
air	low population density	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	10900
air	lower stratosphere + upper troposphere	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	10900
air	high population density	Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	210
air	low population density	Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	210
air	lower stratosphere + upper troposphere	Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	210
air	unspecified	Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	210
air	high population density	Methane, difluoro-, HFC-32	675
air	lower stratosphere + upper troposphere	Methane, difluoro-, HFC-32	675
air	unspecified	Methane, difluoro-, HFC-32	675
air	low population density	Methane, difluoro-, HFC-32	675
air	low population density	Methane, fossil	25
air	high population density	Methane, fossil	25
air	unspecified	Methane, fossil	25
air	lower stratosphere + upper troposphere	Methane, fossil	25
air	unspecified	Methane, monochloro-, R-40	13
air	low population density	Methane, monochloro-, R-40	13
air	lower stratosphere + upper troposphere	Methane, monochloro-, R-40	13

air	high population density	Methane, monochloro-, R-40	13
air	lower stratosphere + upper troposphere	Methane, tetrachloro-, R-10	1400
air	high population density	Methane, tetrachloro-, R-10	1400
air	low population density	Methane, tetrachloro-, R-10	1400
air	unspecified	Methane, tetrachloro-, R-10	1400
air	lower stratosphere + upper troposphere	Methane, tetrafluoro-, R-14	7390
air	high population density	Methane, tetrafluoro-, R-14	7390
air	unspecified	Methane, tetrafluoro-, R-14	7390
air	low population density	Methane, tetrafluoro-, R-14	7390
air	lower stratosphere + upper troposphere	Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	4750
air	unspecified	Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	4750
air	low population density	Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	4750
air	high population density	Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	4750
air	unspecified	Methane, trifluoro-, HFC-23	14800
air	high population density	Methane, trifluoro-, HFC-23	14800
air	lower stratosphere + upper troposphere	Methane, trifluoro-, HFC-23	14800
air	low population density	Methane, trifluoro-, HFC-23	14800
air	low population density	Nitrogen fluoride	17200
air	lower stratosphere + upper troposphere	Nitrogen fluoride	17200
air	unspecified	Nitrogen fluoride	17200
air	high population density	Nitrogen fluoride	17200
air	lower stratosphere + upper troposphere	Sulfur hexafluoride	22800
air	high population density	Sulfur hexafluoride	22800
air	low population density	Sulfur hexafluoride	22800
air	unspecified	Sulfur hexafluoride	22800

Cumulative energy demand, total energy resources, non-renewable&renewable

Comp	Sub comp	Name	Factor
resource	in ground	Coal, brown, in ground	9.9
resource	in ground	Coal, brown, in ground_MJ	1
resource	in ground	Coal, hard, unspecified, in ground	19.1
resource	in ground	Coal, hard, unspecified, in ground_MJ	1
emission factors	RDC category	Cumulative energy demand, total energy resources, non-renewable&renewable	1
resource	in ground	Energy, geothermal, converted	1
resource	biotic	Energy, gross calorific value, in biomass	1
resource	biotic	Energy, gross calorific value, in biomass, primary forest	1
resource	in air	Energy, kinetic (in wind), converted	1
resource	in water	Energy, potential (in hydropower reservoir), converted	1
resource	in air	Energy, solar, converted	1
resource	in ground	Gas, mine, off-gas, process, coal mining	39.8
resource	in ground	Gas, natural, in ground	38.293
resource	in ground	Gas, natural, in ground_MJ	1
resource	unspecified	Non-renewable Energy Equivalent	1
resource	in ground	Oil, crude, in ground	45.8
resource	in ground	Oil, crude, in ground_MJ	1
resource	biotic	Peat, in ground	9.9
resource	in ground	Peat, in ground_MJ	1
resource	unspecified	Renewable Energy Equivalent	1
resource	in ground	Uranium, in ground	560000
resource	in ground	Uranium, in ground_MJ	1

Annexe 13 : Consommation d'énergie primaire : équivalence des résultats de l'étude avec la consommation d'énergie primaire pour la production d'électricité en France

Energie primaire et énergie secondaire

Source : https://www.lenergieenquestions.fr/de-lenergie-primaire-a-lenergie-secondaire-les-enjeux-de-la-deperdition-denergie/

Produire de l'énergie signifie transformer une ressource naturelle comme le fioul, le gaz, le charbon, le vent, le soleil, l'eau (énergie primaire) en une énergie utilisable par le consommateur pour le transport, le chauffage ou l'équipement électrique (énergie finale).

L'énergie finale consommée par les utilisateurs (l'électricité, l'essence, l'eau chaude) n'existe pas en tant que telle dans la nature. Elle est le résultat d'un processus de transformation d'une ressource naturelle, autrement appelée énergie primaire, par différentes technologies de production.

- Exemples d'énergie primaire : fioul, gaz, pétrole, uranium, charbon, eau, soleil, vent, biomasse…
- Exemples d'énergie secondaire : l'électricité, les carburants…
- Les technologies de transformation : raffinage, chaudière, nucléaire, thermique, hydraulique, solaire, éolien…

Entre l'énergie primaire et l'énergie secondaire, plusieurs processus qui se superposent vont créer une déperdition (types d'installation, de conversion, stockage, transport). L'énergie primaire consommée dans un pays est ainsi toujours plus grande que l'énergie secondaire.

Equivalence des résultats de l'étude avec la consommation d'énergie primaire pour la production d'électricité :

Dans le cas de l'électricité, qui est l'énergie qui demande le plus de transformation, un coefficient de 2,58 est ainsi affecté pour convertir la quantité d'énergie secondaire en quantité d'énergie primaire. Cela signifie qu'il faut en moyenne 2,58 kWh d'énergie primaire pour produire 1 kWh d'énergie finale électrique.

Selon RTE, la consommation finale d'électricité en France en 2014 a été de 465 TWh. Ce qui correspond à 1200 TWh d'énergie primaire (465 x 2.58).

En 2014, le recyclage a permis d'éviter la consommation primaire de 123.5 TWh en 2014 soit 10.3% de la consommation d'énergie primaire pour produire de l'électricité en France.

Annexe 14 : Liste du comité de pilotage

Prénom	Nom	Organisation
Rachel	Baudry	ADEME
Anne-Claire	Beucher	FEDEREC – Pôle QSE
Manuel	Burnand	FEDEREC
Jean-Philippe	Carpentier	FEDEREC
Ana	Durquety	FEDEREC – Pôle technique
Bernard	Favory	FORMAREC + Branche CYCLEM (Verre)
Édouard	Fourdrin	ADEME
Jean-Pierre	Gaudin	FEDEREC
Pascal	Genneviève	FEDEREC
Alexis	Gerard	RDC Environment
Johan	Lhotellier	RDC Environment
Cyrille	Martin	FEDEREC
Isabelle	Martin	FEDEREC
Carina	Orru	FEDEREC – Pôle Communication
Jean-Pierre	Parisi	FEDEREC
Nicolas	Petit	ADEME
Tess	Pozzi	FEDEREC – Pôle technique
Olivier	Réthoré	ADEME
Sébastien	Ricard	PAPREC
Alfred	Rosales	FEDEREC
Mehdi	Zerroug	FEDEREC

Annexe 15 : Rapport de revue critique

Deloitte.

Deloitte Développement Durable

185, avenue Charles de Gaulle
92200 Neuilly-sur-Seine
France

Tel: +33 (0)1 40 88 70 21
www.deloitte.fr

Évaluation environnementale du recyclage en France selon la méthodologie de l'analyse de cycle de vie

Note de revue critique

Date :	20 avril 2017
Auteur :	Deloitte – Augustin Chanoine, Véronique Monier

Contexte et objectifs de l'évaluation environnementale du recyclage en France réalisée par FEDEREC

FEDEREC a pour ambition de réaliser le bilan environnemental du recyclage selon la méthode d'analyse de cycle de vie (ACV) pour les filières de recyclage les plus représentatives du marché français. Le choix de l'ACV permet d'évaluer ces filières au travers de plusieurs indicateurs environnementaux et donc de dresser un bilan le plus exhaustif possible.
Dans un premier temps FEDEREC a fait le choix d'évaluer 8 filières de recyclage selon 2 indicateurs : les émissions de gaz à effet de serre et la consommation d'énergie.
Le nombre de filières étudiées ainsi que le nombre d'indicateurs environnementaux pourront évoluer progressivement au cours des prochaines années.
L'objectif pour FEDEREC, outre celui de réaliser le bilan national de ces filières pour 2014, est de rendre ce bilan reproductible dans le temps et de permettre d'identifier les principaux contributeurs de ce bilan et les leviers d'amélioration du bilan.

Objectifs, organisation de la revue critique

Cette revue critique a été réalisée par Emmanuelle Schloesing, Deloitte, pour les versions du rapport d'ACV soumises à la revue critique en 2016, et par Augustin Chanoine et Véronique Monier, Deloitte, pour les versions soumises à la revue critique en 2017.

Terminologie

Pour les besoins du présent document les termes suivants s'appliquent :

- « L'étude » désigne l'évaluation environnementale du recyclage en France réalisée par FEDEREC
- « Le rapport» désigne le rapport méthodologique objet de la revue critique
- « Le rapport de revue critique » désigne le présent rapport
- « Le vérificateur » désigne Deloitte
- « Le réalisateur » ou « RDC » désigne RDC Environment
- « Le commanditaire » ou « FEDEREC » désigne FEDEREC

Deloitte Conseil
185 avenue Charles de Gaulle
92524 Neuilly-sur-Seine Cedex
France
Tél : +33(0) 1 40 88 28 00
Fax : +33(0) 1 40 88 28 28
www.deloitte.fr

Deloitte.

Objectifs de la revue critique

L'objectif de la revue critique est d'apporter un élément d'appréciation externe sur le rapport méthodologique réalisé par RDC Environment, en référence aux normes existantes (principalement aux normes de l'ACV ISO 14040 – 14044).

Déroulement de la revue critique

Une première version du rapport a été transmise par RDC à Emmanuelle Schloesing mi-février 2016.
Cette première version a fait l'objet de 77 commentaires, qui ont été pris en compte par RDC.
Une seconde relecture a été faite par le vérificateur et a donné lieu à 9 commentaires additionnels, également pris en compte par RDC.
Le détail des commentaires faits par le vérificateur et des réponses apportées par RDC figure dans le rapport de revue critique.

Une réunion en ligne a également été réalisée mi-avril 2016 entre le vérificateur et RDC pour avoir un aperçu du logiciel utilisé pour réaliser les modélisations et calculer les résultats : RangeLCA, qui est un logiciel d'analyse de cycle de vie développé par RDC Environment. La revue critique porte sur le rapport méthodologique mais pas sur l'implémentation des données du rapport dans le logiciel de modélisation et de calcul des résultats, bien que quelques vérifications aléatoires aient été réalisées.

A la suite de cette revue critique, le commanditaire a souhaité apporter de nouvelles modifications au rapport final de l'étude et ajouter une synthèse à l'étude. Les principales modifications apportées ont été les suivantes :

- ajout d'une synthèse de l'étude (en français et en anglais) ;
- modification des données sur les VHU (pour avoir les données les plus à jour possible sur les exutoires, la composition et les refus de tri/broyage) et donc recalcule des résultats ;
- ajout de précisions et modification des conclusions sur les papiers/cartons ;
- ajout d'un tableau de synthèse permettant d'exprimer les résultats d'une autre façon.

39 commentaires ont été faits au total sur les deux versions du rapport d'étude soumis à la revue critique en 2017. Un échange téléphonique, à mi-parcours, a permis de converger vers un accord sur les modifications finales à apporter suite aux commentaires de revue.

Note : Seule la version française de la synthèse a été revue. La version anglaise de la synthèse n'a pas été revue.

Par ailleurs, dans le cadre de l'évaluation environnemental du recyclage pour l'étude Bilan National du Recyclage 2014 de l'ADEME, les « experts métiers » du comité de suivi de cette étude ont été consultés pour donner leur avis sur le rapport méthodologique. Bien que ce comité d'experts ne fassent pas partie du comité de revue critique, les commentaires réalisés ont été soit intégrés dans l'étude, soit une réponse argumentée a été fournie. Le détail des commentaires réalisés et des réponses apportées est annexé au rapport méthodologique.

Commentaires clés et conclusions

Commentaires clés

Type de revue critique
Dans le cadre de cette étude, la revue critique a été effectuée par un unique expert externe.
La norme ISO 14044 (chapitre 6) indique « Afin de limiter les malentendus possibles ou les effets négatifs sur les parties intéressées extérieures, un comité de parties intéressées doit réaliser des revues critiques sur

Deloitte.

les ACV lorsque les résultats sont destinés à être utilisés à l'appui d'une affirmation comparative destinée à être divulguée au public. ».
Bien que cette étude ne soit pas destinée « à être utilisée à l'appui d'une affirmation comparative destinée à être divulguée au public », il aurait été intéressant, comme le recommande l'ISO 14044, de constituer un comité d'au moins 3 experts représentatifs des parties intéressées pour réaliser la revue critique.
La réalisation d'une revue critique par un comité d'experts représentatifs des parties intéressées aurait permis de recueillir des avis représentatifs des différentes filières étudiées, qui ont chacune leurs spécificités, et ainsi d'accroitre la robustesse de l'étude.

Filières étudiées
L'étude porte sur 8 filières de recyclage. Quatre autres filières (ou sous-filières) sont identifiées comme importantes, mais moins prioritaires : le plomb, le PVC, le verre plat, les solvants. Ces filières seront étudiées dans un second temps.
Certaines filières ne sont cependant pas étudiées dans cette étude : les filières bois (énergie et matière), les plastiques autres que PEhd et PET ou une grande partie de la filière textile. Ceci constitue une limite de l'étude. Ce point est bien rappelé dans le chapitre « Limites de l'étude » du rapport méthodologique.

Indicateurs environnementaux
A ce stade, seuls deux indicateurs ont été quantifiés : le potentiel de réchauffement climatique et la consommation d'énergie primaire totale (demande cumulée en énergie).
Ce nombre d'indicateurs n'est pas conforme aux normes ISO 14040 et 14044, dans la mesure où compte tenu des filières étudiées ces deux indicateurs ne reflètent pas l'ensemble des enjeux environnementaux associés au recyclage.

Analyses de sensibilité des résultats
Le chapitre V.5.2 présente pour chacune des filières étudiées les différents paramètres sensibles identifiés grâce au logiciel RangeLCA.
Trois analyses de sensibilité sont détaillées dans le rapport méthodologique sur les paramètres qui ont le plus d'influence sur les résultats totaux associés aux 8 filières de recyclage étudiées.
Ce choix est compatible avec l'objectif de l'étude qui est de réaliser le bilan national des filières de recyclage, de permettre d'identifier les principaux contributeurs de ce bilan et les leviers d'amélioration du bilan.
La vision présentée est cependant biaisée par le nombre restreint d'indicateurs sélectionnés (cf. remarque précédente). En effet il est très probable qu'un élargissement du nombre d'indicateurs aurait conduit à identifier des filières plus ou moins contributrices en fonction des indicateurs environnementaux.

Conclusion

Le rapport méthodologique de l'évaluation environnementale du recyclage en France a été sensiblement amélioré au cours des quatorze mois de processus de revue critique et des échanges en lien avec le bilan national du recyclage réalisé en parallèle par l'ADEME.
Le rapport final daté du 20 avril 2017 est plus complet, plus précis et plus transparent que la version initiale.
Les limites de l'étude sont clairement indiquées dans un chapitre dédié du rapport méthodologique.
L'implémentation des modèles développés pour chaque filière de recyclage dans un outil (en cours de développement) permettra aux adhérents de FEDEREC d'évaluer leurs filières avec un périmètre homogène et leur permettra également de mettre à jour les bilans calculés (en fonction des données du modèle qu'ils auront la possibilité de mettre à jour dans l'outil).

A ce stade la principale limite qui rend cette étude non conforme aux normes de l'ACV ISO 14040 et 14044 :2006 est le nombre d'indicateurs sélectionnés qui ne reflètent pas l'ensemble des enjeux environnementaux associés au recyclage.

Deloitte.

Il est bien précisé que cette étude constitue une première étape d'un projet global mené par FEDEREC et visant à réaliser le bilan environnemental du recyclage selon la méthode d'analyse de cycle de vie pour les filières de recyclage les plus représentatives du marché français. Il est également indiqué que le nombre de filières étudiées ainsi que le nombre d'indicateurs environnementaux pourront évoluer progressivement au cours des prochaines années.

Dans cette perspective, il est recommandé à FEDEREC de porter une attention particulière :

- à l'intégration d'autres indicateurs environnementaux de façon à refléter l'ensemble des enjeux environnementaux associés au recyclage ;
- à l'association d'experts des différentes filières de recyclage étudiées de façon à accroitre la robustesse de l'étude et le consensus autour des résultats ;
- à l'évaluation d'autres filières de recyclage, en plus des 8 évaluées dans cette étude.

20 avril 2017

Augustin Chanoine
Deloitte

Véronique Monier
Deloitte

Annexe 16 : Commentaires de la revue critique réalisée par Deloitte

Type de commentaire :

- e : editorial
- g : general
- td : technical - data/calculations
- tm : technical – methodology
- tr : technical -results/interpretation
- : other

Importance

- +++ very important
- ++ important
- + moderate importance

#	Version du rapport d'étude	Page	Chapitre / paragraphe / figure	Type de commentaire	Importance	Commentaire de revue critique	Réponse du praticien	Commentaire additionnel	Réponse du praticien
1	19/02/2016	5	I.1	e	+	Dans le contexte, en plus des objectifs que s'est fixé la France, il pourrait être intéressant de mentionner également le paquet "économie circulaire" de la Commission Européenne et les objectifs de recyclage par matériau qui pourraient être fixés.	éléments de contexte ajoutés		
2	19/02/2016	5	I.1	e	+	Préciser la phrase sur les objectifs que s'est fixée la France dans la LTECV "de réduire de 50% la quantité de déchets envoyés en stockage en 2025", le texte précise qu'il s'agit de de "déchets non dangereux non inertes" et que l'objectif de réduction est "par rapport à 2010"	information ajoutée		
3	19/02/2016	5	I.1	e	+	Note de bas de page 1 : préciser la date de la version du texte pris en compte	la loi *n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte* est maintenant publiée au JO. Les objectifs ont été reformulés		
4	19/02/2016	5	I.1	g	++	Il pourrait être intéressant pour le lecteur d'avoir dans ce chapitre introductif, les travaux qui ont déjà été faits en terme d'évaluation environnementale des filières de recyclage. Cette remarque est également en lien avec les objectifs du projet (chapitre II.1) parmi lesquels figure un besoin de mise à jour du bilan des filières. A placer avant "Par ce projet, FEDEREC rejoint l'engagement 265 du Grenelle de l'environnement […]"	description des travaux réalisés ajoutée		

5	19/02/2016	5	I.1	e	+	"Par ce projet, FEDEREC rejoint l'engagement 265 du Grenelle de l'environnement et continue d'améliorer l'état des connaissances des impacts environnementaux des différents modes de gestion des déchets et de recyclage" Cette phrase mériterait d'être reformulée dans la mesure où ce projet concerne l'évaluation de certains procédés de recyclage uniquement et non pas différents modes de gestion des déchets. La reformulation suivante pourrait être faite "Par ce projet, FEDEREC rejoint l'engagement 265 du Grenelle de l'environnement et continue d'améliorer l'état des connaissances des impacts environnementaux du recyclage des déchets."	phrase reformulée		
6	19/02/2016	NA	NA	g	++	Il pourrait être intéressant pour le lecteur d'avoir un chapitre synthétique dédié aux principales sources de données utilisées. Pour les données d'activités, ce chapitre présenterait le fait que plusieurs sources de données ont été utilisées : données d'études précédentes, mais également données obtenues spécifiquement auprès d'acteurs des filières Pour les ICV : données des fédérations pour certaines filières et données Ecoinvent v2.2 principalement. Par ailleurs, il faudrait préciser dans ce paragraphe pourquoi avoir choisi d'utiliser Ecoinvent v2.2 plutôt qu'Ecoinvent v3. Ce chapitre pourrait être ajouté au chapitre II. "Objectif et champ de l'étude"	Ce chapitre a été ajouté entre le sous-chapitre "champs géographique et temporel" et le sous-chapitre "critère de coupure". + Précision ajoutée dans ce chapitre : *La base de données Ecoinvent v2.2 au lieu de la version 3 a été choisie pour des raisons techniques au démarrage de cette étude (implémentation de la base de données dans RangeLCA non disponible au démarrage du projet*)		
7	19/02/2016	9	II.1	e	+	Il est écrit "L'intérêt de ce projet est également de rendre le bilan reproductible dans le temps [...]." En lien avec le commentaire n°4, il serait intéressant pour le lecteur de comprendre quel est le besoin de mise à jour et en quoi cette étude va rendre le bilan reproductible ou va faciliter la mise à jour des résultats.	éléments ajoutés dans ce chapitre		
8	19/02/2016	9	II.1	e	+	Il est écrit "L'intérêt de ce projet est également de [...] permettre de comprendre les contributions importantes de ce bilan". Cette phrase mériterait d'être reformulée, par exemple "permettre d'identifier les principaux contributeurs de ce bilan et les leviers d'amélioration du bilan"	phrase reformulée		

9	19/02/2016	9	II.1	g	+	Il est écrit que l'une des étapes du projet est de "Réaliser un outil web, pour rendre les calculs spécifiques pour chacune des filières de recyclage étudiées et permettre la reproductibilité de ces bilans" Il serait intéressant de reformuler/préciser cette phrase. Comment l'outil va t-il rendre les calculs spécifiques ? L'outil web est-il destiné à permettre aux utilisateurs de consulter les résultats uniquement ou de mettre à jour les calculs également ?	des précisions ont été apportées à la suite de cette phrase		
10	19/02/2016	10	II.4	tm	++	Outre les 8 filières sélectionnées, "Quatre autres filières (ou sous-filières) sont identifiées comme importantes […] le plomb, le PVC, le verre plat, les solvants" Préciser pour ces filières, ainsi que pour les filières bois, pour quelles raisons ces 4 autres filières sont importantes (volume collecté, présence de la filière en France).	justifications ajoutées : *Quatre autres filières (ou sous-filières) sont identifiées comme importantes mais dans un second temps et ne sont donc pas incluses dans ce premier projet :* *• le plomb pour des questions de tonnages élevés,* *• le PVC, et le verre plat qui sont des filières en développement,* *• les solvants pour l'intérêt environnemental fort de leur régénération à priori (impact 2 à 20 fois inférieur à celui d'un solvant vierge).* *Les filières bois (matière et énergie) sont également identifiées comme importantes (en matière de tonnages recyclés), cependant les risques de ne pas aboutir à un résultat satisfaisant pour toutes les parties prenantes dans les temps sont trop grands, ces filières ne sont donc pas retenues.*		
11	19/02/2016	10	II.4	e	++	Comme cela est détaillé par la suite, dans les filières sélectionnées, il ne s'agit pas : - du verre mais du verre d'emballage (d'autant plus que le verre plat est identifié comme une filière à part), - du plastique mais du PET et du PEHD d'emballage.	modifié		

						Dès ce chapitre, ce point mériterait d'être précisé dans l'intitulé des filières choisies par exemple.			
12	19/02/2016	11	II.6	tm	+++	En lien avec la description des frontières du système et la description des différentes filières étudiées, il semble important de bien préciser dans le rapport sur quels flux vont être établis les bilans GES et énergie. En particulier, pour chaque filière : à quel flux de déchets on s'intéresse, et pour la production de quel flux de matériaux intermédiaires. Et ce en tenant compte du fait qu'en fonction du matériau intermédiaire choisi, plusieurs débouchés existent (par exemple pour les déchets d'emballages PET plusieurs débouchés existent : les emballages PET, mais également la filière textile. De la même façon, le calcin peut être utilisé pour fabriquer divers matériaux intermédiaires : du verre d'emballage, mais également de la laine de verre par exemple.)	Il me semble que le tableau II-1 répond à cette question. L'étude recherche a atteindre un niveau de transformation équivalent entre le recyclé et le vierge. A partir du moment ou le niveau de transformation est identique, on considère que les étapes de transformation suivantes sont identiques pour le vierge et le recyclé. Il n'est donc pas nécessaire de les modéliser. Des éléments plus précis ont été ajoutés dans ce chapitre		
13	19/02/2016	11	Tableau II-1	tm	++	En lien avec le commentaire précédent, les filières verre et plastiques sélectionnées sont les filières emballages. Or il est indiqué dans le chapitre II.4 "La logique de filière se définit ici par le critère de sortie : la matière première issue du recyclage." Pour les filières verre et plastiques, on devrait donc voir apparaitre calcin ou verre fondu pour emballages et paillettes ou granulés plastiques pour emballages. Il pourrait être intéressant de préciser que le bilan réalisé porte sur la collecte et le traitement des emballages en verre / en plastique qui permettent de produire les matériaux intermédiaires d'emballages en verre / plastique. En particulier pour les plastiques, dans la mesure où une grande partie des emballages plastiques sont recyclés au travers d'autres applications que les emballages.	Le matériau à recyclé est précisé dans la colonne "Matériaux à recycler". Concernant le plastique, il a été précisé que le matériau à recyclé est un emballage en PET ou un emballage en PEhd. Les matériaux intermédiaires obtenus sont: - les granulés en PET amorphe: utilisés donc aussi bien pour la production de bouteilles (avec une étape de transformation complémentaire pour obtenir des bottle grade que pour d'autres applications comme la filière textile) - les granulés PEhd utilisés dans diverses applications		

							Note: la matière première vierge évitée doit être du PET amorphe et non du PET bottle grade comme cela est fait dans l'étude		
14	19/02/2016	11	Tableau II-1	e	+	Filière papiers cartons Ajouter le matériau intermédiaire correspondant au carton (cf figure III-4)	ajouté		
15	19/02/2016	NA	NA	g	+	A plusieurs endroits, il est fait référence au fait que le projet semble comporter plusieurs étapes (II.4 p10 "Quatre autres filières [...] ne sont donc pas incluses dans ce premier projet" , II.7 p12 "Dans le cadre de cette première étape d'un projet ayant une ambition plus grande (en nombre de filières étudiées et en nombre d'indicateurs étudiés")). Il serait intéressant de présenter une vue globale du projet en début de rapport.	cette vision globale a été ajoutée dans le chapitre I.1. : FEDEREC a pour ambition de réaliser le bilan environnemental du recyclage selon la méthode d'analyse de cycle de vie pour les filières de recyclage les plus représentatives du marché français. Le choix de l'ACV permet d'évaluer ces filières aux travers de plusieurs indicateurs environnementaux et donc de dresser un profil le plus exhaustif possible. Ce rapport constitue une première étape de ce projet global. Le nombre de filières étudiées ainsi que le nombre d'indicateurs environnementaux pourront évoluer progressivement au cours des prochaines années.		
16	19/02/2016	13	II.8	e	+	Sur la figure, sortir "matériau à recycler / déchets" des frontières du système dans la mesure où ces déchets arrivent sans impact.	fait		

17	19/02/2016	13	II.8	tm	+++	L'exclusion des frontières du système du traitement des résidus indésirables mériterait d'être justifiée. S'il s'agit de déchets (au sens juridique) qu'il faut traiter pour produire la matière recyclée, ceux-ci devraient être inclus. Si ces résidus font l'objet d'une sortie du statut de déchets, cela pourrait justifier leur exclusion.	Ces déchets ne font pas l'objet de sortie de statut du déchet. Nous les avons exclus car l'information sur leur type et leur destination étaient difficiles à obtenir. Nous proposons de les intégrer dans le scope et de considérer un scénario de fin de vie identique au scénario en l'absence de filière de recyclage. Une précision a été ajouté au chapitre II.8: Le scénario de fin de vie des résidus est considéré comme identique avec ou en l'absence de filière de recyclage.		
18	19/02/2016	13	II.8	tm	+	Préciser ce que sont les "Autres matières premières" utilisées dans le procédé de transformation, et justifier leur exclusion du système.	à la deuxième lecture de ce schéma cette information ne semble pas pertinente --> information supprimée du schéma		
19	19/02/2016	13	II.8	tm	+++	Le traitement des résidus (pertes liées au procédé) est inclus dans les frontières du système. Or la nature de ces résidus et le traitement qui leur est appliqué n'est pas précisé dans la description de chaque filière. Ces informations devraient être ajoutées dans la description de chaque filière.	Une précision est ajoutée dans le chapitre II.8 : *La nature des pertes issues du procédé de production de matières premières issues du recyclage sont identique à la matière traitée sauf indication contraire dans le chapitre sur la description des données utilisées (cf. chapitre III.3).* *La nature des pertes et plus globalement des déchets générés par le procédé de transformation sont intégrés dans l'inventaire de cycle de vie utilisé*	Ajouter que le traitement est intégré dans l'ICV également ? "*La nature des pertes et plus globalement des déchets générés par le procédé de transformation,* ***ainsi que leur traitement*** *sont intégrés dans l'inventaire de cycle de vie utilisé"*	précision ajoutée

20	19/02/2016	14	II.9	tm	+++	Ce chapitre mériterait d'être reformulé. Il s'agit d'établir la formule de calcul pour évaluer le bilan de chaque filière de recyclage en France. Le recyclage remplit deux fonctions : - c'est un mode de traitement des déchets, - c'est un mode de production de matière secondaire. Les impacts d'une filière de recyclage se calculent donc de la façon suivante : [écrire la formule utilisée] Il n'est pas nécessaire d'introduire les formules du BPX-30-323-0, notamment car les formules s'appliquent à l'évaluation environnementale de produits et non de filières. De plus le BPX-30-323-0 recommande pour le calcul d'impacts de produits : - boucles fermées imbriquées pour les papiers graphiques, hygiène et industriels - boucle ouverte pour l'acier, l'aluminium, le verre, les emballages en papier-carton, les plastiques	les modifications ont été apportées à ce chapitre. La formule est maintenant spécifique aux cas d'études présentés dans ce rapport	La phrase "Le système modélisé dans cette étude correspond au recyclage en boucle fermée sauf pour le textile qui est en boucle ouverte" devrait être supprimée, cf commentaire initial.	phrase supprimée
21	19/02/2016	15	II.10	td	++	Dans le texte, il est indiqué que "La production et la transformation des matières premières issues du recyclage est fonction de la destination des déchets collectés". Dans le tableau II-3, il est indiqué que le champ géographique présenté concerne "la transformation de la MPR". Préciser quel mix est utilisé pour la production des MPR.	Précisions ajoutées pour la production de MPR et la transformation.	Sauf erreur de ma part, le tableau II-3 concerne toujours uniquement la transformation des MPR. Indiquer que de façon générale, la production des MPR se fait en France (avec un mix FR), sauf textile, papier-carton et plastiques ?	le tableau a été complété. Effectivement, le scope est plus large pour le textile que la France. Concernant le papier-carton, les MPR sont les balles issues du tri (étape de tri et production de MPR confondues). Concernant le plastique les étapes de production des MPR et de transformation sont confondues.

22	19/02/2016	15	tableau II-3	tm	++	De façon générale, il faudrait préciser à quoi correspond la représentativité géographique indiquée. Les représentativités indiquées ne correspondent pas aux destinations indiquées dans les tableaux indiquant où les flux sont transformés pour chaque matériau. Par exemple pour les Métaux ferreux : Selon les données sur la répartition des volumes vendus par destination présentées dans le chapitre VI.1.1, 4% des volumes sont hors UE. Pourquoi avoir indiqué une représentativité Monde pour les métaux ferreux ?	c'est une erreur, c'est une représentativité Europe (ICV Worldsteel) Précision ajoutée en dessous du tableau : *Note : La représentativité géographique est souvent dépendante de l'inventaire de cycle de vie utilisé. Dans le cas des inventaires issus de la base de données Ecoinvent, il est possible, à minima, d'adapter le mix électrique à la situation étudiée. Pour les autres inventaires (issus des fédérations), il n'est pas possible de désagréger les données et modifier le mix électrique.*	Préciser pour quels inventaires de transformation (issus des fédérations) le mix n'a pas pu être adapté.	Précisions ajoutées. c'est fait pour le recyclé et le vierge et note de bas de page
23	19/02/2016	17	III.2.1	e	+	Il est écrit "Note : Dans cette étude, le recyclage des métaux (ferreux et non ferreux) des VHU est pris en compte. Les plastiques et le verre ne font pas partie du périmètre de l'étude" Préciser "Les plastiques autres que PET et PEHD et le verre plat ne font pas partie du périmètre de l'étude"	information ajoutée		
24	19/02/2016	18	III.2.1	tm	++	Le schéma sur les exutoires des différentes fractions des VHU présente une synthèse des exutoires de tous les matériaux composant les VHU (métaux, plastiques, verre et autres). Dans la mesure où dans cette étude, on ne s'intéresse qu'aux métaux et que les autres matériaux ne sont pas pris en compte, il semble qu'il pourrait être pertinent de présenter un schéma présentant ce qui est pris en compte pour l'évaluation des filières métaux.	schéma ajouté cependant un taux de pertes global est considéré pour les VHU et appliqué à chacun des matériaux sans différenciation par matériau.		
25	19/02/2016	18	III.2.1	tm	++	Le tableau p.18 présentent les voies de traitement pour les métaux non ferreux. Quelles hypothèses ont été prises pour les deux filières étudiées dans cette étude (aluminium et cuivre) ?	l'hypothèse utilisée à été ajoutée au schéma spécifique aux métaux ferreux et non ferreux		
26	19/02/2016	19	III.2.2	tm	++	Ce paragraphe présente la destination des DEEE par mode de traitement. Il serait intéressant de préciser quelles sont les parts de métaux ferreux, de cuivre et d'aluminium considérées pour les DEEE ? Quelles sont les proportions de métaux	- composition ajoutée -La proportion est définie par les tonnages fournis par FEDEREC, il n'est donc pas nécessaire de le spécifier ici.		

						ferreux, de cuivre et d'aluminium qui partent en recyclage ?			
27	19/02/2016	19	III.2.2	e	+	La note en dessous du tableau doit être modifiée, elle concerne les VHU et non les DEEE.	note modifiée		
28	19/02/2016	21	Figure III-2	e	+	Il est noté en collecte "métaux non ferreux issus des ménages et activités économiques", préciser qu'il ne s'agit que de l'aluminium et non de tous les métaux non ferreux	modifié dans le schéma		
29	19/02/2016	NA	NA	g / td	++	De façon générale, dans la description des données d'activité utilisées, il est parfois indiqué une plage de valeurs. Il faudrait indiqué la valeur finalement retenue pour l'étude. Par exemple : Tableau III-2, p23 : 40 à 60 kWh/t pour le tri Tableau III-7, p31 : 40 à 60 kWh/t pour le tri Tableau III-12, p39 : 40 à 60 kWh/t pour le tri III.3.6.2, p45 : 40 à 60 kWh/t pour le tri III.3.6.2, p45 : 2 à 15 kWh/t de textile entrants pour la découpe des textiles	les valeurs retenues pour les résultats moyens ont été ajoutée : 50 kWh/t pour le tri et 6.5 kWh/t pour la découpe des textiles		
30	19/02/2016	24	Tableau III-2	tm	++	Tri des DEEE Dans la mesure où les DEEE ne sont pas composés à 100% de métaux, quelle allocation des impacts de la massification des DEEE aux filières métaux a été réalisée ?	Les impacts de la massification des DEEE sont alloués massiquement à la proportion de métaux ferreux et non ferreux (aluminium et cuivre) dans ce flux (précision ajoutée dans le rapport)		
31	19/02/2016	24	Tableaux III-2 et III-3	td	+	Dans ces deux tableaux, pour les infrastructures, il faudrait préciser que les capacités indiquées sont des capacités annuelles	précision ajoutée		
32	19/02/2016	24	III.3.1.2	tm	++	Il est indiqué : "Les impacts du démantèlement et de la dépollution des VHU et des DEEE ne sont pas alloués aux flux recyclés". Ce choix mériterait d'être justifié. Quelles sont les raisons de ce choix méthodologique ? S'il s'agit de raisons telles que difficulté méthodologique ou disponibilité des données, l'exclusion de ces étapes devrait figurer dans les limites de l'étude. Par ailleurs les schémas de présentation des filières (figures III-1, III-2 et III-3) devraient être ajustés. En effet il est indiqué que les schémas	- L'étape de dépollution ne conditionne pas le traitement aval des VHU ou DEEE dépollués. Il est considéré que cette étape aurait lieu sans recyclage (justification ajoutée dans le rapport) - Schémas adaptés		

						représentent les filières telles que modélisées, les étapes non modélisées devraient donc être clairement identifiées sur les schémas.			
33	19/02/2016	24	Tableau III-3	e	+	L'inventaire d'infrastructure indiqué pour le broyage ne semble pas approprié (shredding, electrical and electronic scrap, GLO, Ecoinvent v2.2)	en effet c'est une approximation : meilleur donnée disponible dans la BDD ecoinvent v2.2. Nous avons ajouté cette précision dans le rapport: *"inventaire utilisé pour approximer les infrastructures de tous types de broyage"*		
34	19/02/2016	25	Tableau III-4	tm	+++	Le tableau donne les taux de résidus pour les 3 filières de métaux. D'après le schéma présenté au chapitre II.8, le traitement des résidus est inclus dans les frontières du système. Il faudrait préciser dans le rapport le traitement appliqué à ces résidus.	le traitement n'était pas modélisé. Il est maintenant ajouté au modèle ACV. Les informations sur les pertes pour les VHU DEEE sont ajoutées.		
35	19/02/2016	26	III.3.1.2	td	++	Transformation des matières premières issues du recyclage > Métaux ferreux. Détailler comment est établie la formule de calcul des impacts de la transformation de la matière première recyclée.	Nous avons ajouté ceci: *Cette formule est établie dans le but de déterminer les impacts de la transformation de la ferraille. En effet, l'inventaire fourni par Worldsteel est construit de manière à permettre d'adapter la part de recyclé dans l'acier vierge et non de donner directement les impacts de la transformation de la ferraille.*	Préciser à quoi correspond le "-0,9" qui est dans la formule	La valeur de 0.9 correspond au taux d'acier vierge dans l'inventaire « Steel, Foil Cold rolled coil ». Élément ajouté dans le rapport

36	19/02/2016	29	III.3.1.5	td	+++	Allocation des impacts du transport des flux recyclés issus des DEEE "Le transport vers la valorisation énergétique et l'élimination est alloué massiquement aux différentes fractions recyclés, réemployées et réutilisées" La description de la répartition massiquement des différentes fractions de DEEE ne semble pas être présentée dans le rapport.	Les voies de traitement sont ajoutées (données du BNR). Il n'y a pas de détail par fraction dans les sources identifiées dans le chapitre III.2.2. Federec connait les tonnages par matière (ferrailles, non ferreux issus des DEEE) et non par flux (DEEE totaux). Il n'est donc pas nécessaire de connaitre la répartition massique des différentes fractions de DEEE pour réaliser le bilan environnemental.		
37	19/02/2016	30	Figure III-4	e	+	Il semble que dans la modélisation, les papiers-cartons issus des ménages sont envoyés dans un centre de tri et les papiers-cartons issus des activités économiques sont envoyés dans un autre centre de tri. La figure devrait être adaptée pour refléter cela.	adaptation faite		
38	19/02/2016	30	Figure III-4	tm	++	De façon générale, il pourrait être intéressant pour le lecteur de comprendre ce qui a conduit au choix de tel ou tel matériaux intermédiaires. En particulier, justifier pourquoi pour les cartons, le matériau intermédiaire est une bobine de PPO ou du carton plat, alors que pour les papiers, le matériau intermédiaire est de la pâte à papier.	la méthode de sélection des matériaux intermédiaires a été ajoutée au chapitre II.6		
39	19/02/2016	31	III.3.2.2	tm	+	Transformation des MPR > Papier L'inventaire utilisé est celui de la production de pâte à papier recyclée pour ramette. Cet inventaire s'applique à la fois aux journaux/magazines et aux belles et moyennes sortes. Il serait intéressant d'avoir votre analyse des limites qu'il y a à utiliser l'inventaire de Pâte à papier pour ramette, ainsi que du rendement de ce procédé dans le cadre de cette étude.	La limite est exposée dans le chapitre sur les limites de l'étude (chapitre IV) Nous avons ajouté l'avertissement suivant : *Note : Cet inventaire est relatif au recyclage de papier pour une application en ramette de papier. Il est utilisé, dans cette étude, pour modéliser les impacts à la fois des belles et moyennes sortes que des journaux et magazines.*		
40	19/02/2016	32	III.3.2.2	tm	+	Transformation des MPR > Carton Deux éléments semblent se contredire. Dans le premier paragraphe, il est écrit "Le mix électrique est remplacé par le mix français", puis dans les tableaux présentant les inventaires : "Mix électrique adapté aux zones géographiques dans lesquelles les matières premières issues du recyclage sont transformées". Quelle approche a été retenue ?	l'approche précisée dans le tableau est celle retenue. L'explication dans le paragraphe a été modifiée		

41	19/02/2016	32	III.3.2.2	td	++	Transformation des MPR > Carton Il est indiqué que 2 inventaires sont utilisés pour la transformation de carton issu de MPR : "Corrugated board base paper, Testliner" et "Corrugated board base paper, Wellenstoff". Dans quelles proportions ces inventaires ont-ils utilisés et pourquoi ?	les proportions ont été ajoutées: 50/50 Le Testiner est la partie externe du carton, le Wellenstoff est la partie interne (ondulée) du carton		
42	19/02/2016	32	III.3.2.2	td	++	Transformation des MPR > Carton Il est indiqué que "La masse de déchets de cartons nécessaire pour la production d'une tonne de carton recyclé est comprise entre 1.073 et 1.084 tonnes", quelle est la donnée retenue pour la modélisation ?	Donnée retenue : 1.0785 t (ajouté dans le rapport)		
43	19/02/2016	35	Tableau III-9	e	+	Il semble qu'il s'agisse d'une erreur, un "transport du particulier" est mentionné pour la collecte du verre issu des activités économiques.	transport du particulier supprimé		
44	19/02/2016	35	III.3.3.2	tm	+	Massification - Tri - Préparation Les 2 phrases suivantes semblent contradictoires : "Les impacts du centre de regroupement du verre sont négligés." et "Le transport amont lié à la collecte du verre est supprimé de cet inventaire pour ne modéliser que les impacts de l'usine." Les impacts du centre de regroupement sont-ils inclus? (si oui, indiquer l'inventaire utilisé)	Cette phrase s'applique au paragraphe suivant. Elle a été déplacée. Le schéma de la filière verre est adapté pour refléter la modélisation		
45	19/02/2016	35	III.3.3.2	td	++	Production des matières premières issues du recyclage (MPR) La quantité de déchets de verre nécessaire à la production d'une tonne de MPR n'est pas indiquée. (données de l'inventaire : 1,08t de déchets de verre pour produire 1t de MPR)	information ajoutée: *Le taux de refus en sortie de production des MPR est de 8% (donnée issue du procédé Ecoinvent de production de calcin).*		
46	19/02/2016	36	III.3.3.2	td	++	Transformation des matières premières issues du recyclage et matières premières vierges évitées Il serait intéressant pour le lecteur d'avoir une synthèse des données d'activités finalement utilisées : 1t de calcin évite : - xt de MP vierges - y émissions de décarbonatation - z consommation énergétique	ces éléments ont été ajoutés		

47	19/02/2016	36	III.3.3.2	td	++	Transformation des matières premières issues du recyclage et matières premières vierges évitées En ce qui concerne les types d'énergie utilisées dans les fours verriers, il pourrait être intéressant de baser les hypothèses sur les inventaires "packaging glass" d'ecoinvent (utilisation de heavy et de light fuel oil, de natural gas et d'electricity)	dans le rapport Ecoinvent n°11 page 20 (25 du PDF), il est spécifié : Energy : For the mix of fuel and gas, due to the information that "in recent decades the predominant fuel (...) has been fuel oil" (European Commission (2000): 72) and a lack of more specific information about the present situation, a mix of 50% fuel oil (light fuel oil and heavy fuel oil, each from regional storage, at equal parts) and 50% natural gas (as gas, high pressure, at customer) is used. Nous proposons donc de justifier notre hypothèse ainsi: Hypothèse basée sur le rapport « European Commission (2000) Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) - Reference Document on Best Available Techniques in the Glass Manufacturing Industry. Institute for Prospective Technological Studies, Sevilla » dans lequel il est spécifié que la source d'énergie la plus utilisée, durant les dernières décennies, est le fioul.		
48	19/02/2016	38	Figure III-4	e	+	Erreur sur l'un des intitulés "granulés de PET", qui devrait être un "Paillettes de PET"	Schéma adapté		
49	19/02/2016	42	Figure III-7	tm	+	Il faudrait ajouter dans le rapport les parts respectives des déchets inertes qui proviennent des ménages d'une part et des activités économiques d'autre part. (Cette information n'est pas présente dans l'annexe 11)	le détail entre les déchets ménagers et les déchets des professionnel n'est pas connu. Le schéma a été adapté		

50	19/02/2016	42	III.3.5.1	tm	+	"Dans la filière granulats, les matières premières recyclées ne sont pas transformées. Elles sont directement utilisées en technique routières" L'utilisation en technique routière est-elle le seul débouché des granulats? Cette hypothèse mériterait d'être justifiée.	la phrase est reformulée ainsi : *Dans la filière granulats, les matières premières recyclées ne sont pas transformées. Elles sont directement et majoritairement utilisées en technique routières, pour la réalisation de sous-couches ou de remblais. Néanmoins, le bâtiment est également un débouché, pour la réalisation de sous-couche d'ouvrages ou de parkings notamment. En effet, il est difficile de trouver d'autres débouchés en raison des seuils en certaines substances pour des applications dans le bâtiment (ex : taux de sulfate dans les granulats recyclés) ou en raison des prescriptions géotechniques contraignantes pour certains ouvrages (ex : remplacement des ballasts de chemin de fer).*		
51	19/02/2016	43	Tableau III-15	td	+	Il manque la description de la source [3] utilisée	description ajoutée		
52	19/02/2016	43	Tableau III-15	td	+	Pour l'ICV utilisé pour l'électricité, préciser la représentativité géographique utilisée (France théoriquement).	représentativité ajoutée		
53	19/02/2016	44	III.3.6.1	tr	+++	"La filière de recyclage des textiles est évaluée partiellement par la production de chiffons. Il existe d'autres filières de recyclage […]" Il serait plus aisé pour le lecteur d'avoir a minima un renvoi vers le chapitre présentant les différents exutoires des déchets textile et leur représentativité (VI.1.7). De façon générale il serait plus aisé pour le lecteur de comprendre les choix méthodologique qui ont été fait en intégrant les informations quantitatives sur les filières (VI.1 et annexe 11) dans la description de chaque filière.	Les données quantitatives ont été ajoutées pour chacune des filières présentées dans le chapitre III.3 Nous avons également justifié le choix de la filière chiffons: *Sur la totalité des TLC collectés en 2014, 9% ont été envoyés vers la découpe en chiffons. Le choix de cette filière ne s'est donc pas fait sur la représentativité de celle-ci mais sur la capacité à collecter de la donnée dans le temps imparti pour cette étude*		

54	19/02/2016	47	Tableau III-17	td	+	Comme indiqué dans le rapport, les taux de substitution dépendent des hypothèses prises sur les matériaux vierges substitués. Il serait plus pertinent de mettre les hypothèses de taux de substitution dans le tableau III-18, en regard des hypothèses sur les matériaux vierges substitués.	les matières premières vierges substituées sont ajoutées au tableau		
55	19/02/2016	47	Tableau III-17	tm	++	Les taux de substitution sont des hypothèses importantes de l'étude. Les sources utilisées pour les taux de substitution indiqués doivent être indiquées dans le rapport.	nous avons ajouté les éléments suivants: *Les taux de substitution considérés dans cette étude sont présentés dans le tableau suivant. Ces valeurs sont des hypothèses communément utilisées dans les études ACV. Elles ont été validées par les experts FEDEREC.*		
56	19/02/2016	47	Tableau III-17	tm	++	Pour les matériaux fibreux (papiers, cartons, textile), il serait intéressant de mentionner la dégradation des fibres lors du procédé de recyclage et la façon dont ce paramètre est intégré dans la modélisation (via le taux de substitution par exemple).	explications ajoutées: *Note : dans le cas des papiers et cartons, le procédé de recyclage entraine une dégradation de la fibre. En pratique, les fibres se cassent. Les fibres trop courtes sont évacuées à travers les pertes du procédé considéré. Pour le reste, on constate une dégradation des propriétés techniques du papier et carton. Cette dégradation est approchée via le taux de substitution*		
57	19/02/2016	48	Tableau III-18	tm	+++	Le choix des matériaux vierges substitués est une hypothèse forte avec une influence forte sur les résultats. Il serait nécessaire de justifier le choix des matières vierges choisies, notamment par rapport aux débouchés réels des matériaux intermédiaires, et également de mettre en lien avec les taux de substitution choisis.	une colonne dans le tableau III-18 a été ajoutée reprenant les matières premières vierges évitées. Des explications sont également ajoutées au chapitre II.6 sur le choix des matériaux intermédiaires et des matières premières vierge correspondant		

58	19/02/2016	48	Tableau III-18	tm	++	Une analyse critique des représentativités géographiques des ICV de matières vierges par rapport aux lieux d'utilisation des matériaux intermédiaires serait également intéressante.	élément qualitatif ajouté: *Note : la représentativité géographique des inventaires de matières vierges par rapport à la situation des matériaux intermédiaires issus du recyclage peut être évaluée sur base de la destination des volumes de MPR vendus (résumé au chapitre II.10 ou indiqué par filière au chapitre III.3). De manière générale, on peut dire que la qualité est bonne pour la comparaison avec les MPR transformées en France et en Europe et faible pour les MPR transformées hors d'Europe. C'est dernières représentent des volumes plus faibles.*		
59	19/02/2016	51	Tableau III-21	td	+++	Pour les fractions acier et aluminium envoyées en UIOM, le tableau mentionne le fait que la récupération de métaux dans les mâchefers est prise en compte. Comment cette récupération est-elle prise en compte ?	Cet aspect de la modélisation a été retiré puisqu'on évalue déjà la filière de recyclage dans son ensemble		
60	19/02/2016	53	IV.	tm	+++	D'autres limites de l'étude pourraient être ajoutées : l'incertitude autour des matières substituées et les taux de substitution (en fonction de votre analyse cf commentaire n°57), l'exclusion des indésirables	limite ajoutée: *Les taux de substitutions aux matières premières vierges sont des données communément utilisées en ACV. Elles ne relèvent pas de données mesurées.* Le taux de substitution a été ajouté au tableau V-2 "évaluation de la qualité des données d'activité utilisées"		
61	19/02/2016	55	Tableau V-2	e	+	Pour certaines cases, il manque l'évaluation de l'influence de la donnée sur les résultats	le tableau a été corrigé		
62	19/02/2016	57	VI.1	e	+++	Les données de ce chapitre mériteraient d'être présentées en amont, dans la mesure où elles expliquent certains choix méthodologiques (choix des mix énergétiques, hypothèses sur les transports notamment). Elles pourraient être intégrées dans la description de chacune des filières de recyclage (chapitre III.3). cf commentaire 53	la présentation des données a été intégrée dans la description de chacune des filières de recyclage (chapitre III.3)		

63	19/02/2016	57	VI.1.	g	+	Pour l'ensemble des filières est présentée la répartition des volumes vendus selon la destination. Il semble important de préciser sur quoi porte ce chiffre : volume de MPR, de matériaux intermédiaires ?	les données se situent pas toutes exactement aux mêmes niveaux (avant tri, sortie de vie, avant production de MPR), nous proposons d'intégrer les tonnages dans les schémas décrivant le filière telle que modélisée afin de permettre au lecteur d'avoir une meilleure compréhension des chiffres (cf. réponse au commentaire suivant)		
64	19/02/2016	NA	NA	NA	+++	Il serait intéressant d'ajouter un bilan massique pour chaque filière : quantités collectées, quantités en sortie de tri, quantités de MPR, quantités de matériaux secondaires	bilan ajouté au niveau de chaque schéma de filière		
65	19/02/2016	72	VI.5.	g	+	A la fin de chaque AS, il serait intéressant d'indiquer les % de variation des résultats, de façon à faciliter la lecture.	pourcentages ajoutés		
66	19/02/2016	75	VI.5.1	tm	++	Dans ce chapitre sont identifiés les différents paramètres sensibles pour chacune des filières, or les AS ne sont pas réalisées pour toutes les filières, ni pour tous les paramètres sensibles. Ce choix mériterait d'être justifié a minima. Les AS de l'ensemble des filières mériteraient d'être réalisées.	dans le paragraphe de présentation du tableau VI.1, nous avons précisé qu' *"une quantification chiffrée de la variation des résultats n'est pas systématiquement effectuée pour chacun des paramètres".*		
67	19/02/2016	76	VI.5.4	e	+	A la fin de l'AS, préciser que pour le papier "L'approche utilisée dans cette étude par rapport aux sources de données disponibles n'est pas conservative"	Il nous semble que cette conclusion est trop réductrice car nous ne sommes pas sur la même qualité d'inventaire. En effet, les inventaires de la Copacel sont issus de données collectées auprès d'un grand nombre de producteurs de papier (recyclés ou non) pour une représentativité temporelle meilleure (puisque plus récente) en comparaison avec l'inventaire d'écoinvent qui se base sur les données moyennes de deux producteurs en Europe obtenues en 2000.	Modifier la phrase pour ajouter les précisions que vous mentionnez	éléments ajoutés
68	19/02/2016	78	Annexe 1	e	+	Cette annexe peut être supprimée (cf commentaire n°20)	fait		

69	19/02/2016	82	Annexe 3	td	++	Transport en camion Il est indiqué "Pour calculer la consommation réelle, on considère que deux tiers est fixe et qu'un tiers est fonction de la masse effectivement transportée par le camion." Quel taux de chargement est supposé pour les camions ?	Information ajoutée : *Le taux de chargement des camions modélisés dans cette étude est défini à 100% de la charge utile.*		
70	19/02/2016	82	Annexe 3	td	++	Transport en camion Il serait intéressant de préciser la façon dont est pris en compte dans la modélisation "les voies empruntées par les camions".	éléments ajoutés: *La méthode COPERT 4 établit des consommations de diesel par kilomètre parcouru en fonction des voies empruntées. Une différenciation est également faite sur le lieu d'émission (densité de population faible pour les zones rurales et voies rapides et densité forte pour les zones urbaines)*		
71	19/02/2016	84	Annexe 3	td	++	Transport en bateau Préciser la source utilisée pour la consommation de carburant par container (0.036 kg fioul /km/EVP) Préciser la quantité de fret par container.	éléments ajoutés		
72	19/02/2016	86	Annexe 4	td	++	Incinération > Valorisation énergétique Préciser les rendements et les taux de débouchés électrique et thermique	rendements et taux de débouchés ajoutés		
73	19/02/2016	NA	NA	g	++	Il semble manquer les distances de collecte modélisées pour l'ensemble des filières (hors collecte en PAP), sauf pour les filières textiles et gravats.	les distances étant considérées comme identiques entre la filière de recyclage et la filière fin de vie hors recyclage, les données n'ont pas été collectées puisqu'elles s'annulent dans le calcul		
74	19/02/2016	88	Annexe 5	td	++	Il semble manquer les données utilisées pour la modélisation la collecte sélective en AV.	Description des données ajoutée		
75	19/02/2016	101	Annexe 12	e	+	Résultats totaux – Consommation d'énergie cumulée totale Erreur dans l'unité indiquée (TWh au lieu de GWh)	unité modifiée		
76	19/02/2016	NA	NA	g	+	Une annexe présentant les facteurs de caractérisation utilisés pour les deux indicateurs quantifiés dans cette étude pourrait être ajoutée.	annexe ajoutée		
77	19/02/2016	NA	NA	g	+	Un chapitre de conclusion pourrait être ajouté avec les principaux résultats et une synthèse des principales limites identifiées.	Un chapitre de conclusion a été ajouté. Les limites, déjà exposées avant la présentation des résultats		

							sont descendues au niveau de ce chapitre de conclusions		
78	14/06/2016	33	III.3.1.3	tm	+++	2 paragraphes ont été ajoutés : "Pertes et destination des pertes issues des VHU" "Pertes et destination des pertes issues des DEEE" : les pertes de tous les matériaux (PP, PU, caoutchouc, etc.) et leurs traitements sont alloués aux métaux ? Si oui, avec quelle allocation ? Si non, pourquoi les mettre ?	c'est une allocation massique qui est effectuée. La précision est ajoutée		
79	14/06/2016	103	VI.1	tm	+	Dans la description des filières incluses il est écrit "Filière des textiles : Vêtements, linge de maison et textiles issus de blanchisseries" Il faudrait probablement écrire "Filière des textiles : Vêtements, linge et textiles issus des ménages et des blanchisseries recyclés dans la filière d'essuyage"	éléments ajoutés		
80	14/06/2016	103	VI.1	tr	++	Dans les principaux enseignements de l'évaluation pour l'indicateur changement climatique, il est indiqué la répartition des contributions entre métaux ferreux, aluminium et autres. Corriger lors de la mise à jour car le total ne fait pas 100%.	corrigé		
81	30/01/2017		Synthèse	g	++	La synthèse mentionne : "Le choix de l'ACV permet d'évaluer ces filières au travers de plusieurs indicateurs environnementaux et donc de dresser un profil le plus exhaustif possible. Ce rapport constitue une première étape de ce projet global. Le nombre de filières étudiées ainsi que le nombre d'indicateurs environnementaux pourront évoluer progressivement au cours des prochaines années." : il serait plus clair (même si c'est mentionné un peu plus loin dans le texte), de mentionner dès cette phrase les indicateurs et filières considérées.	La liste des filières et les indicateurs ont été remontés juste après la phrase que vous citez dans votre commentaire		

82	30/01/2017		Synthèse	g	++	L'UF telle que proposée ici n'est pas cohérente avec le fait d'avoir des résultats négatifs (i.e. des bénéfices) : le système ne peut pas éviter des impacts en fournissant le service tel que défini dans l'UF : autrement dit, on ne peut pas éviter des impacts en traitant des déchets et en les transformant en matière première secondaire. De manière similaire, la frontière du système telle que présentée en II.8 pourrait induire en erreur : en effet, elle n'est pas cohérente avec l'UF proposée, au sens où si l'on déduit le système sans recyclage au système avec recyclage, l'UF est virtuellement égale à 0. Cela se traduit dans les résultats : on ne peut pas avoir un bénéfice environnemental vu l'UF définie, comme précédemment expliqué. Par conséquent, il conviendrait : - soit de redéfinir l'UF pour refléter cela ; - soit de présenter la frontière du système avec recyclage (qui sera alors cohérente avec l'UF proposée) et la frontière du système sans recyclage de manière séparée, en précisant que dans la section résultats, on focalise sur la différence entre les deux systèmes. Dans ce cas, une précision devrait être ajoutée dans la synthèse de l'étude pour expliquer pourquoi l'on a des évitements d'impact avec l'UF que l'on a présentée.	*Nouvelle unité fonctionnelle proposée: "Analyse de la collecte, du tri et de la transformation d'une tonne de déchets afin de produire des matériaux intermédiaires issus de MPR en substitution de matériaux intermédiaires issus de ressources vierges "*		
83	30/01/2017		Synthèse	e	+	"Les deux indicateurs environnementaux étudiés sont l'effet de serre et la consommation d'énergie cumulée" : dans la mesure où le rapport est destiné à un public de non-experts de ACV, il serait plus parlant de parler d'énergie primaire que d'énergie cumulée (quitte à mettre une note de bas de page)	énergie cumulée remplacée par énergie primaire. Modifié dans tout le rapport. Le terme énergie primaire pouvant renvoyer à des notions d'énergies fossiles, il est précisé dans le rapport que l'énergie primaire ce rapport à l'énergie renouvelable et non renouvelable.		
84	30/01/2017		Synthèse	g	+++	"En 2014, les filières de recyclage ont permis d'éviter environ 22,1 Mt CO2-eq et 124 000 GWh d'énergie ." : - à nouveau, il est plus clair de toujours parler d'énergie primaire, d'autant plus que dans le suite du texte, une comparaison est faite avec de la production d'électricité, ce qui pourrait laisser	texte adapté		

						penser qu'on est en énergie finale. - les chiffres ne sont pas à jour (22,5 et 123,5 resp.).			
85	30/01/2017		Synthèse	td	++	" 24 % de la production électrique française qui s'élève à 546 000 GWh en 2014 (source : RTE)" - comparez-vous bien une quantité d'énergie primaire avec une autre quantité d'énergie primaire ? - 24% de 546000 GWh font 131040. Y a-t-il une erreur d'arrondis ?	ce chiffre correspond à la production d'électricité primaire mais ce n'est pas de l'énergie primaire Consommation finale en 2014 : 465 TWh Consommation primaire estimée : 465*2.58= 1199.7 soit 10.3% de l'énergie primaire consommée pour la production d'électricité en France La phrase est donc reformulée ainsi : *En 2014, les filières de recyclage ont permis d'éviter environ 22,5 Mt CO2-eq et 123 500 GWh d'énergie. A titre d'exemple, cela représente 4.9% des émissions totales du territoire français qui s'élèvent à 461 Mt CO2-eq. en 2014 (source MEDDE) et 10.3 % de la consommation d'énergie primaire pour la production d'électricité en France en 2014 ((calcul expliqué en Annexe 13).* L'annexe 13 a été créée pour expliquer le calcul.		
86	30/01/2017		Synthèse	e/g	+	"Ces résultats sont à mettre en perspective avec les tonnages de déchets recyclés et la contribution unité de chacune des filières étudiées" : - en quoi le § suivant met en perspective les résultats totaux, dans la mesure où il fournit le détail par filière ? - voulez-vous parler de contribution unitaire ? - pour être plus clair, il serait bien de compléter la phrase : "contribution unitaire... à chaque indicateur environnemental"	phrase reformulée ainsi "*Pour chaque indicateur environnemental, les résultats sont détaillés comme suit :"*		

87	30/01/2017		Synthèse		++	Le § "- Concernant l'indicateur effet de serre, le recyclage des métaux ferreux [...] Les autres flux contribuent à hauteur de 6% du bilan" n'est pas clair : - on donne le % pour la contribution à l'indicateur et la valeur absolue pour le tonnage. Donner le % pour le tonnage également sinon c'est difficile conclure. - à nouveau je vous propose de parler d'énergie primaire, pas d'énergie cumulée (vu le public visé par ce rapport).	les pourcentages des tonnages ont été ajoutés dans la synthèse et dans le chapitre sur les résultats		
88	30/01/2017		Synthèse	e	+	"Les résultats de cette étude peuvent également être exprimés de la façon suivante" : cela pourrait être reformulé de la manière suivante : "cette étude a permis d'évaluer le % de production de primaire évitée pour chaque tonne recyclée"	phrase modifiée		
89	30/01/2017		Synthèse	e	++	Dans le § "le recyclage d'une tonne de ferrailles permet d'éviter l'équivalent de 57% des émissions [...]. Concernant la consommation d'énergie, [...] textiles.", les chiffres ne correspondent pas à ceux du tableau inséré dans les conclusions de l'étude. Par ailleurs, pour l'énergie et le CO2, il semble qu'il y ait une erreur, ce sont les chiffres du PEHD et non du PET qui sont mentionnés dans la synthèse.	chiffres adaptés		

90	30/01/2017		Synthèse	g	+++	"Par ailleurs et compte tenu de la méthodologie choisie, [...] plus spécifiques (par exemple nationales)." * Ne s'agit-il pas de manque de robustesse plutôt que d'incomplétude des conclusions ? * Comme mentionné plus loin pour les conclusions, pouvez-vous préciser en quoi l'exclusion du carbone biogénique peut jouer sur les résultats ? * La sensibilité des résultats en fonction de la source d'énergie choisie pour les filières de fabrication primaires et issues du recyclage est mentionnée : - a-t-elle été spécifiquement testée ou est-ce une hypothèse ? pouvez-vous le préciser ? - n'est-ce pas le cas pour toutes les filières ?	les explications ont été remaniées. L'argumentation s'articule ainsi : - l'indicateur effet de serre ne reflète pas la sobriété énergétique de la filière de recyclage : *"Compte tenu des hypothèses et des données utilisées, on constate que le recyclage du carton donne un résultat algébriquement positif. En effet, selon FEFCO, l'industrie du vierge utilise, en moyenne en Europe, une plus grande quantité d'énergie d'origine renouvelable (biomasse) que l'industrie du recyclé. La combustion de cette biomasse émet du carbone d'origine biogénique qui n'est pas comptabilisé dans cette étude ou, qui s'il était comptabilisé, aurait un bilan neutre sur l'indicateur effet de serre (le carbone émit pendant la combustion a été capté pendant la croissance de la biomasse). Il est important de noter que les résultats sur l'effet de serre ne reflètent pas la plus grande sobriété énergétique de la filière du recyclage".* - le manque de représentativité des données d'inventaires utilisées est souligné		
91	30/01/2017		II.2	g	++	Il est mentionné : "enfin, une revue critique est envisagée afin d'être conforme aux normes ISO 14040-44:2006". Cela laisse penser que c'est le cas, or la RC initiale a conclu que le rapport n'était pas conforme aux normes en raison du nombre d'indicateurs étudiés (la RC 2017 conclura dans le même sens). Il serait préférable de dire que la RC permet de positionner l'étude et son rapport par rapport aux exigences des normes 14040-44:2006.	modification effectuée		
92	30/01/2017		II.3	g	+	Compléter la phrase : "Ce rapport a été relu, commenté et modifié en conséquence lors d'un travail de revue critique par le cabinet Deloitte représenté par Emmanuelle Schloesing, Augustin Chanoine et Véronique Monier".	ok, ajouté		

93	30/01/2017		II.4	g	+	"Note : La logique de filière se définit ici par le critère de sortie" : pouvez-vous préciser, pour le lecteur, ce que vous entendez par "critère de sortie" ?	Cette phrase est effectivement peu claire. Elle est reformulée ainsi: *"Note : Les filières présentées dans le tableau ci-dessus peuvent être alimentées par différentes sources : déchets collectés auprès des industriels, déchets apportés par les ménages ou les entreprises en déchèterie, déchets issus des collectes sélective…"*		
94	30/01/2017		II.5	e	+	"Le périmètre géographique de la suite des étapes de production pour arriver aux matériaux intermédiaires issus de MPR dépend des exportations annuelles"	correction faite		
95	30/01/2017		III.2.1	e	+	Il manque une légende au tableau	un titre a été ajouté ainsi qu'un nom de colonne englobant les colonnes "réutilisation", "recyclage", "valorisation énergétique" et "stockage"		
96	30/01/2017		III.2.1	g	+++	Les chiffres reportés dans le tableau ne sont pas bons : - certains % de composition moyenne ne sont pas bons et identiques à ceux du rapport VHU : métaux ferreurs à 9,3% au lieu de 70%, métaux non-ferreux à 9,4% au lieu de 4%, et 8 écarts inférieurs à 1%. Pour les métaux ferreux, il est possible que les 10% recyclés avant broyage aient été oubliés du total. - le total de traitement par flux ne fait pas toujours 100%, en particulier pour les métaux ferreux et les métaux non-ferreux. Confirmez-vous que les bons chiffres ont été retenus dans les calculs ?	Les bons chiffres sont retenus, il y a eu un problème de copier-coller. De plus, certains totaux ne faisaient pas 100% à cause des arrondis (un chiffre après la virgule a été ajouté dans la nouvelle version du tableau)		
97	30/01/2017		III.2.1	e	+	Dans le tableau, pour mieux faire le lien avec les schémas fournis en-dessous, il serait intéressant d'avoir le total séparé en "broyé" et "non broyé", pour pouvoir faire la correspondance directe entre les chiffres du tableau et ceux des figures.	le détail a été ajouté dans le tableau		
98	30/01/2017		II.6, tableau II-1	e	+	Il serait bon de préciser ce que sont les recycleurs de ferrailles (mentionné à plusieurs endroits dans le rapport)	remplacé par "recycleurs de ferrailles" + définition ajoutée en note de bas de page : recycleur de ferrailles : opérateur recevant des déchets métalliques sur		

							une installation prévue et organisée à cet effet, et les réexpédiant après avoir procédé à la séparation des différentes fractions élémentaires les composant, dans le but de les valoriser dans des unités dédiées		
99	30/01/2017		III.3.1.3	td	++	L'inventaire "disposal, aluminium, 0% water, to sanitary landfill, CH, ecoinvent v2.2" pour l'enfouissement du cuivre serait un proxy peu robuste si l'étude considérait d'autres indicateurs, notamment de toxicité et écotoxicité. Dans quelle mesure cela est reflété dans l'analyse de la qualité des données au chapitre IV ?	La précision suivante a été ajoutée en note de bas de page en page 39 et au tableau III-23 : *"Cette approximation n'a que très peu d'influence sur les résultats pour les deux indicateurs présentés dans cette étude (ce ne serait pas le cas avec d'autres indicateurs comme la toxicité humaine ou l'écotoxicité)."* La qualité des données a été réalisée sur base des deux indicateurs présentés dans cette étude. L'analyse de la qualité des données devrait être revue dans le cas de l'étude d'autres indicateurs. Une ligne sur cet inventaire a été ajoutée dans le tableau IV-1.		
100	30/01/2017		III.3.3.3	g	+	Il est mentionné : "Selon la dernière version du BREF de l'industrie du verre , une tonne de calcin remplace 1.2 tonnes de matières premières vierges." Vu la taille du document source, il serait plus facile, si le lecteur souhaite retrouver l'info, d'indiquer le numéro de la page où se trouve la donnée source.	La localisation de l'information dans le BREF a été ajouté *"(chapitre 3.2.2 Process outputs)".*		
101	30/01/2017		IV, tableau IV-2	g	+	Confirmez-vous que la mise à jour des données sur les VHU ne modifie pas l'analyse de la qualité des données (principalement pour l'acier) en raison des tonnages en jeu par rapport aux tonnages considérés dans l'étude ?	Nous confirmons que l'analyse de la qualité des données n'est pas remise en cause		

102	30/01/2017		V.3	tr	++	On passe de 22100 à 22500 kt eq CO2 évitées. Cette variation est-elle uniquement due à la modification de la modélisation des VHU ? Il est difficle de se faire une idée de l'ordre de grandeur de la variation due à la modification sur les VHU dans la mesure où un ensemble de paramètres ont varié en même temps : il est donc difficile, sur la base du seul rapport, de dégager les paramètres-clés dont la variation aurait une influence prépondérante sur les variations de résultats. L'impact GES évité a augmenté de 2%. Par ailleurs, le tonnage de ferraille issues de VHU représente 10% du tonnage de ferrailles total (poste contribuant à 75% au bilan GES). Il faudrait donc justifier d'une variation de 20% suite aux modifications apportées aux VHU pour comprendre la variation de 2%. Cela paraît plausible, quoiqu'un peu élevé. Pouvez-vous apporter des éléments sur ce point ?	la différence entre la première version et la seconde est de 330 kt CO2-eq (passage de - 22126 kt eq CO2 à - 22456 kt CO2-eq) soit une variation de 1.4%. - 45% de la variation est due aux modifications sur la filière verre (-149 kt CO2-eq) (voir réponse au commentaire 104) - 55% de la variation est due aux modifications sur la filière VHU qui influence les résultats des ferreux (-140 kt CO2-eq), de l'aluminium (-1 kt CO2-eq) et du cuivre (-40 kt CO2-eq) Les adaptations faites sur la filière VHU ont entrainé une variation de 9% des résultats pour la filière métaux ferreux des VHU		
103	30/01/2017		V.3, figure V.1	e	+	Pourriez-vous mettre les 2 sous-figures à la même échelle et alignées, pour 1/ bien mettre en évidence la correspondance et 2/ faire apparaître que l'impact positif à droite correspond à un impact négatif supplémentaire par rapport à la figure de gauche ? Idem pour la figure V-5	graphiques mis à échelle pour l'effet de serre et la consommation d'énergie primaire		
104	30/01/2017		V.3	tr	++	Il est précisé : "Le recyclage de verre présente des bénéfices environnementaux de l'ordre de 560 kg CO2-eq/t." On est passé de 480 à 560 kg eq. CO2/t (soit une augmentation de l'ordre de 20%). Est-ce uniquement dû à la modification de la modélisation des VHU ? Si oui, l'écart paraît important. Pouvez-vous en dire plus là-dessus ?	non, la modélisation des VHU n'est réalisées que pour le recyclage de la partie Ferreux et non ferreux (alu et cuivre) du VHU. Les autres matériaux recyclés ne sont pas évalués dans cette étude. Le verre modélisé est du verre d'emballage. La modification est résultats est due à l'adaptation qui est faite sur les matières premières évitées. Dans le précédent rapport, l'évitement était d'une tonne pour une tonne. Dans ce rapport l'évitement est de 1.2 t pour une tonne. L'impact évité des matières premières est donc plus élevé ainsi que la carbonatation		

							évitée. De plus, dans le chapitre III.3.3, nous avons bien spécifié le ratio de 1.2 t pour une tonne de verre à recycler mais nous avons oublié de corriger le dernier paragraphe de ce chapitre. C'est chose faite.		
105	30/01/2017		V.4	tr	++	Les bénéfices en termes de CEP ont diminué alors que les bénéfices en termes de GES ont augmenté. Comment l'expliquez-vous ?	le 124 000 GWh était une coquille dans le rapport. Les graphiques montraient bien 123 096 GWh. On est donc passé de 123 096 à 123 526 GWh		

106	30/01/2017		VI.1	tr	+++	Concernant le point "Compte tenu des hypothèses et des données utilisées, [...] La combustion de cette biomasse émet du carbone d'origine biogénique qui n'est pas comptabilisé dans cette étude" : - plutôt que de parler d'incomplétude je parlerais plutôt de manque de robustesse. - impact négatif : à préciser (il y atoujours l'ambiguité en ACV résidant dans le fait qu'un bénéfice est vu comme positif mais correspond à un impact algébriquement négatif)" - Votre point porte-t-il sur la comptabilisation (ou non) du carbone biogénique, ou sur l'incertitude sur le mix énergétique consommé pour la production du papier vierge et recyclé resp. ? * Si le point porte sur la non comptabilisation du carbone biogénique dans l'étude, en quoi cela influencerait les résultats puisque l'émission en phase de combustion, comptée algébriquement positivement si l'on comptabilisait le CO2 biogénique, serait compensée par l'absorption du même CO2 biogénique en phase de croissance de la biomasse, le bilan global étant approximativement neutre ? * Si le point porte sur l'incertitude de la modélisation, on peut explicitement rappeler les conclusions de l'analyse de sensibilité V.5.5 qui montre qu'un changement d'inventaire change le signe de l'impact. Pouvez-vous préciser cette conclusion, et distinguer les différents éléments si les différents éléments mentionnés ci-dessus rentrent en ligne de compte ? Concernant l'analyse de sensibilité (AS) V.5.5, comment se fait-il que dans les résultats, la filière recyclage papier-carton a un impact algébriquement positif tandis que dans l'AS, le résultat est algébriquement négatif pour l'ICV COPACEL / ADEME qui semble avoir été utilisé dans le cas de base ?	- on ne parle plus d'incomplétude ni de manque de robustesse dans la version remaniée des explications - remplacé par résultat algébriquement positif - les explications ont été modifiées afin d'être plus clair : "En effet, selon FEFCO, l'industrie du vierge utilise, en moyenne en Europe, une plus grande quantité d'énergie d'origine renouvelable (biomasse) que l'industrie du recyclé. La combustion de cette biomasse émet du carbone d'origine biogénique qui n'est pas comptabilisé dans cette étude ou, qui s'il était comptabilisé, aurait un bilan neutre sur l'indicateur effet de serre (le carbone émit pendant la combustion a été capté pendant la croissance de la biomasse). Il est important de noter que les résultats sur l'effet de serre ne reflètent pas la plus grande sobriété énergétique de la filière du recyclage." - L'analyse de sensibilité montre l'influence du choix du LCI papier sur les résultats. La filière carton est, quant à elle, modélisée à l'aide des données FEFCO qui donne un résultat algébriquement positif car l'industrie du vierge utilise, en moyenne en Europe, une plus grande quantité d'énergie d'origine renouvelable (biomasse) que l'industrie du recyclé.		

107	30/01/2017		VI.1	e	+	"le recyclage du papier présenterait un impact positif sur l'effet de serre" : préciser qu'il s'agit d'un bénéfice (i.e. impact algébriquement négatif)	non, c'est une erreur, le recyclage du papier présenterait un impact négatif sur l'effet de serre (impact algébriquement positif). Renvoi à la note de bas de page précisant la définition d'impact négatif ajouté.		
108	30/01/2017		VI.1	e	+	Concernant la phrase : "Les colonnes « économies (%) » peuvent être lu ainsi : le recyclage d'une tonne de ferrailles permet d'éviter l'équivalent de : • 40% de la consommation énergétique nécessaire à la production d'une tonne d'acier primaire ; • 57% des émissions de CO2 nécessaires à la production d'une tonne d'acier primaire." : - typo : "lu**es**" - On lit 58% dans le tableau - mettre des guillemets faciliterait la lecture	modifications faites		
109	30/01/2017		VI.1	tr	+++	Les résultats pour la filière papier carton ne sont pas présentés ici. Il serait plus transparent de les présenter, quitte à indiquer que les résultats sont incertains. Il faut a minima mentionner au-dessus du tableau cette exclusion du tableau, et le justifier. Est-ce que la différence qualité des données entre la filière papiers/cartons et les autres filières justifie de ne pas faire figurer cette filière dans le tableau ?	éléments ajoutés		
110	30/01/2017		VI.1	e	+	Il manque une légende au tableau, pouvez-vous l'ajouter ?	légende ajoutée		
111	30/01/2017		VI.1	e	++	Les unités indiquées dans le tableau sont incomplètes : il faut préciser le flux de référence	unités complétées		
112	30/01/2017		VI.2	tr	++	Pourquoi avoir supprimé la phrase : "En effet, les papiers/graphiques issus des ménages sont également utilisés dans la production de PPO (Papier Pour Ondulé). Dans le cas des cartons issus des ménages, une partie est utilisée dans la fabrication du papier d'hygiène" ?	cette suppression est la résultante d'une discussion avec les experts FEDEREC. Ces phrases ne représentaient pas la réalité de la filière		
113	30/01/2017		-	o	++	Est-il prévu d'intégrer les commentaires de la revue critique dans le rapport final de l'étude ? Cela augmenterait la transparence du rapport (et donc sa crédibilité).	la totalité des commentaires de la revue critique par Deloitte seront ajoutés		
114	06/04/2017		Synthèse	g	++	Dans la synthèse, la phrase que vous avez ajoutée concernant le carton est cohérente avec	modifications effectuées		

						nos échanges. Cela étant, pour être plus clair, je vous suggérerais les petites précisions suivantes (en gras) : « Compte tenu des hypothèses et des données utilisées, on constate que le recyclage du carton donne un résultat algébriquement positif **sur l'effet de serre**. En effet, selon FEFCO, l'industrie du vierge utilise, en moyenne en Europe, une plus grande quantité d'énergie d'origine renouvelable (biomasse) que l'industrie du recyclé. La combustion de cette biomasse émet du carbone d'origine biogénique qui n'est pas comptabilisé dans cette étude ou, qui s'il était comptabilisé, aurait un bilan neutre sur l'indicateur effet de serre (le carbone émis pendant la combustion a été capté pendant la croissance de la biomasse). Il est important de noter que les résultats sur l'effet de serre ne reflètent pas la plus grande sobriété énergétique de la filière du recyclage**, comme le montrent les résultats sur l'indicateur de consommation d'énergie primaire**. » La 2ème modification peut également être apportée au chapitre V.3 ainsi que dans les conclusions (VI.1) au même endroit dans la phrase.			
115	06/04/2017		Synthèse	g	++	En note de bas de page, vous ajoutez : « Le taux d'utilisation des fibres récupérées par l'industrie papetière en France était de 66,3% en 2015 (source : CEPI). La France se place au 7ème rang européen, contre un taux d'utilisation européen moyen de 53,2% (il est de 5.5% en Finlande et 11.9% en Suède, pays gros consommateurs de fibres vierge**s**). Ce ratio mont**r**e bien que la part des usines de vierge, supposées consommer davantage de biomasse selon FEFCO, sont minoritaires en France. » : - Coquilles mineures corrigées en gras souligné. - Surtout : que concluez-vous de la dernière phrase ?	modifications effectuées		
116	06/04/2017		Synthèse	e	+	« En 2014, les filières de recyclage ont permis d'éviter environ 22,5 Mt CO2-eq et 123 500 GWh d'énergie » : il serait plus clair de préciser « d'énergie **primaire** ».	modification effectuée		

117	06/04/2017		Synthèse	e	+	« Ce pourcentage monte à 89% pour le recyclage **du** PEHD, 93% pour le recyclage de l'aluminium et 98% pour le recyclage des textiles. »	modification effectuée		
118	06/04/2017		Synthèse	e	+	« Les données d'inventaire de la régénération du carton (recyclage) et les données de production de carton vierge sont des données issues de moyennes ~~E~~**e**uropéenne**s** » (idem aux chapitres VI.1 et au VI.2).	modification effectuée		
119	06/04/2017		VI.1	e	++	Dans la phrase explicative au-dessus du tableau ("58% des émissions de CO2 nécessaires…") et dans l'en-tête du tableau VI.1 ("Bilan CO2"), plutôt parler d'émissions de GES et de bilan GES respectivement.	modifications effectuées		

Annexe 17 : Commentaires des « experts métiers » du comité de suivi de l'étude sur le Bilan National du Recyclage 2014 de l'ADEME

#	Auteur du commentaire	Page du rapport	Chapitre / Paragraphe / Figure…	Commentaire de l'expert de revue critique	Réponse RDC
1	COSUI BNR			Mettre à jour les termes "matériau intermédiaire", "Matériau recyclé" et "transformation"	Afin de rester cohérent avec le découpage proposé dans l'étude, les termes suivants ont été modifiés : - "matières premières issues du recyclage" devient "matières premières de recyclage" - "matériaux intermédiaires issus du recyclage" devient "matériaux intermédiaires issus de MPR" - "transformation" devient "production de matériaux intermédiaires issus de MPR"
2	COSUI BNR	19	Tableau II.1	Pour les plastiques : pas de MPR, les granulés sont les "matériaux intermédiaires"	Ok, tableau modifié
3	COSUI BNR	19	Tableau II.1	Pour le PET : 50% granulés, 50% paillettes	Ok, tableau modifié, modélisation ACV modifiée
4	COSUI BNR	40		Cuivre : il n'est pas pertinent d'utiliser l'inventaire de cuivre vierge d'Ecoinvent, il faudrait utiliser celui de GaBi. Contacter Mr Tikana à ce sujet : ladji.tikana@copperalliance.de	Copper Alliance a été contacté. Il nous a été indiqué que des inventaires étaient disponibles dans la base de données ELCD. Ces données ne distinguent pas le recyclé du vierge, il n'est donc pas possible de respecter la méthodologie de notre étude si nous utilisons ces données. Nous serons attentifs aux nouveaux LCI qui devraient être disponibles fin décembre de cette année.
5	COSUI BNR	34	Figure III-3	Cuivre : pour l'intégration dans le BNR, les matières recyclables ne suivent pas toutes systématiquement ce schéma : les chutes neuves issues de process repartent directement dans le circuit de fabrication des demi-produits, une partie des déchets part également dans ce circuit sans passer par l'étape d'affinage.	L'étape d'affinage est incluse dans l'inventaire du recyclage et il n'est donc pas possible de supprimer cette étape de l'inventaire. La modélisation considère le cas le plus défavorable au recyclage (hypothèse conservatrice). Ce point d'attention est ajouté dans le rapport méthodologique
6	COSUI BNR			Papier-carton : Schéma à ajuster dans sa présentation	Tonnages et terminologie adaptés
7	COSUI BNR			Papier-carton : Proportion carton plat et carton ondulé à mettre à jour en utilisant les taux d'incorporation du BNR	Les chiffres ont été adaptés en fonction des données du BNR
8	COSUI BNR			Verre : Données européenne à mettre à jour avec les données françaises disponibles en 2014	Les données du BNR seront utilisées pour l'évaluation environnementale attenante au BNR
9	COSUI BNR			Plastique : PET : Substituer par du PET bottle grade et utiliser un taux de substitution de 100%	Ok, modifications effectuées
10	COSUI BNR			Plastique : PET : Taux de perte sur le PET trop élevé (ici le taux de perte correspond plutôt à un taux de perte ménage)	En l'absence d'autres données, nous gardons cette hypothèse conservatrice
11	COSUI BNR			Plastique : utiliser de préférence les données du Comité d'information matériaux pour les tonnages	Les données du comité d'information seront utilisées pour l'étude BNR
12	COSUI BNR			Granulat : Ne pas parler de gravats en vierge mais de granulats	Termes modifiés
13	COSUI BNR			Granulat : de nouvelles sources de données vont être envoyées	Les données du BNR seront utilisées pour l'évaluation environnementale attenante au BNR
14	Elipso - V. Colard	5		Harmoniser les termes MPR et matière recyclée avec les travaux de l'Afnor.	Cf. réponse au commentaire #1

				Attention, les MPR n'existent pas pour les plastiques au regard de cette définition.	
15	Elipso - V. Colard	24		Pour les emballages industriels en plastique, je pense que les mix énergétiques ne reflètent pas la réalité. Les bidons, fûts et IBC sont majoritairement recyclés en France (97%) et 3% en Europe. On manque de données sur les caisses et palettes, mais elles sont majoritairement recyclées en Europe.	Nous proposons d'adapter sur base de votre commentaire : 97% France et 3 % Europe (ces chiffres seront également appliqués aux caisses et palettes).
16	Elipso - V. Colard	54		Quasiment tous les emballages plastiques sont collectés en fin de vie, il est important de préciser au premier paragraphe « collectés en vue d'un recyclage »	Ok, précision apportée
17	Elipso - V. Colard	55		Dans le schéma, je pense qu'il faut remplacer « t » par « kt »	Ok, modifications effectuées
18	Elipso - V. Colard	55		Le schéma pour les emballages industriels n'est pas du tout représentatif de la réalité. Il n'y a quasiment pas de PET dans l'industriel. Les bidons PEHD sont parfois mis en balle mais généralement il n'y a pas de balle. Les emballages qui passent par des centres de tri sont très peu nombreux et n'apparaissent pas aujourd'hui dans les statistiques. Etc...	- L'étape de tri (en centre de tri des activités économiques) a été supprimée. - Le mot "balles" est supprimé pour les déchets des industriels. - les chiffres des tonnages de PEhd et PET ont été recalculés sur base du postulat que les emballages PET sont issus des ménages. Pour le reste la répartition entre les autres résines est déterminée à partir de l'étude 2ACR, ADEME, DGE (données " flux collectés en vue de recyclage et de la part des résines en 2012").
19	Elipso - V. Colard	55		Pour l'emballage ménager, si on veut être cohérent entre les études comme annoncé dans le paragraphe introductif, « 235 kt » représente les quantités entrantes chez les recycleurs et non sortantes	cf. réponse au commentaire précédent. Les valeurs ont été modifiées. Le positionnement des chiffres sur la chaine de recyclage sont précisés dans le rapport
20	Elipso - V. Colard	57		Les données américaines ne sont pas représentatives du recyclage des emballages industriels. Je ne pense pas que les données Paprec soient représentatives du recyclage des fûts et des IBC, principaux emballages PEHD recyclés, mais n'hésitez pas à me contredire si RDC a des éléments allant dans ce sens	Dans le chapitre IV, il est indiqué que l'influence de ces données sur les résultats est faible. La représentativité technologique est désormais notée "+/++".
21	Elipso - V. Colard	58		Je ne comprends pas pourquoi ont été utilisées des données Eco-Emballages pour les emballages industriels et commerciaux	Les données Eco-emballages sont uniquement utilisées pour les distances de transport. Nous ne disposons pas d'autres données sur les distances de transport et l'influence sur les résultats est faible. Concernant la destination des flux (France, Europe, hors Europe), ce sont les données FEDEREC qui sont utilisées
22	Elipso - V. Colard	65		Il n'y a aucune raison d'avoir un taux de substitution de 90% entre PET recyclé et PET vierge. On remplace 1kilo par 1kilo, comme le PEHD	Taux modifié
23	PlasticsEurope - H. Millet	16	II.3	Une revue critique impliquant également des acteurs "métiers" aurait été souhaitable pour accroître la robustesse de l'étude	Le rapport de revue critique devra pointer cet élément

24	PlasticsEurope - H. Millet	54		Le tonnage de déchets plastiques collectés en 2014 en vue de recyclage (860 kt) est différent de celui communiqué par le bilan de recyclage ADEME / Deloitte pour la même année (1016 kt). Est-il question uniquement de déchets d'emballages ? L'étude "Etat des lieux…" de 2ACR, ADEME, DGE est citée comme source d'information, mais elle donne, me semble-t-il, des quantités différentes de PET et PEHD collectés en vue de recyclage que celles indiquées ici (184 kt contre 327 kt pour le PET, 153 kt contre 163 kt pour le PEHD - tous types de déchets considérés, emballages et autres)	Les chiffres nationaux de FEDEREC reprennent tous types de plastiques alors que l'évaluation environnementale se concentre sur les emballages. La difficulté est d'établir ces chiffres par provenance (ménages, industriels) et par résine (PET et PEhd dans notre étude). RDC n'est pas en mesure d'expliquer l'écart entre les chiffres totaux de FEDEREC et de l'étude 2ACR, à savoir 860 kt contre 1016kt (cependant il me semble que les données 2ACR datent de 2012 et FEDEREC 2014). Nous avons cependant revu nos calculs afin d'être au plus près des données 2ACR sur le PET et le PEhd.
25	PlasticsEurope - H. Millet	55		D'où viennent les quantités reprises dans ce logigramme ? Le total collecté (270 + 268 kt = 538 kt) est même différent de celui indiqué en page précédente (490 kt) et que nous contestons Pourquoi le ratio "268 kt d'emballages PEHD et PET issus des activités économiques" / "270 kt d'emballages PEHD et PET issus des ménages est-il si différent du ratio 73/27 de la page précédente ?	Les chiffres ont été modifiés, le schéma adapté
26	PlasticsEurope - H. Millet	57		La ligne "Production et transformation de MP issues du recyclage" en haut de page devrait figurer avec le même statut que les chapitres "tri" et "collecte" de la page précédente	La terminologie du schéma a été modifiée. Cependant, nous faisons une différenciation entre le tri dans un centre de tri n'ayant que cette activité et le tri qui a lieu avant la phase de "production des granulés recyclés"
27	PlasticsEurope - H. Millet	68		Une donnée PET plus récente, datant de 2011, existe. Voir doc transmis "eco-profile PETb". La table 18 de cette étude montre une diminution sensible de l'énergie primaire et du potentiel de réchauffement climatique par rapport à l'étude de 2005, ce qui va dans le sens d'une diminution du bénéfice du recyclage. Les résultats globaux du présent rapport, prenant en compte tous les flux de déchets (plastique et autres) seraient peu affectés par ces nouvelles données. Cependant, il sera important de les prendre en compte dans l'outil à venir ; d'une façon générale, il est aussi préférable de se procurer les données les plus actualisées possibles. Les données de PlasticsEurope sont disponibles sous leur format agrégé, sur le site web de PlasticsEurope et dans Simapro depuis la version 8.1 (industrial database). Elles ne sont pas encore dans Ecoinvent mais elles y seront sous peu, sous forme partiellement désagrégée ainsi que dans la future base de données européenne de PEF.	Dernières données intégrées
28	PlasticsEurope - H. Millet	82		6ème paragraphe, Remplacer "c'est la production évitée." par "La production évitée..."	Ok, modification effectuée

29	PlasticsEurope - H. Millet	91		Les conclusions concernent le 2ème objectif mais ne développent pas d'éléments quant aux objectifs 1 et 3 (homogénéisation modélisation, réaliser un outil web)	Ce rapport est centré sur les objectifs #1 et #2 de l'étude (précision apportée dans le chapitre II.1 objectifs de l'étude). De notre point de vue, les conclusions 1,2,3 et 4 répondent à l'objectif #1.
30	FNB - SYPAL - P. Chanrion	17		Je reste surpris que la filière bois n'ait pas été étudiée et les éléments de réponse qui m'ont été donnés en séance en plus du texte page 17 « cependant les risques de ne pas aboutir à un résultat satisfaisant pour toutes les parties prenantes dans les temps sont trop grands, ces filières ne sont donc pas retenues » ne m'ont pas pleinement convaincu. En outre, faute de temps il n'a pas été défini quels étaient véritablement les écueils et les piste de progrès pour intégrer le bois au même titre que les autres matériaux	*Commentaire à destination de FEDEREC et de l'ADEME n'impliquant pas de changements.* Le fait que la filière bois ne soit pas intégrée dans cette étude est présenté comme une limite au chapitre VI.2
31	COPACEL - P. de Noray	16		Vous mentionnez « une revue critique de ce rapport menée par une personne du cabinet Deloitte ». Il aurait été intéressant que cette revue critique soit menée par un panel d'experts représentatif des différentes filières étudiées (chacune ayant ses spécificités). Est-il possible de disposer du rapport de revue critique ?	Cette limite de l'exercice devra être exposée dans le rapport de revue critique. Le rapport de revue critique sera ajouté à la fin du rapport et envoyé au COSUI du BNR
32	COPACEL - P. de Noray	18-19	Tableau II-1)	Vous écrivez : « Dans le cas de la filière papier, afin de répondre aux objectifs 1 et 3, c'est le niveau de transformation en « pâte à papier » (données disponibles dans la source de données utilisée) qui permet une comparaison entre le recyclé et le vierge », alors pourquoi dans le tableau page 19 les matériaux intermédiaires sont la pâte à papier et le PPO/carton plat ? Déjà à ce niveau du rapport on introduit un biais dans l'étude car pour le vierge on prend en compte la pâte à papier et pour le recyclé on prend en compte le papier (PPO/carton).	Cette limite est ajoutée dans le chapitre VI.2 sur les limites de l'étude : "*Afin de répondre pleinement à l'objectif 1 de l'étude, il aurait été préférable que le niveau de transformation du papier soit comparable au niveau de transformation du carton (bobine). Cependant, le choix d'inventaires de cycle de vie était limité au moment de la réalisation de cette étude.* " Nous rappelons qu'il est essentiel que la matière vierge substituée soit au même niveau de transformation que la matière recyclée.
33	COPACEL - P. de Noray	25		Vous mentionnez le rapport COPACEL-ADEME 2013 comme source de données pour la filière papier. Nous attirons votre attention sur le fait que les données de ce rapport sont relatives au papier ramette uniquement et ne sont pas extrapolables à tout type de papier. Pour votre information, cette étude avait été initiée pour, entre autres, démontrer que les données d'Ecoinvent sur le CO2 étaient largement surestimées. L'utilisation des données d'émission de gaz à effet de serre d'Ecoinvent relatives au papier conduit en effet à une surestimation des données réelles.	Cette limite est indiquée dans les limites de l'étude (chapitre VI.2). Dans le chapitre IV, qui évalue la qualité des données par rapport aux objectifs de l'étude, la note de la représentativité technologique est baissée à "++"

34	COPACEL - P. de Noray	45	Figure III-4	L'unité des données de la figure III-4 ne devrait-elle pas être des kt afin que ces données soient homogènes avec celles de la page précédente ? Le schéma des filières papiers/cartons étudiés est un peu réducteur et ne prend pas en compte la diversité de la filière papier/carton. Les papiers/graphiques issus des ménages ne sont pas utilisés uniquement pour faire de la pâte recyclée, on en retrouve également dans les matières premières de la production de PPO (Papier Pour Ondulé). Vous ne prenez pas non plus en compte les cartons issus des ménages qui servent à fabriquer du papier d'hygiène. Là encore, pourquoi le matériau intermédiaire issu du recyclage est différent selon les filières étudiées ? Cette approche conduit à comparer des choses non comparables.	la limite est ajoutée en dessous de la figure ainsi que dans le chapitre reprenant les limites de l'étude 'VI.2" : "*Le schéma des filières papiers/cartons étudiées ne prend pas en compte toute la diversité de la filière papier/carton. Les papiers/graphiques issus des ménages sont également utilisés dans la production de PPO (Papier Pour Ondulé). Dans le cas des cartons issus des ménages, une partie est utilisée dans la fabrication du papier d'hygiène.*"
35	COPACEL - P. de Noray	75		Le recyclage du carton est présenté comme ayant un impact positif sur l'effet de serre : « Par ailleurs, on constate que le recyclage du carton présente un impact positif sur l'effet de serre à hauteur de 1 200 kt CO2-eq pour 4 500 kt collectées » et par ailleurs sur la même page vous écrivez « Une valeur négative correspond à un bénéfice environnemental ou, autrement dit, un impact positif évité ». Il nous semble qu'il serait plus logique, et plus compréhensible pour le lecteur, d'écrire que les valeurs négatives ont un impact positif sur l'effet de serre car cela correspond à des tonnes de CO2 non émises à l'atmosphère. Et donc, pour le papier/carton, le recyclage conduit à un impact négatif sur l'effet de serre puisque le recyclage de ces matières émet plus de CO2 que la production de papier/carton à partir de matière vierge.	Ces propositions de rédaction ont été retenues. Le rapport est modifié en conséquence
36	COPACEL - P. de Noray	75, 76, 92		Il convient de remplacer le terme « bois » par le terme « biomasse ».	Ok, modifié
37	COPACEL - P. de Noray	82		Nous avons quelques difficultés à retrouver les ordres de grandeurs affichés pour le bénéfice énergétique lié au recyclage des papiers/cartons improprement baptisé bénéfice environnemental.	Le calcul pour le papier est explicité à la feuille suivante : "calcul CED papier"

38	COPACEL - P. de Noray	91-93		Il convient de rester impartial dans les conclusions. Il serait souhaitable, en ce qui concerne la filière papier/carton, de préciser que la production d'une tonne de pâte vierge présente une plus grande sobriété carbone que la production d'une tonne de pâte recyclée et a donc un impact moindre sur l'effet de serre. Cette formulation nous semble beaucoup plus claire et moins ambigüe que celle qui figure dans le rapport : « le recyclage du carton présente un impact positif sur l'effet de serre ». Il nous semble que, puisque le recyclage du carton émet plus de gaz à effet de serre que sa production à partir de fibres vierges, son impact sur l'effet de serre est négatif et non pas positif. Vous précisez que « la combustion de ce bois (terme à remplacer par biomasse) émet du carbone d'origine biogénique qui n'est pas comptabilisé », vous pourriez peut-être rajouter qu'en effet la croissance de la biomasse absorbe du CO2. Ce n'est pas un biais méthodologique ! Le papier/carton n'est pas une matière qui se recycle indéfiniment, l'apport de fibres vierges est indispensable lorsque l'on considère la production de papier/carton dans son ensemble. Présenter les données environnementales et énergétiques de la production de papier/carton en cherchant à opposer fibres vierges et fibres recyclées apporte une information biaisée car ces informations reposent sur une partie de la boucle de production du papier et ignorent la boucle matière dans son ensemble.	La première partie du commentaire a été intégrée au rapport. Concernant la comparaison entre le recyclé et le vierge, c'est toute la méthode du calcul de l'impact des matières recyclées qui est mis en cause ici. La méthode choisie est issue des lignes directrices de l'ADEME (BPX 30-323) et de la commission européenne (PEF guide). Par ailleurs, nous considérons un taux de substituions au vierge inférieur à 1, ce qui montre que la filière ne peut pas exister sans l'apport de papier/carton vierge. Votre point d'attention devra être pris en compte lors de la communication de l'ADEME, FEDEREC et ses adhérents.
39	FNB - P. Chanrion			Je reste surpris que la filière bois n'ait pas été étudiée et les éléments de réponse qui m'ont été donnés en séance en plus du texte page 17 « cependant les risques de ne pas aboutir à un résultat satisfaisant pour toutes les parties prenantes dans les temps sont trop grands, ces filières ne sont donc pas retenues » ne m'ont pas pleinement convaincu. En outre, faute de temps il n'a pas été défini quels étaient véritablement les écueils et les piste de progrès pour intégrer le bois au même titre que les autres matériaux	cf. réponse au commentaire #30
40	Eco-Emballages - Sophie Bonnier	16	II.3	La RC n'est pas conforme à la norme ISO 14040 et 14044. Elle doit être réalisée par un panel d'experts, cosignataires de l'avis.	Cet élément devra être précisé dans le rapport de revue critique annexé à ce rapport
41	Eco-Emballages - Sophie Bonnier	19	II 7	En général on utilise plutôt l'indicateur consommation d'énergie primaire totale, qui permet de remonter aux énergies primaires.	À priori c'est une question d'appellation de la méthode (en français). La méthode que nous utilisons vise bien la consommation d'énergie primaire totale (renouvelable et non renouvelable) : cumulative energy demand (CED)
42	Eco-Emballages - Sophie Bonnier	19	II 7	Le nombre d'indicateur n'est pas conforme à la norme ISO 14040 et 14044	Cet élément devra être précisé dans le rapport de revue critique annexé à ce rapport. Cette limite est

					indiquée dans le chapitre VI.2. Le bilan du BNR évaluera d'autres indicateurs
43	**Eco-Emballages - Sophie Bonnier**	19	Tableau II-1	Ne pas fusionner les 2 colonnes, comme pour le carton, indiquer balles de PET ou balles de PE, puis granulés dans la colonne suivante	Ok, modifié
44	**Eco-Emballages - Sophie Bonnier**	19	Tableau II-1 Colonne - matériaux à recycler	Prend on en compte ici l'humidité et la souillure des déchets ? Le rapport ne mentionne pas ces aspects pourtant impactant dans le bilan. Lorsque les ménages se séparent de ces emballages et qu'ils deviennent des déchets d'emballage, ils peuvent alors contenir des résidus des produits qu'ils ont emballé ou être souillés par d'autres déchets présents dans la poubelle des ménages ou dans les bacs de collecte. Le taux d'humidité/souillures d'un déchet d'emballage est le ratio entre la quantité d'humidité et de résidus présents dans le déchet d'emballage et le poids de ce déchet d'emballage souillé. Ce taux diffère selon les catégories d'emballages plastiques considérées. Il importe également de souligner que le taux d'humidité/souillures des déchets d'emballages varie entre leur entrée et leur sortie du centre de tri : le passage des déchets d'emballages sur les convoyeurs de tri, dans les trommels… de manière générale toute manipulation dont ils sont l'objet en centre de tri contribue à l'évaporation de l'humidité mais également à la perte des souillures. La diminution du taux d'humidité/souillures des déchets d'emballages entre l'entrée et la sortie du centre de tri génère une différence entre les quantités de déchets d'emballages entrant en centre de tri et les quantités de déchets d'emballages sortant du centre de tri (que ces déchets soient dans les flux triés ou les refus) ; la différence entre ces deux quantités sera considérée comme étant les freintes en centre de tri.	Non, la modélisation du vierge ne fait pas intervenir de mix électrique. Dans le rapport Ecoinvent n°11 page 20 (25 du PDF), il est spécifié : Energy : For the mix of fuel and gas, due to the information that "in recent decades the predominant fuel (...) has been fuel oil" (Europ+H46ean Commission (2000): 72) and a lack of more specific information about the present situation, a mix of 50% fuel oil (light fuel oil and heavy fuel oil, each from regional storage, at equal parts) and 50% natural gas (as gas, high pressure, at customer) is used. Nous basons notre hypothèse concernant l'énergie utilisée ainsi : *Hypothèse basée sur le rapport « European Commission (2000) Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) - Reference Document on Best Available Techniques in the Glass Manufacturing Industry. Institute for Prospective Technological Studies, Sevilla » dans lequel il est spécifié que la source d'énergie la plus utilisée, durant les dernières décennies, est le fioul.* (cf. chapitre III.3.3)
45	**Eco-Emballages - Sophie Bonnier**	21		Il convient d'être plus précis entre les étapes, sur les pertes et quantités de déchets à chacune des grandes étapes de leur gestion. Exemple, sur les emballages en plastiques --> Cf. note ci-joint Taux captage / pureté objet / tri / rendement de régénération	Cf. commentaire précédent. Ces valeurs sont exposées tout au long du chapitre "III.3" : dans les schémas et dans la description de la filière).

46	**Eco-Emballages - Sophie Bonnier**	23	Tableau II-3	Verre - Aucun mix énergétique n'intervient à cette étape ?	non, la modélisation du vierge ne fait pas intervenir de mix électrique. Dans le rapport Ecoinvent n°11 page 20 (25 du PDF), il est spécifié : Energy : For the mix of fuel and gas, due to the information that "in recent decades the predominant fuel (...) has been fuel oil" (European Commission (2000): 72) and a lack of more specific information about the present situation, a mix of 50% fuel oil (light fuel oil and heavy fuel oil, each from regional storage, at equal parts) and 50% natural gas (as gas, high pressure, at customer) is used. Nous basons notre hypothèse concernant l'énergie utilisée ainsi : *Hypothèse basée sur le rapport « European Commission (2000) Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) - Reference Document on Best Available Techniques in the Glass Manufacturing Industry. Institute for Prospective Technological Studies, Sevilla » dans lequel il est spécifié que la source d'énergie la plus utilisée, durant les dernières décennies, est le fioul.* (cf. chapitre III.3.3)
47	**Eco-Emballages - Sophie Bonnier**	25	Aluminium : EAA 2010	2010 : date de publication de la donnée ou de représentativité technologique ? Nous utilisons Aluminium : EAA publié en 2013 dans BEE, représentant les données 2010.	Précision apportée publication 2013 (données 2010)
48	**Eco-Emballages - Sophie Bonnier**	32		Sur l'ensemble des schémas, il semble qu'il manque un k devant les tonnes. De plus, ajouter les sources qu'il y a un décalage. Par exemple en 2014 Eco-Emballages a collecté et trié 99 000 t d'acier issus de collecte sélective des emballages ménagers et non pas 49 t comme l'indique le schéma. cf. rapport d'activité 2015 Eco-Emballages Idem environ 200 kt d'acier issus de mâchefers d'incinération	Modifications apportées
49	**Eco-Emballages - Sophie Bonnier**	33		Rapport d'activité 2015 Eco-Emballages : 8 kT d'alu issus de collecte sélective, i.e. en sortie de centre de tri Ajouter alu issus de mâchefers : 17kT en 2014	Le périmètre couvert par les chiffres de FEDEREC est parfois différent des chiffres d'Eco-Emballages. Néanmoins, ce sont les chiffres du BNR qui seront utilisés pour l'évaluation environnementale du BNR
50	**Eco-Emballages - Sophie Bonnier**	41		Distance tri MPR : 304 km cela concerne 71% des emballages, faire une moyenne avec les 447km des 29% restants.	Valeur modifiée
51	**Eco-Emballages - Sophie Bonnier**	41		Distance tri MPR métaux non ferreux Alu de CS 91% du gisement de 360 à 422 km, pour les 9% restants de 372 km à 537 km : faire une moyenne Alu mâchefer : 99% de 244km à 512km	Valeur modifiée L'aluminium des mâchefers n'est pas comptabilisé dans la filière
52	**Eco-Emballages - Sophie Bonnier**	45		Rapport d'activité 2015 Eco-Emballages : 615 kT de carton issus des ménages, collecte sélective, i.e. en sortie de centre de tri	Le périmètre couvert par les chiffres de FEDEREC est parfois différent des chiffres d'Eco-Emballages. Néanmoins, ce sont les chiffres du BNR qui seront utilisés pour l'évaluation environnementale du BNR

53	**Eco-Emballages - Sophie Bonnier**	48		Carton : 68% FR (199km) , 28% UE (713km)	Les chiffres Eco-Emballages portent sur 10% des volumes collectés en France. Ceci peut expliquer la différence sur les chiffres que vous présentez.
54	**Eco-Emballages - Sophie Bonnier**	49		Rapport d'activité 2015 Eco-Emballages : 1949 kT de verre issus des ménages	Le périmètre couvert par les chiffres de FEDEREC est parfois différent des chiffres d'Eco-Emballages. Néanmoins, ce sont les chiffres du BNR qui seront utilisés pour l'évaluation environnementale du BNR
55	**Eco-Emballages - Sophie Bonnier**	53		Regroupement -->MPR : 222km, source CIM Eco-Emballages	Valeur modifiée
56	**Eco-Emballages - Sophie Bonnier**	58		Les données du CIM Eco-Emballages portent uniquement sur les emballages ménagers, ne pas prendre cette source pour les emballages industriels	Nous conservons cette hypothèse faute de mieux mais nous avons modifié la source
57	**Eco-Emballages - Sophie Bonnier**	65		Tx substitution PET : 90% BEE : 100%, 1kg de RPET remplace 1kg de PET vierge, ce ration impacte significativement les résultats. Expliquer le 90% à l'image de l'explication donnée pour le carton	Remplacé par 100%
58	**Eco-Emballages - Sophie Bonnier**	70	Tableau III-22	ICV recyclage PET PE EcoInvent est utilisé alors que des données plus précises existent, cf Guide des données de BEE	Inventaire remplacé par le dernier inventaire publié par PlasticsEurope



Remerciements

FEDEREC et l'ADEME, remercient tout particulièrement RDC environment pour le travail réalisé et le sérieux du rendu.

Grâce à leur précieuse collaboration, nous pouvons proposer et diffuser, pour la première fois, une évaluation environnementale du recyclage en France, selon la méthodologie de l'analyse de cycle de vie.

Toute notre reconnaissance vers Anne-Claire Beucher, responsable du Pôle QSE & Quali'op et Cyrille Martin, chargé de mission pour leur participation à l'élaboration de l'étude et leur investissement.

FEDEREC
Les entrepreneurs au cœur
de l'économie circulaire
101, rue de Prony – 75017 Paris
01 40 54 01 94
accueil@federec.com
www.federec.com

ADEME
Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Énergie
27 Rue Louis Vicat, 75000 Paris
01 47 65 20 00
www.ademe.fr

