

METHODES INNOVANTES D'EVALUATION DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES DECHETS

RAPPORT FINAL

14 février 2018

Responsables scientifiques :

Augustin Chanoine, Frédéric Croison
Deloitte – 185 avenue Charles de Gaulle
92200 Neuilly-sur-Seine

Deloitte.

Marc-Andre Wolf
Maki Consulting GmbH - Sepp-Zehentner-Str. 33,
83071 Stephanskirchen, German

maki Consulting GmbH
Life cycle expert services

Charlotte Hugrel, Magalie Palluau
Bleu Safran - 41 rue Gambetta - 71000 Mâcon



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

- ✓ En Bibliographie, ce document sera cité sous la référence :
SCORE LCA, Méthodes innovantes d'évaluation de l'impact environnemental des déchets, 2018, 192 pages, n°2015-05.
- ✓ Ces travaux ont reçu le soutien de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) - www.ademe.fr
- ✓ Les points de vue et recommandations exprimés dans ce document n'engagent que les auteurs et ne traduisent pas nécessairement, sauf mention contraire, l'opinion de l'ensemble des membres de SCORE LCA.
- ✓ Les informations et les conclusions présentées dans le présent document ont été établies au vu des données scientifiques et techniques et d'un cadre réglementaire et normatif en vigueur à la date de l'édition des documents.

Comité de suivi pour SCORE LCA : Elisa Alegrini – ENGIE, Anne-Marie Blanc – EDF, anne Bouter – IFPEN, Mickael Buronfosse – EDF, Jean-paul Cazalets – Total, Van Dang – Renault, Eric Debedde – Total, Daniel Dunet – Veolia R&I, Jade Garcia – SCORE LCA, Denis Le Boulch – EDF, Mélanie Pélissard – Renault, Philippe Osset – SCORE LCA, Ywann Penru – ENGIE, Anne Prieur-Vernat – ENGIE, Jeanne Serre - Veolia R&I, Christèle Wojewodka – Saint-Gobain.

Sommaire

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS, ET CONTENU DU DOCUMENT	5
1.1. Contexte de l'étude	5
1.2. Objectifs de l'étude	7
1.3. Contenu du document	7
1.4. Répartition des responsabilités de rédaction au sein du consortium	8
2. PHASE 1 – REVUE, APPLICABILITE ET PERPECTIVES	9
2.1. Revue de littérature	9
2.1.1. Méthodologie	9
2.1.2. Résultats	9
2.2. Enquêtes en ligne	11
2.2.1. Méthodologie	11
2.2.2. Résultats	13
2.3. Analyse approfondie des méthodes	13
FICHE METHODE N°1 : LA « FORMULE INTEGREE »	14
FICHE METHODE N°2 : L'APPROCHE « MULTI-RECYCLING »	32
FICHE METHODE N°3 : COMPTABILISATION DE LA VALEUR RESIDUELLE DES DECHETS	49
FICHE METHODE N°4 : INCLUSION DES ACTIVITES DE PREVENTION DANS LES ACV DE GESTION DES DECHETS	62
FICHE METHODE N°5 : PERSPECTIVE « MULTI-INPUT VERSUS MULTI-OUTPUT »	74
FICHE METHODE N°6 : COUPLAGE MFA ET ACV	86
FICHE METHODE N°7 : LA « CIRCULAR FOOTPRINT FORMULA »	97
1 - CARTE D'IDENTITE DE LA METHODE	97
2 – INTRODUCTION	98
3 - ENJEUX / OBJECTIFS	99
4 - DESCRIPTION	99
i. Principes	99
ii. Méthode de calcul	102
i. Données nécessaires	104
5 - CAS D'APPLICATION	105
6 - ANALYSE DETAILLEE	105
7 - CONCLUSIONS / AVIS SUR LA METHODE	106
8 - DOCUMENTS DE REFERENCE / CONTACTS-CLES	106
FICHE METHODE N°8 : ICV DE LA GESTION EN FIN DE VIE DES MATERIAUX CONSTITUTIFS DES EEE DANS LE CADRE DE LA FILIERE AGREEE DES DEEE	115
PART A FICHE METHODE N°8 : ETABLISSEMENT D'ICV DE GESTION DES DEEE	115
1. CARTE D'IDENTITE DE LA METHODE	115
2. INTRODUCTION	116
3. ENJEUX / OBJECTIFS	117
1. DESCRIPTION	117
1.1. Principes	117
1.2. Points clés de la démarche de couplage MFA/ACV mise en œuvre dans le cadre des travaux	119
1.3. Données nécessaires	121
2. CAS D'APPLICATION	122
3. ANALYSE DETAILLEE	122
4. CONCLUSIONS / AVIS SUR LA METHODE	125

5. DOCUMENTS DE REFERENCE / CONTACTS-CLES	126
2.4. Echanges avec les auteurs des méthodes	126
2.5. Conclusions et perspectives	126
2.5.1. Analyse des méthodes vis-à-vis des enjeux identifiés de la gestion des déchets	126
2.5.2. Analyse des méthodes en regard du contexte et des objectifs de l'étude	133
2.5.3. Perspectives	148
3. PHASE 2 - SUJETS D'APPROFONDISSEMENT	150
3.1. Sujet d'approfondissement A : Allocation multi-cycle de vie	150
3.1.1. Introduction	150
3.1.2. Analyse des méthodes	151
3.1.3. Allocation multi-cycle de vie – conséquences et limites	151
3.1.4. Approche multi-recyclage (MRA)	153
3.1.5. La Circular Footprint Formula (CFF)	159
3.1.6. Conclusions et recommandations	169
3.2. Sujet d'approfondissement B : Prise en compte de la « valeur résiduelle » effective des déchets	170
3.2.1. Principaux enseignements de l'analyse de la méthode	170
3.2.2. Discussion sur l'extension potentielle de la méthode et son application aux ressources	171
4. REFERENCES	178
ANNEXE 1 : RETOURS DES DEVELOPPEURS SUR L'ANALYSE DETAILLEE DES METHODES	179
4.1. Fiche n°1 - Approche intégrée: retours de maki	179
4.2. Fiche n°2 - Approche "Multi-recycling" – retour des auteurs	181
4.3. Fiche n°3 - Comptabilisation de la valeur résiduelle du déchet : retour de Bleu Safran	181
4.4. Fiche n°4 - Inclusion de la prévention dans les ACV de gestion des déchets : retour de Simone Nessi	181
4.5. Fiche n°5 - Approche « multi-input » et « multi-output » : retour de Gabriella Fiorentino	182
4.6. Fiche n°6 - Couplage MFA/ACV	183
4.6.1. Retours d'Eva Sévigné	183
4.6.2. Retours de Van Eygen	183
4.7. Fiche n°7 - Circular Footprint Formula: retours de Luca Zampori (Commission, Européenne - JRC)	184
4.8. Fiche n°8 – ICV de la gestion de fin de vie des matériaux constitutifs des EEE dans le cadre de la filière agréée des DEEE	184
4.8.1. Retours de Bleu Safran	184
4.8.2. Retours de Récyllum	188
4.8.3. Retours d'Eco-systèmes	189

1. Contexte et objectifs, et contenu du document

1.1.Contexte de l'étude

❖ Du déchet à la ressource

La perception des déchets a fortement évolué au cours des dernières décennies : hier perçus comme des flux de matière dépourvus de valeur, **les déchets sont perçus aujourd'hui comme de véritables ressources**. Cette transition de la notion de déchet à celle de ressource s'est notamment traduite par l'ancrage du concept d'**économie circulaire**, véritable changement de paradigme, visant à instaurer une logique de « boucles vertueuses » dans lesquelles les matériaux pouvant être recyclés sont réinjectés dans l'économie : l'objectif est de maximiser la réutilisation et le recyclage, et de minimiser la production de déchets.

Dans l'Union Européenne, l'économie circulaire s'est progressivement imposée dans l'agenda législatif et politique. Pour ne citer que quelques textes-clés : la directive européenne n°98/2008 CE sur la gestion des déchets instaure notamment la hiérarchie des modes de traitement des déchets à partir du principe de priorité « réduire, réemployer, recycler » ; la feuille de route « *pour une Europe efficace dans l'utilisation des ressources* » parue en septembre 2011 renforce davantage le lien entre déchets et ressources ; enfin, la Commission Européenne vient de publier son **paquet « économie circulaire »**, qui consiste en un plan d'action ambitieux couvrant tout le cycle de vie des produits et services, et incluant des propositions de révision des directives relatives aux déchets, fixant par exemple un objectif de recyclage de 65 % des déchets municipaux et de 75 % des déchets d'emballage à horizon 2030.

Il faut donc changer notre point de vue sur les déchets et leur valeur : les déchets et les ressources sont en fait deux faces de la même médaille. On s'intéresse dorénavant aux décharges comme de potentielles réserves de matériaux : le gisement est important, et la concentration de certains matériaux dans les produits stockés est plus importante que celle du minerai initial dans la croûte terrestre. On parle même de « **mines urbaines** ».

Dès lors, comment ce changement de perception et la vision du déchet comme ressource se reflètent-ils dans les évaluations environnementales et leurs évolutions récentes ?

❖ Evaluation de l'impact environnemental de la gestion des déchets

En parallèle, la capacité à évaluer l'impact des filières de gestion des déchets, notamment sur le plan environnemental, est devenue un enjeu important pour les décideurs publics et privés. Un grand nombre de méthodes et d'approches peuvent être utilisées comme outil d'aide à la décision en matière de gestion des déchets. L'ACV est une méthode pertinente, mais d'autres méthodes d'analyse systémique sont également utilisées, comme l'évaluation environnementale stratégique (EES), l'analyse de risques (AR), l'analyse des flux de matières (Material Flow Analysis – MFA), l'analyse des flux de substances (Substance Flow Analysis – SFA), l'analyse « input-output » (IO), l'analyse énergétique ou exergétique, l'analyse de l'entropie...

Parmi ces méthodes, l'ACV trouve un écho fort auprès des pouvoirs publics : à titre d'exemple, dans sa stratégie sur la thématique des déchets, la Commission Européenne encourage l'utilisation de la pensée cycle de vie et de l'ACV en complément de la hiérarchie des modes de traitement des déchets de la directive européenne n°98/2008 CE afin d'appuyer la prise de décision sur la gestion des déchets sur des éléments concrets d'un point de vue environnemental. Cependant, les autres méthodes apportent aussi des éclairages intéressants et complémentaires sur les filières de gestion de déchets.

❖ La gestion des déchets : des filières complexes à évaluer

De par la nature spécifique des activités de gestion des déchets, évaluer leur performance environnementale comporte des enjeux majeurs en termes de méthodologie de calcul :

- La multifonctionnalité de la gestion des déchets entraîne des difficultés quant à la définition des règles d'allocation : à quel(s) cycle(s) de vie doivent être alloués les impacts et bénéfices environnementaux de la gestion des déchets, et quelles règles utiliser ? De plus, le recyclage permet potentiellement à

la matière d'être intégrée dans plusieurs cycles de vie. Dès lors, comment mieux considérer l'ensemble des cycles de vie d'un matériau lors du choix de la méthode de comptabilisation et d'allocation pour évaluer le recyclage de manière équitable ? Faut-il répartir de manière plus homogène sur l'ensemble des cycles de vie les impacts de la production du matériau primaire ?

- En lien avec le point précédent, le recyclage des déchets est à cheval sur deux cycles de vie. Par conséquent, où faut-il placer la frontière du système étudié ?
- Les activités de gestion des déchets sont complexes à appréhender et à retranscrire au sein d'ICV ayant une bonne représentativité : ce sont des activités multi-opérateurs, multi-matériaux, recouvrant des phénomènes physico-chimiques complexes et se produisant sur des échelles de temps variées (court terme dans le cas de l'incinération ou long terme dans le cas de l'enfouissement). Les données nécessaires à la prise en compte de ces procédés sont souvent parcellaires ou non représentatives du contexte spécifique de l'étude.
- Toujours sur les aspects de qualité des données, et étant donné que les procédés de traitement sont en constante évolution, quid de la représentativité de données actuelles pour modéliser les procédés de traitement de produits à longue durée de vie (produits de construction, biens d'équipement, etc.), qui seront mis en œuvre parfois dans plusieurs dizaines d'années ? Dans le même ordre d'idée, si l'on a choisi une méthode de substitution, à quoi se substitueront les matériaux recyclés dans plusieurs dizaines d'années (on retrouve ici une problématique similaire à la difficulté d'appréhension de la fonction rendue par les ressources dans un contexte d'évolutions technologiques permanentes) ?
- Le caractère multi-étapes des activités de gestion des déchets rend la caractérisation du déchet tout au long des étapes de traitement complexe.
- Le recyclage fournit de la matière secondaire qui est réinjectée dans l'économie. Comme retranscrit récemment dans le paquet économie circulaire de la CE, une des barrières à une plus grande intégration de matériau secondaire dans la fabrication de nouveaux produits est le manque de visibilité quant à la qualité du matériau secondaire par rapport au matériau primaire (incertitude sur la qualité du matériau, manque de normes, de labels, etc.). A cet enjeu fait écho la difficulté d'identifier les grandeurs pertinentes pour retranscrire les différents niveaux de qualité du matériau secondaire obtenu par différents processus de recyclage. De plus, la grandeur qu'il est pertinent de retenir dépend de l'application dans laquelle ce matériau secondaire est intégré, selon que ce matériau est utilisé pour ses propriétés mécaniques, de conductivité électrique (cas des câbles métalliques), etc. La valeur économique du matériau secondaire, fluctuant au cours du temps, est-elle une grandeur pertinente, corrélée à la qualité du matériau ?

A ces difficultés de choix de la méthode et des données les plus adaptées au cas d'étude s'ajoutent d'autres enjeux :

- Pour le praticien, la complexité des méthodes de comptabilisation environnementale des activités de gestion de déchets entraîne parfois une difficulté d'implémentation de ces méthodes dans les logiciels d'ACV.
- Il est difficile, pour des non-experts, de comprendre ces méthodes, leurs liens avec la réalité physique des procédés industriels, les résultats de ces méthodes, et l'influence que peut avoir le choix de telle ou telle méthode sur l'orientation du marché et les efforts des différents acteurs d'une filière.

❖ *Vers des méthodes d'évaluation environnementale innovantes*

Pour faire face à ces enjeux, des efforts de recherche sont déployés pour améliorer la robustesse et la pertinence des méthodes d'évaluation environnementale des filières de gestion des déchets, et des développements méthodologiques sont toujours en cours. Comment évoluent les méthodes d'évaluation environnementale ? Les enjeux mentionnés précédemment sont-ils mieux appréhendés par les méthodes récentes ou en cours de développement ? Un lien est-il tissé entre l'évaluation de la consommation des ressources et les problématiques de gestion des déchets ?

En 2010, BIO a réalisé pour le compte de l'association RECORD un état de l'art de la prise en compte de la fin de vie en ACV. Depuis, certains projets SCORELCA se sont également penchés sur certains aspects des méthodes d'évaluation environnementale de la gestion des déchets. Il est clé pour les membres de SCORELCA de faire le point et d'appréhender les développements récents.

1.2.Objectifs de l'étude

Les objectifs de l'étude sont les suivants :

- Identifier l'ensemble des méthodes innovantes d'évaluation de l'impact environnemental des déchets existantes ou en développement et réaliser une analyse critique de ces méthodes.
- Rendre les méthodes jugées les plus pertinentes directement opérationnelles pour les membres de SCORELCA notamment via l'élaboration de fiches pratiques d'application.
- Réaliser un focus sur deux enjeux majeurs de l'évaluation des déchets : les modes de prise en compte et d'affectation des « déchets de seconde vie », et la prise en compte de la « valeur résiduelle » environnementale des déchets.

1.3.Contenu du document

Ce document présente les résultats des deux phases du projet :

- Chapitre 2 : Revue, applicabilité et perspectives (Phase 1),
- Chapitre 3 : Sujets d'approfondissement (Phase 2).

Un tableau récapitulatif présente la correspondance entre les différentes phases / tâches de l'étude et les différentes sections du présent rapport.

Phase	Tâche	Sous-tâche	Section du rapport
Phase 1 - Revue, applicabilité et perspectives	A – Revue exhaustive	Revue bibliographique	2.1
		Réalisation d'une enquête en ligne et analyse des résultats	2.2
	B - Revue détaillée : classification et analyse critique	Classification des méthodes	2.1
		Analyse critique des méthodes sélectionnées	2.3
		Echanges avec les auteurs des méthodes	2.4
	C - Applicabilité et perspectives	Elaboration de fiches synthétiques	2.3
		Identification des pistes d'amélioration et perspectives d'évolution	2.5
Phase 2 - Sujets d'approfondissement	Sujet d'approfondissement A : Mode de prise en compte et d'affectation des « déchets de seconde vie »		3.1
	Sujet d'approfondissement B : Prise en compte de la « valeur résiduelle » effective des déchets		3.2

1.4. Répartition des responsabilités de rédaction au sein du consortium

Le tableau ci-dessous présente la structure auteur / co-auteur de chaque section du rapport.

Chapitre	Section / sous-section	Auteurs
Chapitre 2 : Phase 1 - Revue, applicabilité et perspectives	2.1 Revue de littérature	Deloitte, avec le support de maki et Bleu Safran
	2.2 Enquêtes en ligne	Deloitte
	2.3 Analyse approfondie des méthodes	<i>Voir Tableau 5 page 13</i>
	2.4 Echanges avec les auteurs des méthodes	<i>Responsable de l'analyse critique de chaque fiche, voir Tableau 5 page 13</i>
	2.5 Conclusions et perspectives	Deloitte
Chapitre 3 : Phase 2 - Sujets d'approfondissement	3.1 Sujet d'approfondissement A : Mode de prise en compte et d'affectation des « déchets de seconde vie »	maki sauf §3.1.4 : Bleu Safran / Deloitte
	3.2 Sujet d'approfondissement B : Prise en compte de la « valeur résiduelle » effective des déchets	Deloitte / Bleu Safran

2. Phase 1 – Revue, applicabilité et perspectives

2.1. Revue de littérature

2.1.1. Méthodologie

Une importante revue de la bibliographie sur les méthodes d'évaluation de l'impact environnemental de la gestion des déchets a été menée.

Le périmètre de la revue de la littérature comprend :

- les méthodes purement « ACV »,
- les méthodes combinant l'ACV et d'autres approches méthodologiques (ex. : combinaison MFA/ACV, ACV/analyse du risque, etc.),
- Les autres méthodes « non ACV » (ex. : analyse du risque, analyse coûts-bénéfices, aide à la décision multicritère (« Multi-Criteria Decision Making »).

La recherche a été concentrée sur des méthodes développées depuis 2010 (90% des références identifiées). En effet, les méthodes de calcul de fin de vie en ACV déjà bien documentées et implantées dans le panorama des approches couramment utilisées (ex. : approches « 100:0 », « 0:100 », « 50:50 », méthode des stocks, formule du PEF, etc.) sont citées dans le cadre de la revue de littérature mais ne sont pas retenues dans le périmètre des méthodes à analyser, celles-ci ayant déjà fait l'objet d'études approfondies via l'étude RECORD¹ de 2010 ou d'autres projets SCORELCA. Ces méthodes connues constituent la base de connaissances de la présente étude.

Les sources de publications consultées comprennent :

- Des articles de revues spécialisées principalement (International Journal of LCA, Waste Management Resource, Journal of Cleaner Production, Resources, Conservation and Recycling),
- Des thèses ou rapports d'étude accessibles,
- Des normes, guides et référentiels méthodologiques.

2.1.2. Résultats

A l'issue de la revue de la littérature, une base de données bibliographique (tableur transmis à SCORELCA) a été constituée regroupant 93 références identifiées, dont 84 publiées à partir de 2010, le reste entre 2006 et 2009.

Les études identifiées ont été classées selon les catégories suivantes :

- Développements méthodologiques,
- Cas d'étude,
- Comparaisons d'approches,
- Revues bibliographiques / état des lieux.

La revue de littérature réalisée comporte les limites suivantes :

¹ Association RECORD, *Mode de prise en compte de la fin de vie lors de la réalisation d'analyses de cycle de vie (ACV) « produits » - Etat de l'art*, Rapport final, mai 2010

- Elle n'a pas pour objet d'être complètement exhaustive, mais de dégager les tendances en termes de développements de méthodes,
- Il y a une incertitude sur les méthodes en cours de développement qui ne sont peut-être pas repérées via cette revue bibliographique. La phase d'enquêtes permet de lever cette difficulté,
- Le caractère « innovant » des méthodes est difficile à évaluer avant l'analyse détaillée.

Au vu du nombre important de publications identifiées lors de cette revue, un premier filtrage des publications identifiées a été effectué, permettant de se ramener à un nombre limité de méthodes présentant un intérêt plus pertinent pour la suite des travaux. Les résultats de ce premier filtrage des publications sont détaillés dans la base de données bibliographique. Ont notamment été exclues :

- Les méthodes non spécifiques à la gestion des déchets,
- Les revues de littératures (certaines ont néanmoins été utilisées comme clé d'entrée pour l'identification de méthodes d'intérêt),
- Les méthodes déjà couvertes par des projets précédents (voir § précédent), méthodes préconisées par les normes EN 15804 et EN 15978 (peu d'intérêt au vu du caractère innovant recherché),
- Les publications ne donnant pas suffisamment de détails sur la méthode utilisée (études centrées sur les résultats de cas d'étude plutôt que sur la méthode mise en œuvre).

Les méthodes qui ont été présélectionnées l'ont été parmi celles qui semblaient couvrir le mieux les différents enjeux de l'évaluation de la gestion des déchets, à savoir :

- Les enjeux d'allocation,
- La connaissance du système de gestion des déchets,
- La caractérisation du déchet tout au long de la chaîne de traitement/valorisation,
- La représentativité dans le temps.

A l'issue de ce premier filtrage, 21 méthodes ont été présélectionnées et une priorisation des méthodes a été faite, en attribuant à chacune un niveau de priorité en vue d'une sélection finale des 6 à 8 méthodes à analyser en détail dans la suite des travaux.

Les 8 méthodes jugées prioritaires pour une analyse approfondie sont les suivantes (citées dans l'ordre de présentation des fiches méthode dans la section 2.3) :

Tableau 1 – Références bibliographiques sélectionnée en vue d'une analyse approfondie et fiches méthode correspondante

Titre	Auteur(s)	Année	Méthode	Fiche méthode
The "Integrated formula" for modelling recycling, energy recovery and reuse in LCA	Wolf M-A., Wolf (Chomkhamsri) K., Ardente F	2013	Approche intégrée	Fiche n°1
The Multi-Recycling-Approach as a new option to deal with the end-of-life allocation dilemma (présentation dans le cadre de la conférence ACLCA LCA XII, Tacoma, 2012) Et : Ökobilanz nach ISO 14 040/44 für das multirecycling van stahl	Neugebauer S., Finkbeiner M.	2012	Approche « multi-recycling »	Fiche n°2
Bilan environnemental du tri et du recyclage des emballages ménagers plastiques autres que bouteilles et flacons (rapport final d'étude pour l'ADEME et Eco-Emballage)	Hugrel C., Palluau M.	2014	Comptabilisation de la valeur résiduelle du déchet	Fiche n°3
Discussion on methods to include prevention activities in waste management LCA	Nessi S, Rigamonti L., Grosso M	2013	Inclusion de la prévention dans les ACV de gestion des déchets	Fiche n°4

Titre	Auteur(s)	Année	Méthode	Fiche méthode
"Life Cycle Assessment of Mixed Municipal Solid Waste: Multi-input versus multi-output perspective ²	Fiorentino G., Ripa M., Protano G., Hornsby C., Ulgiati S.	2015	Approche « multi-input » et « multi-output »	Fiche n°5
Methodology of supporting decision-making of waste management with material flow analysis (MFA) and consequential life cycle assessment (CLCA): case study of waste paper recycling	Sévigné-Itoiz, E., Gasol C. M., Rieradevall J., Gabarrell X.	2014	Couplage MFA/ACV	Fiche n°6
Environmental consequences of recycling aluminium old scrap in a global market	Sévigné-Itoiz, E., Gasol C. M., Rieradevall J., Gabarrell X.	2014		
Combined material flow analysis and life cycle assessment as a support tool for solid waste management decision making	Turner D. A., Williams I. D., Kemp S.	2016		
"Circular Footprint Formula": approche recommandée par la Commission européenne dans le cadre de la phase pilote PEF-OEF	Commission européenne	2016	Circular Footprint Formula (CFF)	Fiche n°7
ICV de la gestion en fin de vie des matériaux constitutifs des équipements électriques et électroniques dans le cadre de la filière agréée des DEEE	Eco-systèmes; Récyllum; Bleu Safran	2016	Couplage MFA/ACV	Fiche n°8

2.2. Enquêtes en ligne

2.2.1. Méthodologie

Une phase d'enquête auprès des praticiens ACV et développeurs de méthodes d'une part et auprès de relais à l'international d'autre part est en cours afin, notamment, de compléter la revue bibliographique présentée précédemment.

Le tableau suivant récapitule de façon synthétique la stratégie d'enquêtes :

Tableau 2 – Récapitulatif de la stratégie d'enquêtes

Enquête	Praticiens ACV et développeurs de méthode	« Relais » à l'international
Objectifs	- Compléter l'inventaire des documents / méthodes d'évaluation environnementale - Identifier les difficultés et attentes des praticiens - Recueillir leur point de vue sur les avancements méthodologiques récents	- Identifier les recommandations et réglementations existantes au niveau européen ou dans les EM

² Note importante : Dans le cadre des échanges que l'équipe projet a eus avec les auteurs de la méthode, ces derniers ont souhaité insister sur le fait que l'approche n'avait pas été proposée comme une méthode en tant que telle, mais avait été conduite dans une optique d'analyse de sensibilité, afin de tester la robustesse des résultats en changeant de point de vue et d'Unité Fonctionnelle (en passant d'une UF=traitement d'1 tonne de déchet à une UF=1 kWh d'exergie fournie). Les auteurs indiquent que l'approche présentée est une application de méthode et norme existantes et non une proposition de méthode innovante.

C'est un point à garder en tête à la lecture de l'analyse détaillée qui est présentée plus loin, et qui doit plutôt être lue comme l'analyse d'une possible généralisation de la méthode à d'autres cas de traitement et de valorisation de déchets que le seul cas d'étude présenté dans la publication.

Enquête	Praticiens ACV et développeurs de méthode	« Relais » à l'international
Diffusion	- Via les listes de diffusion ACV (LCA discussion list, LCT forum) - Complété par un mailing spécifique aux acteurs-clé : ▪ Réseau de partenaires / clients ▪ Auteurs de publications récentes (non sélectionnées) ▪ Participants aux WS PEF-OEF	- Mails spécifiques : - JRC, ADEME, UBA, ... - Fédérations industrielles pertinentes - Fédérations de producteurs de matériaux
Questions (non exhaustif)	- Quels sont pour vous les principaux enjeux pour la quantification environnementale du traitement des déchets ? (liste déroulante + texte libre) - Quelles méthodes innovantes (liste des 21 méthodes présélectionnées fournie) - Les méthodes récentes vous semblent-elles répondre aux enjeux ?	- Questions posées aux praticiens (voir à gauche) - Question spécifique sur l'existence de réglementations imposant / recommandant l'usage de telle ou telle méthode

Les questionnaires ont été diffusés via les canaux suivants :

Tableau 3 – Liste de diffusion des deux questionnaires

Questionnaire	Cible	Type
Praticiens ACV et développeurs de méthode	LCA in Industry	Groupe LinkedIn
	LCA and Environmental Assessment	Groupe LinkedIn
	Life Cycle Assessment	Groupe LinkedIn
	UNEP/SETAC Life Cycle Initiative	Groupe LinkedIn
	Life Cycle Assessment - Sustainable Supply Chain, Europe	Groupe LinkedIn
	Carbon Lifecycle Assessment Network	Groupe LinkedIn
	Carbon Footprint Forum	Groupe LinkedIn
	Electronics Recycling and End Of Life Solutions	Groupe LinkedIn
	Green Construction, De-Construction, Re-Construction	Groupe LinkedIn
	U.S. Green Building Council (USGBC)	Groupe LinkedIn
	Computer Recycling	Groupe LinkedIn
	Technical Advisory Board of the PEF initiative	Organisation
« Relais » à l'international	ADEME	Organisation
	JRC	Organisation
	Umwelt Bundesamt	Organisation
	European Aluminium	Fédération/association
	Confederation of European Paper Industry	Fédération/association
	European Copper Institute	Fédération/association
	IZA	Fédération/association
	LDAI	Fédération/association
	PlasticsEurope	Fédération/association
	Worldsteel, EUROFER	Fédération/association
	Confederation of European Waste-to-Energy Plants	Fédération/association
	European Association of Plastics Recycling and Recovery Organisations	Fédération/association
	European Electronics Recyclers Association	Fédération/association
	European Battery Recycling Association	Fédération/association
	European Tyre Recycling Association; CEMBUREAU	Fédération/association
	European Recovered Paper Association	Fédération/association
	European Group of Automotive Recycling Association	Fédération/association
	European association of electrical and electronic waste take back systems	Fédération/association

2.2.2. Résultats

Le tableau ci-dessous récapitule le nombre de retours reçu à l'issue des deux enquêtes :

Tableau 4 – Synthèse des retours reçus à l'issue de la phase d'enquête

Questionnaire	Nombre de répondants	Organisations représentées (lorsque renseigné)
Praticiens ACV et développeurs de méthode	19	• Cabinet d'étude/conseil: Sturgis Carbon Profiling, Thinkstep AG • Association/fédération: PlasticsEurope, European Steel Association • Autre organisme: WRAP
« Relais » à l'international	20	• Eco-organismes: Eco-Mobilier, RECYLUM, Eco-Emballages, Eco-systems, Ecofolio • Institutionnel: JRC / European Commission • Entreprise: Saint-Gobain • Académique: Universität für Bodenkultur (BOKU), Wien

Globalement assez peu d'information supplémentaire sont remontées des enquêtes :

- Les répondants n'ont pas identifié d'enjeu manquant de l'évaluation environnementale de la gestion des déchets par rapport à la liste des enjeux identifiés. Les enjeux préalablement identifiés et explicités dans les questionnaires d'enquête ont semblé couvrir de façon suffisamment exhaustive les principales problématiques associées à l'évaluation environnementale de la gestion des déchets ;
- Une méthode présentant un intérêt pour l'étude a été citée par un répondant : il s'agit de la méthode mise en œuvre par Récyclum, Eco-Systèmes et Bleu Safran pour la production d'ICV de la gestion en fin de vie de 7 flux d'EEE dans le cadre de la filière agréée des DEEE.

2.3. Analyse approfondie des méthodes

Cette section comporte les fiches de description des méthodes sélectionnées (« fiches méthode ») et l'analyse détaillée de chaque méthode. Pour chaque méthode, la fiche est suivie par la grille d'analyse détaillée.

Le tableau suivant fournit l'ordre de présentation des fiches méthode ainsi que les responsables de l'analyse critique au sein de l'équipe projet.

Tableau 5 - Récapitulatif des fiches méthode

Méthode	Fiche méthode	Responsable de l'analyse critique
Approche intégrée	Fiche n°1	Deloitte
Approche « multi-recycling »	Fiche n°2	Bleu Safran / Deloitte
Comptabilisation de la valeur résiduelle du déchet	Fiche n°3	Deloitte
Inclusion de la prévention dans les ACV de gestion des déchets	Fiche n°4	Maki
Approche « multi-input » et « multi-output »	Fiche n°5	Maki
Couplage MFA/ACV	Fiche n°6	Bleu Safran
« Circular Footprint Formula »	Fiche n°7	Maki
ICV de la gestion en fin de vie des matériaux constitutifs des EEE dans le cadre de la filière agréée des DEEE	Fiche 8	Deloitte

FICHE METHODE N°1 : LA « FORMULE INTEGREE »

FICHE METHODE N°1 : LA « FORMULE INTEGREE »

1 - CARTE D'IDENTITE DE LA METHODE

Développeur(s) :	Marc-Andre Wolf, Kirana Wolf (Chomkhamsri), Fulvio Ardente	
Organisation(s) d'appartenance :	maki Consulting GmbH	
Date de première diffusion :	2013	
Date de dernière mise à jour :	NA	
Référence :	• Wolf MA, Chomkhamsri K, Ardente F: <i>Integrated formula</i>, poster LCM 2013 • Wolf MA, Wolf K: <i>The "Integrated formula" for modelling recycling, energy recovery and reuse in LCA</i>, 2013 Approches similaires/liées : • Formule hybride de l'EN15804 : VITO, Leroy C., <i>The EoL formulas in the context of EN 15804</i>, présentation dans le cadre du Workshop du 6 octobre 2014 sur les formules de fin de vie dans le contexte du pilote PEF ; • Formule de l'annexe de l'ISO/TS 14067.	
Utilisateur(s) connu(s) :	European Copper Institute, European Aluminium Association, Eurometaux (association européenne des métaux non ferreux)	
Développée pour un (des) secteur(s) spécifiques ?	Non	
Type de méthode :	☒ ACV : ☒ ICV ☐ AICV ☒ Attributionnelle ☐ Conséquentielle	☐ Autre (ex : couplage ACV/autres méthodes) :
Catégorie(s) d'impact évaluée(s) :	☒ Pas de restriction (par ex. dans le cas de méthodes de calcul de l'inventaire) ☐ Avec restriction:	Monocritère : ☐ GES ☐ Energie ☐ Autre (préciser) : Multicritères (préciser les catégories d'impact couvertes) :

Type(s) de gestion des déchets couvert(s) :	☐ Prévention ☒ Réemploi ☒ Réutilisation ☒ Récupération d'énergie	Recyclage : ☒ Boucle ouverte ☒ Boucle fermée
Données nécessaires :	Facteur correctif de la différence de qualité entre le matériau secondaire et matériau primaire (ou facteur de substitution), appliqué à la fois pour le matériau secondaire entrant dans le produit (contenu en recyclé) et sortant à l'issue du recyclage en fin de vie du produit.	
Périmètre géographique des données :	NA	
Préconisée par une norme, un standard, un référentiel méthodologique ?	Recommandée dans la version en cours d'élaboration du the PEFCR "feuilles métalliques" Recommandée par l'industrie des métaux dans le CEN/TC 350 dans le cadre de la procédure de standardisation de l'EN 15 804	

2 - INTRODUCTION

La méthode développée par Marc-Andree Wolf, Kirana Chomkhamsri and Fulvio Ardenne, la « formule Intégrée », est une interprétation de la méthode dite « recyclability substitution³ », décrite dans le chapitre 14.5 de l'ILCD Handbook⁴. Partant du constat que le texte proposé dans l'ILCD ne présente pas de formule concrète pour modéliser la gestion de la fin de vie des produits, les auteurs ont interprété et généralisé certains aspects du texte de l'ILCD (par exemple le facteur de correction pour tenir compte du « downcycling⁵ ») tout en s'affranchissant de certaines exigences liées à la modélisation purement conséquentielle.

Comme décrit dans l'ILCD [ILCD10], l'approche de « recyclability substitution » présente les caractéristiques suivantes :

- Il s'agit d'une approche développée pour résoudre les problèmes de multifonctionnalité en modélisation conséquentielle. L'approche tend à stimuler un taux de recyclabilité élevé des matériaux, tant en qualité qu'en quantité, et ne tient pas compte, dans l'inventaire final, du contenu en recyclé dans le produit. Dans cette approche, la production primaire évitée d'un matériau est créditée à la fin de vie du produit selon son taux de recyclage. Le recyclage, l'élimination des déchets résiduels et les impacts associés à ces procédés sont intégrés au premier cycle de vie [ILCD10].
- De ce fait, l'approche de « recyclability substitution » tend à récompenser un taux de recyclage élevé, en particulier des matériaux/ressources à forte valeur et/ou le recyclage en ressources secondaires à plus forte valeur. Le contenu en recyclé est quant à lui récompensé quand les matériaux secondaires autrement non utilisés ou enfouis sont mobilisés. A noter que les voies de production primaire et de production primaire substituée ne sont pas nécessairement identiques : une voie spécifique peut être utilisée pour le matériau acheté, alors que les crédits peuvent être calculés sur la base du mix de voies de production aux coûts les plus compétitifs [ILCD10].

³ La méthode est aussi appelée « end of life recycling » ou « recycling potential »

⁴ ILCD Handbook – General guidance for Life Cycle Assessment – Detailed guidance, Commission Européenne, 2010

⁵ Le « downcycling » désigne l'effet selon lequel un matériau ou un produit est recyclé en un matériau secondaire ou un produit de moindre qualité/valeur.

- Enfin, l'approche intègre une perte de qualité du matériau secondaire, soit en substituant moins de production primaire en conséquence, soit en appliquant un facteur correctif [ILCD10].

La « formule intégrée » proposée par Wolf et Chomkamsri est donc une interprétation, une extension et une mise en équation de l'approche de « recyclability substitution » de l'ILCD Handbook. Elle ajoute l'élément clé de considérer la qualité du contenu en recyclé en entrée, ayant pour effet de stimuler de façon égale l'utilisation de contenu en recyclé de qualité plus faible (d'où la qualification de « formule intégrée », combinant à la fois un recyclage meilleur et plus important avec une utilisation plus importante de contenu en recyclé de qualité plus faible).

3 - ENJEUX / OBJECTIFS

Proposer une formule de fin de vie unique qui permette de modéliser n'importe quelles situations en fin de vie, applicable à tous les types de matériau

Constatant que les référentiels ACV et les recommandations techniques existants proposent des approches hétérogènes pour modéliser la fin de vie, les auteurs ont pour objectif principal de proposer une formule intégrée qui permette aux praticiens d'ACV de se référer à une formule unique afin de modéliser n'importe quelle situation de fin de vie (comme par exemple les boucles ouvertes ou fermées de recyclage, la réutilisation de parties de produit, la récupération d'énergie), applicable à n'importe quel type de matériau et type d'énergie.

S'affranchir des limites des méthodes d'allocation existantes pour traiter la multifonctionnalité des filières de gestion des déchets

La modélisation de la fin de vie en ACV soulève de nombreuses questions toujours débattues actuellement (voir les discussions en cours dans le cadre de la phase pilote du PEF), en particulier le problème de la comptabilisation des impacts et des bénéfices environnementaux liés au recyclage et à l'utilisation de matériau recyclé et d'énergie récupérée. Considérant que les choix de modélisation de la fin de vie influence les résultats d'ACV des produits analysés et, en conséquence, oriente les décisions (efforts pour augmenter la recyclabilité, utilisation de matériaux secondaires, etc.), les auteurs proposent une méthode permettant de s'affranchir des limites des méthodes d'allocation en fin de vie les plus utilisées en ACV. A titre d'exemple, quelques méthodes d'allocation et limitations sont décrites brièvement :

- La méthode des stocks (ou méthode « cut-off ») alloue les impacts de la production des matériaux primaires au produit qui utilise ce matériau primaire, mais les impacts de la collecte et du procédé de recyclage d'un matériau en un matériau secondaire utilisable sont alloués au produit qui utilise ce matériau secondaire et aucun crédit n'est comptabilisé : l'approche n'encourage donc pas les efforts d'écoconception pour une meilleure recyclabilité.
- La méthode « 100:0 » alloue tous les impacts ou bénéfices environnementaux du recyclage au produit qui est recyclé en fin de vie : l'utilisation de matériau recyclé (contenu en recyclé) n'apparaît donc pas. De ce fait, l'utilisation de matériaux secondaires n'est pas encouragée dans cette approche.
- La méthode « 50:50 » alloue équitablement les impacts de la production de matériau primaire et du traitement final des déchets entre le produit qui incorpore le matériau recyclé et le produit qui fournit le matériau à recycler. Une critique faite à cette méthode est qu'elle ne reflète pas la réalité du marché du recyclage de manière réaliste et peut conduire à des conclusions trompeuses pouvant avoir des effets d'incitation pervers sur les acteurs du marché, car elle cherche à combiner deux réalités différentes de marché (reflétés par les méthodes « 100:0 » et « 0:100 »). Selon l'approche « 50 :50 » utilisée, l'enfouissement évité et d'autres aspects peuvent conduire à des effets non plausibles : par exemple, avec cette approche, pour un produit recyclé aboutissant à l'obtention de 100% de matériau secondaire, la moitié reste considérée comme enfouie (cas de la formule de l'annexe V du PEF).

Par ailleurs, la formule intégrée traite de la même façon les matériaux et l'énergie ou la réutilisation.

En outre, le contenu en recyclé peut être de qualité moindre, ce qui signifie que dans le cas où le même niveau de qualité est obtenu lors du recyclage du produit, il n'y a en fait pas de « downcycling » : aucune des méthodes précédemment mentionnées ne prend en compte la qualité du matériau secondaire en entrée, conduisant en conséquence à du double-comptage.

La formule intégrée proposée par les auteurs cherche donc à intégrer, entre autres, les éléments non pris en compte par les méthodes de modélisation de la fin de vie les plus couramment utilisées.

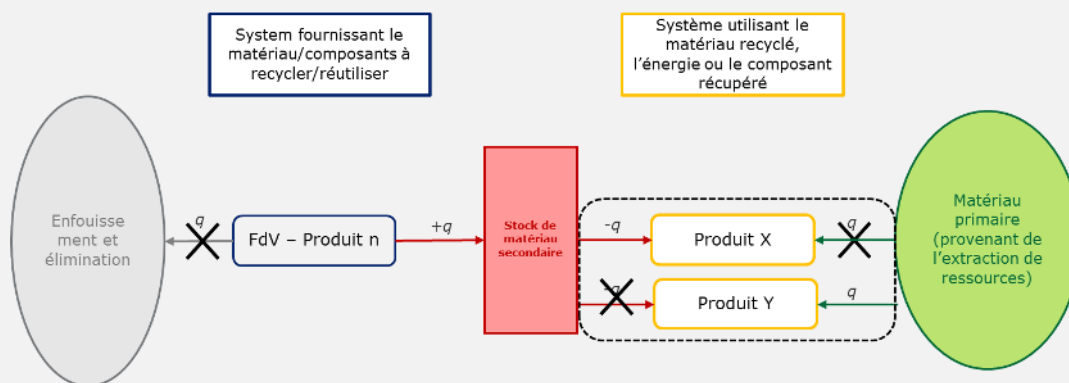
La philosophie générale de la formule intégrée peut également être résumée de la façon suivante : si un produit perd de la matière ou de l'énergie lors de son traitement en fin de vie (par exemple via enfouissement ou incinération sans récupération totale d'énergie), cette perte doit être compensée par du matériau primaire ou de l'énergie. Les pertes sont prises en compte quantitativement, de même que les pertes partielles de qualité.

4 - DESCRIPTION

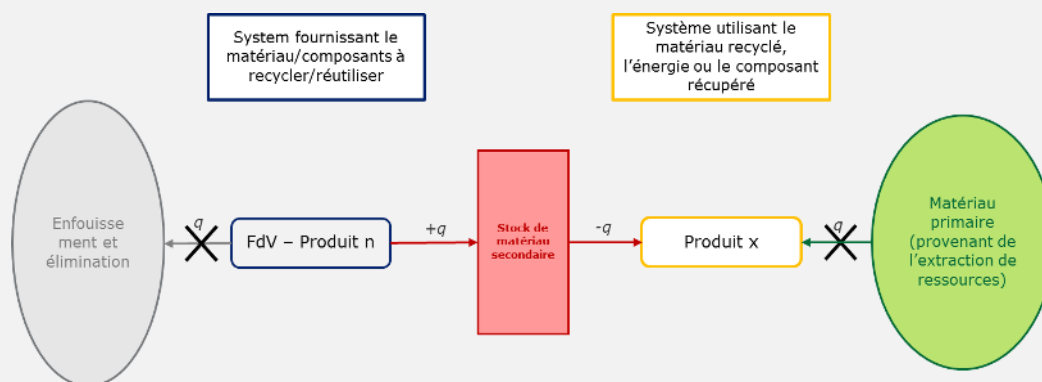
4.1 - PRINCIPES

La formule Intégrée s'applique à la Situation A (aide à la décision au niveau micro) et C1 (comptabilisation) de l'ILCD Handbook [ILCD10]. Elle est basée sur les principes suivants :

1. Le principe central de la formule intégrée est qu'elle **intègre l'effet impliquant que l'utilisation d'un matériau secondaire à partir d'un stock de matériau secondaire par un acteur donné pour fabriquer son produit prive, en retour, un autre acteur de cette même quantité de matériau secondaire pour fabriquer un autre produit**, causant la consommation inévitable d'une quantité équivalente de matériau primaire.

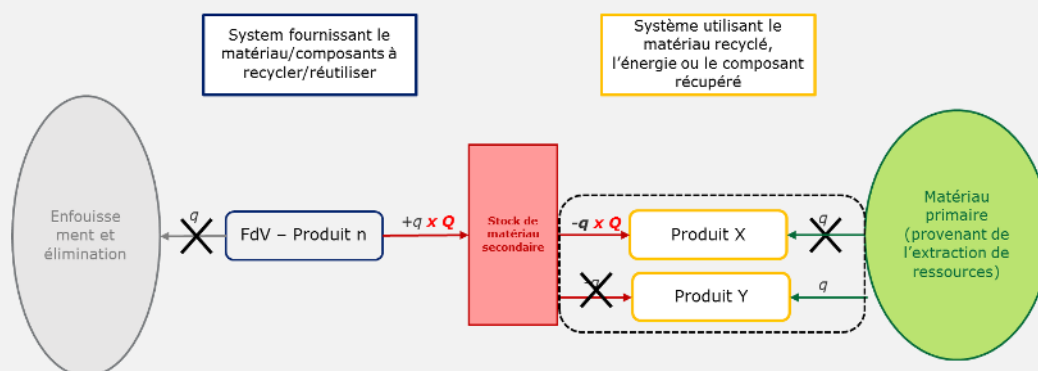


2. La méthode considère les effets liés à la fourniture de matériau secondaire disponible pour d'autres utilisations (c'est à dire le crédit associé à l'évitement de la production de matériau primaire). Ce crédit est équilibré par un débit équivalent par l'utilisateur ultérieur du matériau secondaire (ou de l'énergie récupérée / des parties réutilisées)



3. Elle prend en compte les changements de qualité du matériau, en quantité et en qualité, sur l'intégralité du cycle de vie du produit analysé (et la réduction de la durée de vie des parties réutilisées) : lorsqu'un matériau est recyclé, le matériau original peut subir une perte en quantité et en qualité, ce qui nécessite une compensation pour remplir la même fonction. La méthode introduit donc une grandeur reflétant la qualité du matériau qui assigne une charge environnementale à chaque cycle de vie de produit, cette grandeur pouvant être basée, par exemple, sur le taux de substitution (quantitative), une qualité technique relative (par exemple la résistance à la rupture des fibres, bien

que les auteurs considère ce critère comme difficilement utilisable) ou le prix de marché des matériaux primaires et secondaires.



4. Elle reflète les effets avérés de « downcycling » sur le cycle de vie du produit : le « downcycling » peut avoir lieu en boucle fermée ou ouverte (comme cela est souvent le cas pour les polymères recyclés ou les fibres de papier). L'utilisation de matériau primaire ne peut pas toujours être évitée dans toutes les applications du fait par exemple de la diminution de la longueur des polymères ou des fibres recyclés. Toutefois, en incorporant du matériau secondaire en mélange avec du matériau primaire, la quantité de matériau primaire peut être réduite. Si le « downcycling » n'est pas considéré, cela ne favorise pas la production de matériau secondaire de qualité élevée, résultant en une dégradation potentielle du stock de matériau recyclé.
5. Elle est applicable à la fois aux boucles fermées et aux boucles ouvertes.
6. La méthode prend en compte de façon cohérente le recyclage des matériaux, la récupération d'énergie (et son utilisation comme source d'énergie secondaire dans un autre système de produit) et la réutilisation ultérieure de parties du produit. Ces scénarios sont équivalents du point de vue méthodologique et doivent être modélisés de manière analogue.
7. Elle comptabilise les impacts et bénéfices du recyclage conjointement sur le même cycle de vie : les matériaux qui sont recyclés (et l'énergie qui est récupérée) traversent plus qu'un seul cycle de vie. De fait, les impacts et les bénéfices liés au recyclage doivent être considérés conjointement sur le même cycle de vie.

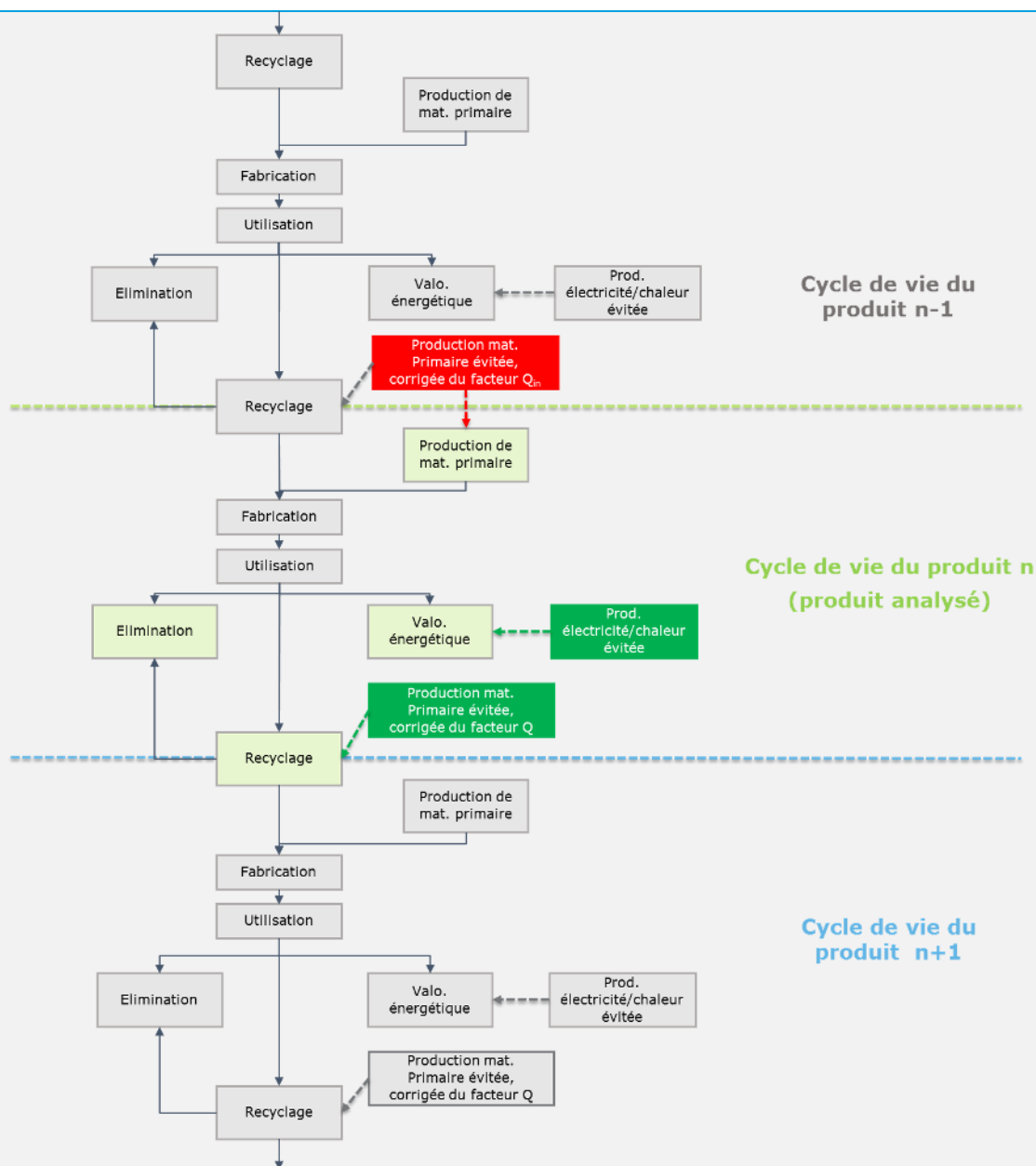


Figure 1 – Schéma de principe de la formule intégrée

4.2 - METHODE DE CALCUL

Formule :

Les impacts environnementaux (E) de la fin de vie d'un matériau sont calculés comme étant la somme des quatre composantes de la formule intégrée:

$$E = \text{Matériau primaire consommé} + \text{Matériau secondaire consommé} + \text{Recyclage matériau} + \text{Récupération d'énergie} + \text{Elimination}$$

Dans sa forme développée, l'inventaire associés à la production et à la fin de vie d'un matériau contenu dans le produit analysé est calculé comme suit :

$$E = (1 - R_1) \times E_V + R_1 \times Q_{IN} \times E_{S_V} + R_2 \times (E_{\text{recyclingEoL}} - E^*_V \times Q) + R_3 \times (E_{ER} - LHV \times X_{ER, \text{elec.}} \times E_{SE, \text{elec}} - LHV \times X_{ER, \text{heat.}} \times E_{SE, \text{heat}}) + (1 - R_2 - R_3) \times E_D$$

Avec :

E_V :	L'inventaire de production du matériau primaire, par kg de matériau primaire
E_{S_V}	L'inventaire de production de matériau primaire substitué par le matériau secondaire utilisé en entrée dans le produit analysé (contenu en recyclé), par kg de matériau primaire
E^*_V	L'inventaire de production de matériau primaire substitué par le matériau secondaire obtenu après traitement en fin de vie du produit analysé, par kg de matériau primaire
$E_{\text{recyclingEoL}}$	L'inventaire du procédé de recyclage appliqué au produit analysé (incluant la collecte, le tri, le transport, le procédé de recyclage...) jusqu'à l'obtention du premier matériau recyclé pouvant être utilisé en remplacement du matériau primaire, par kg de matériau secondaire
E_{ER}	L'inventaire du procédé de récupération d'énergie, incluant le transport, le conditionnement, le stockage, etc. du matériau ou produit, par kg de matériau traité
E_D	L'inventaire d'enfouissement des différents déchets résiduels obtenus au cours du traitement en fin vie du produit : enfouissement direct, rejets, production de déchets lors du recyclage ou la récupération d'énergie (cendres, mâchefers) ; inclue le transport, le conditionnement, le stockage, etc. du matériau ou du produit.
$E_{SE, \text{elec}}$ $E_{SE, \text{heat}}$	L'inventaire de production des sources d'énergie primaire substituées (chaleur et électricité), par MJ d'énergie primaire
R_1	Le contenu en recyclé du produit analysé "1- R_1 " désigne de fait le contenu en matériau primaire du produit)
R_2	Le taux de recyclage du matériau secondaire obtenu par le recyclage du produit analysé, qui peut être utilisé dans les systèmes des produits suivants en substitution d'un matériau primaire T_R prend en compte les pertes de matériau liées l'inefficacité des étapes de collecte et de recyclage $0 \leq T_R \leq 1$
R_3	Le taux du matériau dans le produit analysé qui est valorisé énergétiquement en fin de vie $0 \leq T_{RE} \leq 1$
LHV	Le Pouvoir Calorifique Inférieur du matériau traité en fin de vie qui est valorisé énergétiquement, en MJ/kg de matériau
$X_{ER, \text{elec.}}$ $X_{ER, \text{heat}}$	L'efficacité du procédé de valorisation énergétique prenant en compte les pertes pendant le processus $0 \leq p_{RE} \leq 1$
Q_{IN} Q	Les facteurs de correction des crédits ou des débits : il s'agit des ratios représentatifs de toute différence de qualité entre le matériau secondaire (Q_S) et le matériau primaire (Q_P) : $Q_{IN} = Q_{SIN} / Q_{PIN}$ est le facteur de correction entre le matériau secondaire en entrée et le matériau primaire substitué $Q = Q_S / Q_P$ est le facteur de correction entre le matériau secondaire issu du recyclage en fin de vie du produit et le matériau primaire substitué Ces ratios peuvent être soit le taux de substitution relatif, la qualité technique relative ou le ratio de prix du matériau secondaire et du matériau primaire.

Cas particuliers d'application :

- **Recyclage en boucle fermée** : $E_V = E_{S_V} = E^*_V$

Dans le cas du recyclage en boucle fermée, l'inventaire de production du matériau primaire, de production du matériau primaire substitué par le matériau secondaire incorporé en entrée dans le produit et de production du matériau primaire substitué par le matériau secondaire obtenu après le recyclage en fin de vie du produit sont identiques.

- **Situations de recyclage en boucle fermée, cas où $Q_S/Q_P = 1$ et $Q_{sin}/Q_{pin} = 1$: équivalence de l'approche « 100:0 » et de l'approche intégrée :**

Si le matériau recyclé intégré en entrée comme contenu recyclé ou le matériau obtenu après recyclage en fin de vie du produit analysé n'a subi aucune modification comparé au matériau primaire substitué (ex : cas du verre), le facteur de correction de la qualité est égal à 1. Dans ce cas spécifique, l'approche intégrée est similaire à l'approche « 100:0 ». Dans ce cas, R_1 n'est plus pris en compte, le terme s'annulant. Seul R_2 apparaît dans la formule. Dans ce cas spécifique, la formule intégrée peut être écrite comme suit :

$$E = (1 - R_2) \times E_V + R_2 \times E_{\text{recyclingEoL}} + R_3 \times (E_{ER} - LHV \times X_{ER, \text{elec}} \times E_{SE, \text{elec}} - LHV \times X_{ER, \text{heat}} \times E_{SE, \text{heat}}) + (1 - R_2 - R_3) \times E_D$$

Forme modulaire de la formule intégrée :

Une version « modulaire » de la formule intégrée est proposée dans la première version du PEFCR pour les feuilles métalliques. Cette forme modulaire peut être dérivée de l'équation de base en ajoutant et soustrayant simultanément le terme « $R_1 \times E_{\text{recycled}}$ ». Avec cette version modulaire, les impacts environnementaux de l'étape de production et de l'étape de fin de vie peuvent être plus facilement identifiés, facilitant l'usage de la formule dans le cadre de la démarche PEF.

La version modulaire de la formule intégrée peut être exprimée ainsi :

$$E = (1 - R_1) \times E_V + R_1 \times E_{\text{recycled}} + [R_2 \times (E_{\text{recyclingEoL}} - E_V^* \times Q) - R_1 \times (E_{\text{recycled}} - Q_{IN} \times E_{SV}^*)] + R_3 \times (E_{ER} - LHV \times X_{ER, \text{elec}} \times E_{SE, \text{elec}} - LHV \times X_{ER, \text{heat}} \times E_{SE, \text{heat}}) + (1 - R_2 - R_3) \times E_D$$

Où :

- « $(1 - R_1) \times E_V + R_1 \times E_{\text{recycled}}$ » représente la charge environnementale associée à l'acquisition du matériau à l'étape de production
- « $[R_2 \times (E_{\text{recyclingEoL}} - E_V^* \times Q) - R_1 \times (E_{\text{recycled}} - Q_{IN} \times E_{SV}^*)]$ » : la première partie du terme représente les charges et bénéfices additionnels dus au recyclage en fin de vie, la deuxième partie représente les charges et bénéfices du recyclage déjà comptabilisés au niveau de la production.

4.3 - DONNEES NECESSAIRES

A l'exception du facteur de correction de la qualité, la mise en œuvre de la formule intégrée requiert les mêmes types de données que celles nécessaires aux autres formules de fin de vie couramment utilisées.

La spécificité de la formule intégrée réside dans l'introduction du facteur correctif de la qualité, ce facteur devant être défini de façon cohérente entre les différents matériaux et doit être identique en entrée et en sortie pour le même matériau.

Les auteurs ne fournissent aucune méthode spécifique pour déterminer ce facteur, précisant que la détermination de ce facteur est dépendante de préférences politiques. Cependant les auteurs fournissent quelques exemples sur la manière de dériver ce facteur, sans lignes directrices supplémentaires par exemple par matériau, mais précisent qu'en théorie le facteur de correction le plus approprié serait le facteur de substitution (c'est-à-dire la quantité de matériau primaire qui est effectivement évitée).

5 - CAS D'APPLICATION

Dans le contexte de l'initiative pilote sur l'empreinte environnementale des produits (PEF) de la Commission européenne, la formule intégrée a été appliquée dans un certain nombre d'études d'application des référentiels (« supporting studies ») dont celui des tuyaux de distribution d'eau chaude et froide (PEX, polymères multi-couches, cuivre), des feuilles métalliques et des emballages. Des calculs additionnels ont été réalisés et présentés lors du 3^{ème} atelier sur les formules de fin de vie du 8 septembre 2016 organisé par la Commission européenne

Les auteurs fournissent également un exemple de calcul dans leur Livre blanc.

6 - ANALYSE DETAILLEE

L'approche intégrée englobe les principes fondamentaux d'une approche robuste de modélisation de la fin de vie : la méthode attribue des crédits pour la production évitée de matériau primaire au produit en sortie, équilibre ces crédits par un débit équivalent en entrée, prend en compte la perte réelle de qualité du matériau secondaire, prend en compte les effets de « downcycling » et elle est applicable à de nombreuses situations de fin de vie (applicable à une large gamme de matériaux, boucles ouvertes et fermées, récupération d'énergie, réutilisation,...).

Toutefois, concernant ce dernier point, on pourrait avancer que la méthode présente une potentielle limite lorsque l'on considère les différents types de matériaux. Le principe central de la formule intégrée est que le prélèvement d'une certaine quantité de matériau secondaire dans un stock fini par un acteur donné prive en retour un autre acteur de la même quantité de ce même matériau secondaire pour fabriquer un autre produit, causant une consommation inévitable de matériau primaire. Selon notre interprétation, ce principe se réfère à une situation de marché dans laquelle l'offre serait infiniment inélastique, ou une situation où la demande serait infiniment élastique : dans ces situations, une augmentation de la demande en matériau secondaire (via l'incorporation de recyclé dans le produit) n'aura pas d'effet sur la quantité recyclée. Dans ces situations, à chaque fois que le stock de matériau secondaire augmente, il permet d'éviter de consommer une quantité équivalente de matériau primaire. Mais si un acteur prélève une certaine quantité de matériau secondaire du stock, il prive un autre acteur de cette même quantité de matériau secondaire.

Dans la note rédigée par RDC Environnement pour la Plateforme ADEME/AFNOR sur l'affichage environnemental concernant la modélisation du recyclage [RDC09], il est précisé que cette situation de marché n'est valable que pour les matériaux : verre, métaux et quelques plastiques (PET bouteille, LDPE). Pour les autres matériaux (principalement pour les plastiques, à l'exception du PET bouteille et LDPE), l'offre et la demande sont élastiques et par conséquent les bénéfices de l'utilisation de matériau recyclé doivent être partagés entre deux produits incorporant du matériau secondaire (soit en se basant sur une étude de marché spécifique, soit sur un compromis de type approche « 50 :50 »). Pour de tels cas, la formule intégrée pourrait capturer cet effet à la condition que le facteur de correction de la qualité choisi soit le prix du marché.

Finalement, l'absence de choix unique pour le facteur de correction et de recommandations claires (voire de données-types par famille de matériaux) rend plus difficile la mise en œuvre de la formule intégrée par les praticiens, même si les auteurs précisent que le facteur de correction le plus approprié serait le facteur de substitution (c'est-à-dire la quantité de matériau primaire qui est effectivement évitée) et qu'ils mentionnent clairement que le sujet de la sélection du facteur de correction devrait faire l'objet d'une discussion à part entière en parallèle de celles sur la formule intégrée.

Des discussions sur la nature du facteur de correction de la qualité menées de façon cohérente entre les différents types de matériaux pourraient lever cette limite. Des proxies aisément accessibles peuvent être utilisés comme facteur de correction de qualité, tel que le prix. Cependant, l'utilisation du prix du marché est adaptée pour des matériaux ayant un marché pour le recyclage bien établi. En effet, les distorsions du marché peuvent aboutir à des situations où les prix de matériaux secondaires ne reflètent pas complètement sa qualité et mènent à des estimations biaisées des impacts environnementaux évités. Dans tous les cas, il est recommandé de réaliser une analyse de sensibilité sur le facteur de correction de la qualité.

7 - CONCLUSIONS / AVIS SUR LA METHODE

Le principal avantage d'utiliser la formule intégrée est que sa flexibilité globale en regard de la pluralité des situations en fin de vie des matériaux facilite sa mise en œuvre pour les praticiens ACV. Son application est assez directe, le praticien n'ayant pas à déterminer au préalable, pour un matériau donné, une situation de marché spécifique ou le type de boucle de recyclage (ouverte ou fermée) afin de sélectionner la formule de calcul la plus appropriée (comme cela est le cas dans le référentiel BPX 30-323 pour l'affichage environnemental).

En introduisant des facteurs de correction de la quantité ou de la qualité pour assigner des débits ou des crédits, la formule s'ajuste à un matériau donné, en partageant les crédits/débits à travers les cycles de vie. Les charges liées au recyclage et à la valorisation énergétique sont cependant délibérément non partagées afin de respecter le principe « pollueur-payeur ».

Enfin, la principale faiblesse de la formule intégrée réside dans la communication : les utilisateurs rejettent intuitivement l'idée de modéliser le contenu en recyclé avec l'impact du matériau primaire (terme « $R_1 \times Q_{IN} \times E_V^S$ »). Cette limite pourrait être atténuée via l'utilisation de la forme modulaire compatible avec l'EN 15 804 de la formule intégrée.

8 - DOCUMENTS DE REFERENCE / CONTACTS-CLES

- **[ILCD10]** European Commission, *ILCD Handbook – General guide for Life Cycle assessment – Detailed guidance*, first edition, 2010
- **[RDC09]** RDC Environnement, *Modélisation du recyclage – Note à destination de la Plate-forme ADEME / AFNOR*, 29 janvier 2009

Tableau 6 – Analyse détaillée de la méthode « Approche intégrée »

Critère RACER	Sous-critère	Information additionnelle pour l'analyse	Evaluation / commentaire
Pertinence	Lien avec les objectifs fondamentaux de la méthode: la méthode répond-elle vraiment aux problématiques initiales / objectifs qui ont déclenché son développement ?	Proposer une formule de fin de vie unique permettant de modéliser toutes les situations de fin de vie, pour tous les déchets, applicable pour tous les matériaux.	La formule intégrée est applicable pour tous les types de matériaux et permet de modéliser la plupart des situations de fin de vie (par exemple boucle de recyclage ouverte ou fermée, réutilisation de parties, récupération d'énergie...). Une incertitude demeure sur la possibilité de tenir compte de situation de marché où l'offre et la demande en matériau secondaire sont élastiques (cas de la plupart des plastiques) : cela serait le cas à la condition où le facteur de correction de la qualité est basé sur le prix du marché.
		Dépasser les limites des méthodes existantes d'allocation pour traiter la multifonctionnalité dans les systèmes de gestion des déchets.	La formule intégrée proposée parvient à s'affranchir de certaines limites des méthodes de calcul de fin de vie couramment utilisées, par exemple : - Par rapport à l'approche "100:0", la formule intégrée ajoute la prise en compte de la quantité et la qualité du contenu recyclé (et pas seulement le taux de recyclage comme dans l'approche "100:0") - Par rapport à l'approche "cut off", la formule intégrée favorise l'évitement de production primaire - La formule intégrée reflète mieux la réalité du marché du recyclage
	La méthode permet-elle de bien comptabiliser les changements de qualité du matériau (c'est-à-dire la perte – ou le gain- de qualité entre matériau primaire et contenu en recyclé en entrée et matériau secondaire obtenu en sortie) ?		Oui. L'approche intégrée intègre les changements de qualité entre le matériau secondaire et le matériau primaire, en entrée et en sortie, en introduisant un facteur de correction de la qualité (Q_s / Q_p). Ce facteur indique dans quelle mesure le matériau secondaire peut remplacer le matériau primaire en cas de contenu recyclé. Dans l'approche, le facteur de correction de la qualité est appliquée à la fois au contenu recyclé remplaçant du matériau primaire en entrée dans le produit analysé et au matériau secondaire recyclé obtenue en sortie de recyclage du produit analysé en fin de vie..

Critère RACER	Sous-critère	Information additionnelle pour l'analyse	Evaluation / commentaire
	La méthode prend-elle en compte les situations suivantes : boucles de recyclage ouvertes et fermées, réutilisation, réemploi, récupération d'énergie ?		Oui. La méthode est applicable à toutes ces situations.
	La méthode tient-elle compte des spécificités du produit, par exemple du niveau de séparabilité élevé ou non des matériaux du produit ?		La méthode est applicable au niveau matériau : elle ne prend donc pas directement en compte les spécificités au niveau « produit » comme la séparabilité des matériaux. Cependant, comme la méthode favorise un taux de recyclage, élevé, elle peut motiver les acteurs à opter pour des mesures d'écoconception, permettant indirectement d'influencer les spécificités du produit comme la séparabilité des matériaux contenus dans le produit (par exemple : visser plutôt que coller pour faciliter la séparabilité des pièces).
	La méthode s'applique de façon générale et cohérente à tous les matériaux/toutes les formes d'énergie ?		L'approche intégrée est largement applicable à tout type de matériau ou forme d'énergie. La méthode s'applique toujours à un matériau bien qu'elle soit applicable aux produits multi matériaux, la formule doit être appliquée à chaque matériau contenu dans le produit séparément et les résultats pour chaque matériau doivent être pondérés selon les quantités spécifiques de chacun des matériaux dans le produit.
	La méthode capture-t-elle tous les impacts environnementaux et aspects pertinents (aspects matériaux, eaux, ressources énergétiques, utilisation des sols, émissions, ...) ?		Oui, la méthode permet de couvrir tous les aspects (matériaux, eaux, ressources énergétiques) et les impacts environnementaux (pertinents), dans la mesure où les données d'inventaires utilisées couvrent tous ces aspects. Cela dépend donc en partie des choix faits par le praticien en termes de source de données (certains aspects tels que le périmètre des émissions couvertes, ou la prise en compte d'aspects environnementaux tels que l'utilisation des sols dépendent du périmètre des inventaires de cycle de vie des procédés).

Critère RACER	Sous-critère	Information additionnelle pour l'analyse	Evaluation / commentaire
Acceptation	La méthode est-elle acceptée par les diverses parties prenantes ?	Degré de reconnaissance de la méthode : - Approbation officielle de la méthode - Méthode connue et reconnue par les parties prenantes - Aucune reconnaissance par les parties prenantes	La méthode est recommandée dans la version en cours d'élaboration du the PEFCR "feuilles métalliques" ainsi que par l'industrie des métaux (CEN/TC 350) dans le cadre de la procédure de standardisation de l'EN 15 804. La principale faiblesse de la formule intégrée réside dans le fait que les utilisateurs rejettent intuitivement l'idée de modéliser le contenu en recyclé avec l'impact du matériau primaire (terme « $R_1 \times Q_{IN} \times E^S_V$ »). Cette limite pourrait être atténuée via l'utilisation de la forme modulaire compatible avec l'EN 15 804 de la formule intégrée.
		Acceptation par le milieu académique : la méthode a-t-elle récemment été décrite/citée dans une ou plusieurs publications avec revue par tierce partie indépendante ?	Non connu
		Acceptation dans le cadre du développement de politique publique : la méthode (ou les résultats d'une application de la méthode) a-t-elle été testée/appliquée dans le développement ou l'évaluation de politiques nationales/régionales ? Quelles ont été les expérimentations effectuées ?	La méthode est testée dans plusieurs référentiels développée dans le cadre de l'initiative PEF de la Commission européenne (PEFCR « feuilles métalliques » notamment). Par ailleurs la méthode a été présentée et discutée lors du 3 ^{ème} atelier sur les formules de fin de vie du 8 septembre 2016
	La méthode est-elle conforme aux exigences de l'ISO 14 044 ?		Oui
	La méthode permet-elle de différencier les cas de types « comptabilisation » et conséquentiel (au sens de l'ILCD Handbook ?		La méthode est applicable à la Situation A (aide à la décision au niveau micro) et C1 (comptabilisation) de l'ILCD Handbook.
	La méthode présente-t-elle un biais entre produits ou matériaux concurrents en considérant leur		On peut penser que la méthode présente une potentielle limite lorsque l'on considère les différents types de matériaux. Le principe central de la formule intégrée est

Critère RACER	Sous-critère	Information additionnelle pour l'analyse	Evaluation / commentaire
	performance/équivalence technique, et entre des situations telles que le recyclage, la récupération d'énergie la réutilisation, etc. ?		que le prélèvement d'une certaine quantité de matériau secondaire dans un stock fini par un acteur donné prive en retour un autre acteur de la même quantité de ce même matériau secondaire pour fabriquer un autre produit, causant une consommation inévitable de matériau primaire. Selon notre interprétation, ce principe se réfère à une situation de marché dans laquelle l'offre serait infiniment inélastique, ou une situation où la demande serait infiniment élastique : dans ces situations, une augmentation de la demande en matériau secondaire (via l'incorporation de recyclé dans le produit) n'aura pas d'effet sur la quantité recyclée. Dans ces situations, à chaque fois que le stock de matériau secondaire augmente, il permet d'éviter de consommer une quantité équivalente de matériau primaire. Mais si un acteur prélève une certaine quantité de matériau secondaire du stock, il prive un autre acteur de cette même quantité de matériau secondaire. Dans la note rédigée par RDC Environnement pour la Plateforme ADEME/AFNOR sur l'affichage environnemental concernant la modélisation du recyclage [RDC09], il est précisé que cette situation de marché n'est valable que pour les matériaux : verre, métaux et quelques plastiques (PET bouteille, LDPE). Pour les autres matériaux (principalement pour les plastiques, à l'exception du PET bouteille et LDPE), l'offre et la demande sont élastiques et par conséquent les bénéfices de l'utilisation de matériau recyclé doivent être partagés entre deux produits incorporant du matériau secondaire (soit en se basant sur une étude de marché spécifique, soit sur un compromis de type approche « 50 :50 »). Pour de tels cas, la formule intégrée pourrait capturer cet effet à la condition que le facteur de correction de la qualité choisi soit le prix du marché.

Critère RACER	Sous-critère	Information additionnelle pour l'analyse	Evaluation / commentaire
	La méthode est-elle un bon outil d'aide à la décision, en assignant à la fois les impacts et les bénéfices du recyclage conjointement au même cycle de vie ?		La méthode alloue tous les impacts et bénéfices aux efforts de recyclage conjointement au même cycle de vie.
	La méthode est-elle applicable et non biaisée quel que soit la boucle (exemple : première et dernière boucle pour les bouteilles ; usages primaire et secondaires répétés d'un matériau ?		Applicable au recyclage et à la réutilisation, les effets de « downcycling » étant pris en compte.
	Est-elle en lien avec les objectifs environnementaux stratégiques de l'UE (tout en étant par ailleurs politiquement neutre) ?		Oui.
	La méthode et les résultats obtenus peuvent-ils être communiqués facilement aux consommateurs/non-experts ?		Assez facile mais sans différence significative par rapport à d'autres approches de fin de vie. A noter qu'il est aussi possible d'exprimer la formule intégrée sous une forme modulaire, la rendant compatible avec d'autres approches comme la norme EN 15804, ce qui permet de communiquer plus facilement sur les résultats.
Crédibilité			
	Les paramètres et les variables de la méthode / formule sont-ils non ambigus ?		Oui, chaque paramètre est clairement identifié et défini. Toutefois, on peut observer une lacune au niveau des règles de sélection de la meilleure grandeur pour quantifier les changements de qualité (bien que les auteurs fournissent quelques exemples de mesures possibles pour le facteur de correction de la qualité)
	Reproductibilité et cohérence : les résultats sont-ils suffisamment similaires si la méthode est mise en		Inconnu, mais certaines variations des résultats pourraient être observées d'un expert à l'autre en raison de sources de données différentes (inventaires de cycle de vie, taux de

Critère RACER	Sous-critère	Information additionnelle pour l'analyse	Evaluation / commentaire
	œuvre par différents experts et pour différents produits et matériaux ?		d'incorporation de recyclé, taux de recyclage, choix du facteur de correction de la qualité, etc.)
	Documentation des hypothèses et des limites : Les données sous-jacentes, méthodes de calcul et les hypothèses sont-elles pleinement divulguées, interprétables et reproductibles afin d'assurer une application uniforme de la méthode ?		Oui
	La traçabilité/vérification de toutes les données est-elle bonne ?		Bonne
Simplicité			
	Quel donnée d'entrée/information est requise et à quel degré la disponibilité des données est-elle satisfaisante, incluant la facilité d'accès / de mesure des données, pour les données / information « foreground » - si applicable – pour les données background ?		L'accès aux données nécessaires à la mise en œuvre de l'approche intégrée peut être considéré comme bon, comme la méthode n'a besoin globalement que du même type de données que celles qui sont utilisées dans d'autres méthodes de fin de vie couramment utilisées par les praticiens. Cependant, l'identification d'un facteur de correction de la qualité approprié pour un matériau donné n'est pas toujours aisée pour l'utilisateur. Cet aspect doit être discuté dans d'autres travaux ultérieurs autour de la méthode.
	Est-il possible de mettre à jour les données facilement ?		oui
	A quel point le coût d'implémentation de la méthode est bas ?		Bas coût : la mise en œuvre de cette méthode ne semble pas plus coûteuse que les autres méthodes de fin de vie. L'acquisition du facteur de correction de la qualité ne semble pas non plus très coûteuse si le facteur est bien évidemment clairement identifié auparavant.
	A quel point la complexité de la méthode est-elle limitée et le niveau d'expertise nécessaire pour l'implémentation de la méthode ?		Une certaine expertise en ACV est requise, mais au même niveau que toutes les autres approches de fin de vie.

Critère RACER	Sous-critère	Information additionnelle pour l'analyse	Evaluation / commentaire
	L'implémentation dans les logiciels est-elle globalement possible ?		La mise en œuvre de l'approche intégrée dans les logiciels d'ACV semble assez simple.
	Y a-t-il des potentiels liens/aspects complémentaires entre la méthode en question et d'autres méthodes analysées dans le cadre de ce projet ? Y a-t-il une potentielle intégration plus avancée de la méthode avec (une ou) les autres ?		Inconnu
Robustesse			
	Théorie défendable: la méthodologie est-elle basée sur une théorie solide ?		Oui. L'approche intégrée intègre les principes fondamentaux qui devraient être la base de toute formule de fin de vie.
	Comptabilise (environ) 100% des impacts sur le cycle de vie du matériau et plus globalement (c'est-à-dire aucune lacune ou double-comptage sur les cycles de vie dans lesquels le matériau est utilisé jusqu'à ce qu'il soit complètement dissolu)		Oui
	A quel degré la subjectivité d'implémentation est-elle limitée/minimisée ? Une bonne reproductibilité est-elle assurée, potentiellement via la fourniture de valeurs par défaut ?		Globalement limitée, à l'exception de l'absence de règles précises pour déterminer le facteur de correction de la qualité pour chaque matériau. Cela peut entraîner l'introduction d'une part de subjectivité de la part du praticien dans le choix du facteur de correction, et donc limiter une bonne reproductibilité
	Bonne robustesse (c'est-à-dire une faible incertitude sur les résultats et sur l'aide à la décision)		Oui

Critère RACER	Sous-critère	Information additionnelle pour l'analyse	Evaluation / commentaire
	A quel degré les résultats sont-ils plausibles (c'est-à-dire des changements dans le paramétrage tel que la qualité et la quantité du contenu en recyclé et du matériau recyclé en fin de vie etc. ou encore les émissions, ... aboutissent à des changements appropriés des résultats d'impact en regard de la direction et de l'étendue du changement) ?		Oui, basée sur des calculs donnés en exemple par les auteurs.

FICHE METHODE N°2 : L'APPROCHE « MULTI-RECYCLING »

FICHE METHODE N°2 : L'APPROCHE « MULTI-RECYCLING »

1 - CARTE D'IDENTITE DE LA METHODE

Développeur(s) :	Marco Mengarelli*, Sabrina Neugebauer**, Matthias Finkbeiner**	
Organisation(s) d'appartenance :	*Università Politecnica delle Marche **Technische Universität Berlin, Department of Environmental Technology, Chair of Sustainable Engineering	
Date de première diffusion :	2012 (version initiale, voir référence N°1)	
Date de dernière mise à jour :	2016 (version 2)	
Références :	<i>Version initiale de la méthode :</i> N°1) Neugebauer S., Finkbeiner M., <i>The Multi-Recycling-Approach as a new option to deal with the end-of-life allocation dilemma</i>, présentation dans le cadre de la conférence ACLCA LCA XII, Tacoma, 2012 <i>Pour référence (document non analysé) :</i> N°2) Neugebauer S., Finkbeiner M., <i>Ökobilanz nach ISO 14 040/44 für das multirecycling van stahl</i>, 2012 <i>Version de la méthode analysée dans l'étude :</i> N°3) Mengarelli M. Neugebauer S. Finkbeiner et al. End-of-life modelling in life cycle assessment – material or product-centred perspective? International Journal Life Cycle Assessment. 2016	
Utilisateur(s) connu(s) :	Filière acier allemande	
Développée pour un (des) secteur(s) spécifiques ?	Initialement développé pour le secteur allemand de l'acier (référence N°1), puis étendue à d'autres matériaux (e.g. plastiques, référence N°3)	
Type de méthode :	☒ ACV : ☒ ICV ☐ AICV ☒ Attributionnelle ☐ Conséquentielle	☐ Autre (ex : couplage ACV/autres méthodes) :

Catégorie(s) d'impact évaluée(s) :	☒ Pas de restriction (par ex. dans le cas de méthodes de calcul de l'inventaire) ☐ Avec restriction:	Monocritère : ☐ GES ☐ Energie ☐ Autre (préciser) : Multicritères (préciser les catégories d'impact couvertes) :
Type(s) de gestion des déchets couvert(s) :	☐ Prévention ☐ Réemploi ☐ Réutilisation ☐ Récupération d'énergie	Recyclage : ☐ Boucle ouverte ☒ Boucle fermée
Données nécessaires :	Les paramètres nécessaires à la mise en œuvre de la méthode MRA version 2 (référence N°3) sont classés en trois catégories : coefficients relatifs aux matériaux, coefficients relatifs aux impacts, autres coefficients. Parmi cet ensemble de paramètres (présentés de manière détaillée dans la section méthode), certains paramètres relatifs aux matériaux sont spécifiques à la méthode : • ML : Pertes de matériau pour chaque cycle de vie. La valeur intègre tous les types de pertes (interne, externe, physique, pertes lors du transport ou de la transformation...). Ces pertes sont considérées comme étant constantes entre le premier cycle de vie et les cycles suivants. • LC_{FU} : Nombre de cycles de vie considérés pour satisfaire l'Unité Fonctionnelle • PL : Durée de vie moyenne du produit	
Périmètre géographique des données :	La méthode semble applicable dans n'importe quel contexte géographique. Les illustrations présentées dans la publication sont représentatives du contexte européen.	
Préconisée par une norme, un standard, un référentiel méthodologique ?	Non connu	

2 - INTRODUCTION

Lorsqu'un matériau est recyclé, celui-ci peut être mobilisé dans plusieurs cycles de vie successifs et donc plusieurs boucles de recyclage : se pose alors la question de l'allocation des impacts de la production du matériau primaire et des impacts/bénéfices des procédés de traitement en fin de vie entre les différents cycles de vie successifs. Une telle allocation peut être réalisée sur le premier cycle de vie du matériau considéré (sa première utilisation après production en tant que matériau primaire) et/ou sur les cycles de vie suivants (et dans ce cas par exemple sur l'ensemble des cycles de vie produit dans lesquels le matériau est utilisé).

Plusieurs méthodes proposent de telles règles d'**allocation** « **multi-cycles de vie** ».

3 - ENJEUX / OBJECTIFS

Du fait de son recyclage en fin de vie, un matériau peut participer à plusieurs cycles de vie successifs : la question de l'allocation des impacts de la production primaire et du recyclage de cette matière aux cycles de vie successifs se pose donc.

Plusieurs méthodes existent pour répondre à cette problématique, par exemple :

- Allocation de la production primaire de la matière au premier produit utilisateur : cette méthode encourage fortement l'utilisation de matières secondaire mais n'incite pas à une conception favorisant le recyclage en fin de vie ;
- Allocation de la production primaire de la matière au dernier produit utilisateur : cette méthode encourage fortement une conception favorisant le recyclage en fin de vie mais n'incite pas à l'utilisation de matière recyclée.

De nombreuses autres approches ont été développées, se situant entre les deux approches « extrêmes » citées précédemment, comme par exemple :

- Allocation de la production primaire de la matière de manière uniforme aux différents cycles de vie successifs : cette méthode nécessite de connaître à l'avance le nombre de cycles de vie successifs dans lesquels la matière est utilisée.
- Actualisation du bénéfice : les impacts et bénéfices du recyclage en fin de vie sont calculés en appliquant la méthode de substitution ; les impacts considérés comme évités – les bénéfices – sont actualisés en fonction de la durée de vie du produit : plus le produit a une durée longue, moins les impacts évités sont élevés. Cette méthode permet de tenir compte de la durée d'immobilisation de la ressource ; en revanche, à taux de recyclage équivalent, elle tend à favoriser les produits à courte durée de vie.

Pour résoudre cette question litigieuse de l'affectation des impacts/des bénéfices environnementaux, les auteurs proposent donc une méthode « centrée sur le matériau » permettant, selon leur revendication, de ne plus avoir à procéder à une allocation (« Allocation between systems is no longer needed, as the actual number of potential life cycles for a certain material is included in the calculation »)

4 - DESCRIPTION

4.1 - PRINCIPES

La méthode proposée par les auteurs se fonde sur une approche « pool » de matériau ou « centrée sur le matériau », par opposition à une approche dite « centrée sur le produit », cette dernière correspondant à l'orientation adoptée par différentes méthodes connues (Circular Footprint Formula, méthode préconisée dans les principes généraux pour l'affichage environnemental des produits de grande consommation en France, extension des frontières du système...) traitant de la question de l'allocation des impacts et bénéfices du recyclage. La méthode proposée est clairement positionnée comme étant indépendante des applications (produits) dans lesquelles le matériau est utilisé. Son application est limitée au recyclage sans dégradation des qualités de la matière.

La méthode a initialement été appliquée au cas de l'acier (filière acier en Allemagne (Document N°1)). Dans la publication N°3 analysée, la méthode est mise en œuvre sur plusieurs matériaux : acier, aluminium, plastique, verre, caoutchouc.

4.22 - METHODE DE CALCUL

La méthode proposée vise à calculer l'inventaire de cycle de vie moyen d'un matériau pouvant être recyclé plusieurs fois. Cet inventaire est calculé par la formule suivante :

$$EB_{LCi} = \frac{EB_{PM1} + [ML \times EB_{PM2} + (ML_1 \times EB_{RM} + ML_2 \times EB_L) + (1 - ML) \times EB_{SM}] \times (LC_{FU} - 1)}{LC_{FU}}$$

Coefficients relatifs aux matériaux :

- ML : Pertes de matériau pour chaque cycle de vie. La valeur intègre tous les types de pertes (interne, externe, physique, pertes lors du transport ou de la transformation...). Ces pertes sont considérées comme étant constantes entre le premier cycle de vie et les cycles suivants.
- ML₁ : % des pertes qui sont orientées en incinération ; il est précisé que cette valeur n'est exploitée que pour les plastiques
- ML₂ : % des pertes qui sont orientées en décharge ; il est précisé que cette valeur n'est exploitée que pour les plastiques

Coefficients relatifs aux impacts :

- EB_{LCi} : Impact du matériau par unité de masse et par cycle de vie
- EB_{PM1} : Impact spécifique du matériau primaire d'origine
- EB_{PM2} : Impact spécifique du matériau primaire compensant les pertes
- EB_{SM} : Impact spécifique du matériau secondaire
- EB_{RM} : Impact spécifique du matériau valorisé. La part de matériau qui, en fin de cycle, ne revient pas dans le pool matériau peut faire d'une mise en décharge ou d'autres formes de valorisation, notamment énergétique. Pour les plastiques, il est précisé que ce terme correspond à l'incinération.
- EB_L : Impact spécifique du matériau mis en décharge. Il est précisé que ce paramètre n'est utilisé que pour les plastiques.

Autres coefficients :

- LC_{FU} : Nombre de cycles de vie considérés pour satisfaire l'Unité Fonctionnelle
- PL : Durée de vie moyenne du produit

Dans son principe la formule peut se « lire » de la manière suivante :

$$\begin{aligned}
 & \textbf{Impact d'un matériau par unité de masse et par cycle de vie} \\
 & = \\
 & \frac{\text{Impact du matériau primaire d'origine}}{\text{Nombre de cycles de vie}} \\
 & + \\
 & (\text{Impact du matériau primaire compensant les pertes} + \text{Impact traitement des pertes}) \times \frac{\text{Nombre de cycles de vie} - 1}{\text{Nombre de cycles de vie}} \\
 & + \\
 & \text{Impact de régénération par cycle} \times \frac{\text{Nombre de cycles de vie} - 1}{\text{Nombre de cycles de vie}}
 \end{aligned}$$

Dans son principe de base, la méthode revient à :

- Amortir la production du matériau vierge d'origine sur le nombre de cycles de vie considéré (c'est le premier terme de la formule) ;
- Prendre en compte les impacts de traitement des pertes et les impacts associés à la production de matériau vierge permettant de compenser ces pertes (c'est le deuxième terme de la formule) ;

- Prendre en compte les impacts associés aux opérations de recyclage (c'est le troisième terme de la formule).

Dans des conditions aux limites sur le nombre de cycles de vie considéré, on observe ainsi que :

- **Si le nombre de cycles est égal à 1**, le résultat correspond aux impacts du matériau primaire :

≈ Impact du matériau primaire d'origine

- **Si le nombre de cycles tend vers l'infini**, la composante correspondant aux impacts du matériau primaire disparaît et le résultat correspond au bilan d'une boucle de recyclage à l'équilibre :

*≈ Impact du matériau primaire compensant les pertes + Impact traitement des pertes
+ Impact de régénération par cycle*

4.32 - DONNEES NECESSAIRES

Les données spécifiquement nécessaires à la mise en œuvre de la méthode concernant les paramètres :

- **ML** correspondant aux pertes de matériaux pour chaque cycle de vie ;
- **ML₁ et ML₂** : correspondant à la gestion des pertes respectivement en incinération et en décharge ;
- **LC_{FU} (PL)** : nombre de cycles de vie considérés pour satisfaire l'Unité Fonctionnelle (ce paramètre correspond au ratio entre la période de temps considérée et la durée de vie moyenne du produit PL).

Dans l'article N°3 qui a été analysé, la méthode est mise en œuvre sur deux produits, une hotte de cuisine et un vélo à assistance électrique. Les valeurs des différents paramètres nécessaires à la mise en œuvre de la méthode sont donc fournies pour les principales catégories de matériaux qui composent ces deux produits.

Les valeurs considérées dans cette publication sont présentées ici dans le cas de l'acier, des plastiques et de l'aluminium :

Exemples de données exploitées dans l'article N°3

	ML	ML ₁	ML ₂	LC _{FU}	PL
Acier inox – Hotte	0,18			5	20
Acier inox – Vélo	0,18			5	20
Plastiques – Hotte	0,95	0,68	0,27	5	20
Plastiques – Vélo	0,95	0,68	0,27	5	20
Aluminium – Hotte	0,1			4	25
Aluminium – Vélo	0,1			4	25

L'observation de ces différentes valeurs souligne certaines particularités introduites par l'approche « matériau centrée » de la méthode MRA :

- Le taux de pertes ML est considérée comme une valeur intrinsèque caractéristique du matériau qui ne dépend pas du produit dans lequel le matériau est utilisé : on constate que, pour un matériau donné, les valeurs respectives de ML sont toujours identiques entre les deux produits ;
- La durée de vie du produit PL est également considérée comme une valeur intrinsèque caractéristique du matériau qui ne dépend pas du produit dans lequel le matériau est utilisé : comme précédemment on constate que, pour un matériau donné, les valeurs respectives de ML sont toujours identiques entre les deux produits ; de plus, on observe également que, pour un même produit, la durée de vie du produit associée à un matériau peut être différente (ex : 25 ans de durée de vie moyenne dans le cas de l'aluminium vs 20 ans de durée de vie moyenne dans le cas de l'acier).

Les valeurs de paramètres qui sont considérées dans l'article N°3 sont présentées en citant une ou plusieurs sources pour chacun d'entre eux. En revanche, les modalités de calcul de ces différents paramètres ne sont pas réellement détaillées dans la publication.

Par exemple, dans le cas particulier des plastiques, nous avons consulté les documents cités comme constituant les sources de valeurs de ML et PL pour les plastiques :

- *PlasticsEurope (2015) ISSUU – plastics – the facts 2014/2015 by PlasticsEurope. 1 – 34.*
- *Velis CA (2014) Global recycling markets – plastic waste : a story for one player – China. Report prepared by FUELogy and formatted by D-waste on behalf of International Solid Waste Association – Globalisation and Waste Management Task Force.*

L'analyse de ces deux documents ne nous a pas permis de retrouver de référence directe – et donc d'informations sur les modalités de calcul – des valeurs de ML = 0,95 et de PL = 20 ans qui sont appliqués dans le cas des plastiques.

4.4 – EVOLUTION ENTRE LA VERSION 1 ET LA VERSION 2

En se fondant sur la compréhension que nous avons de la MRA dans sa version 1 (article N°1) et de la MRA dans sa version 2 (article N°3, faisant principalement l'objet de cette fiche), nous observons l'introduction d'un terme correspondant à la mise en décharge et d'un terme correspondant à l'incinération : la version 2 de la méthode MRA introduit deux nouveaux termes correspondant aux impacts de la mise en décharge d'une part et aux impacts de l'incinération d'autre part qui visent à prendre en compte les impacts des plastiques qui sortent de leur « pool matériau » (nous rappelons que les auteurs de la méthode soulignent que ces deux termes ne concernent que les plastiques).

5 - CAS D'APPLICATION

La méthode a initialement été mise en œuvre en collaboration avec (à la demande de) la filière acier en Allemagne. Dans le cas de l'article qui a été analysé (référence N°3), elle est appliquée à différentes catégories de matériaux (acier, aluminium, plastiques, caoutchouc, verre).

6 - ANALYSE DETAILLEE

Principe général de la méthode MRA

La méthode MRA est une méthode « centrée sur le matériau », par opposition aux méthodes « centrée sur le produit ».

Conséquence directe du principe général de la méthode MRA

La méthode MRA vise à établir pour chaque matériau (acier, aluminium, plastiques, caoutchouc...) un ICV moyen par unité de masse et par cycle de vie, cet ICV étant indépendant des produits dans lesquels les matériaux sont effectivement utilisés : à titre d'exemple, et du fait du principe même de la méthode, le bilan environnemental par unité de masse et par cycle de vie associé au matériau A utilisé dans un produit permettant de recycler ce matériau à 90 % en fin de vie est identique au bilan environnemental par unité de masse et par cycle de vie associé au matériau A utilisé dans un produit permettant de recycler ce matériau à hauteur de 10 % en fin de vie.

Paramètres clefs de la méthode MRA

La mise en œuvre de la méthode MRA repose sur deux paramètres spécifiques qui apparaissent comme des caractéristiques intrinsèques des matériaux, indépendants du produit qui est étudié :

- Taux de pertes du matériau considéré sur un cycle de vie ;
- Nombre de cycles de vie considéré.

Les modalités de calcul de ces deux paramètres ne sont pas totalement explicitées dans les documents consultés. Nous comprenons que le nombre de cycles de vie considéré est calculé par un ratio entre la période temporelle (appelé « life span » dans la publication étudiée) considérée par convention de calcul (100 ans dans les 2 cas d'étude présentés) et la durée moyenne des produits d'un pool matériau par la formule : $LC_{FU} = 100 / PL$. Selon notre compréhension, le taux de pertes et le nombre de cycles de vie sont donc indépendants : en effet, les valeurs des taux de pertes, de la durée de vie

moyenne des produits et du nombre de cycles considérés pour les deux cas d'application (tableau de valeurs 5 et 6 de l'article N°2) tendent à montrer que le taux de pertes n'intervient pas dans le calcul du nombre de cycles de vie⁶.

Cela étant, on note tout de même dans la publication (reference N°3) des éléments laissant entendre que le taux de pertes est exploité pour déterminer le nombre de cycles : il est dit dans l'article que « *The number of life cycles is strictly determined by the material losses in each life cycle, the general recyclability of a given material in the market and the time span considered in the calculation* », ou « *The number of life cycles needed to cover this time span is different as it is based on the combination of life cycle losses and average lifetime of a product for each material* ». Ces éléments contradictoires ne favorisent pas l'intelligibilité de la méthode MRA et ne contribuent pas a fortiori à la transparence des modalités de quantification des paramètres clefs que constituent le taux de pertes par cycle de vie et le nombre de cycles de vie à considérer alors même que ces paramètres peuvent soulever diverses questions. Par exemple :

- A quelle échelle géographique convient-il de déterminer les paramètres de la méthode et, cette échelle étant fixée, les effets d'import/export de matériaux primaires et de déchets de matériaux interviennent-ils dans les calculs ?
- A quelle échelle temporelle convient-il de raisonner pour déterminer les paramètres de la méthode et, cette échelle étant fixée, les effets de croissance/décroissance des marchés matériaux, l'évolution des produits (catégories de produits, durée de vie de chaque catégorie) qui utilisent ces matériaux interviennent-ils dans les calculs ?
- Selon quelle granularité en termes de nature de matériaux le travail doit-il être conduit ? Toutes les qualités d'acier doivent-elles être considérées comme appartenant à un seul pool matériau ou faut-il distinguer entre des aciers faiblement alliés, aciers inoxydables magnétiques, aciers inoxydables non magnétiques, voire descendre à une échelle encore plus fine selon les nuances d'acier ? De même, tous les plastiques doivent-ils être considérés comme appartenant à un même pool matériau ou faut-il distinguer selon les thermodurcissables/thermoplastiques, ou faut-il distinguer entre les différentes résines ?
- Quelles données sont précisément exploitées pour déterminer le taux de perte moyen d'un matériau sur un cycle de vie selon une approche macroéconomique « centrée sur le matériau » ? Quel(s) acteur(s) est(sont) en capacité de produire les données nécessaires au calcul de ce paramètre et quel(s) acteur(s) est(sont) en capacité d'apporter un regard critique sur la plausibilité de ces données ?
- Quelles données sont précisément exploitées pour déterminer la durée de vie moyenne des produits pour un matériau donné, notamment en sachant que ce matériau peut entrer dans des produits de durée de vie très différente (un même matériau peut entrer par exemple dans des produits d'emballages qui se caractérisent par des durées de vie courtes et des produits de construction qui peuvent se caractériser par des durées de vie – très - longues) ? Quel(s) acteur(s) est(sont) en capacité de produire les données nécessaires au calcul de ce paramètre et quel(s) acteur(s) est(sont) en capacité d'apporter un regard critique sur la plausibilité de ces données ?

Formule

La formule présente une distorsion dans la manière de considérer les plastiques et les autres matériaux :

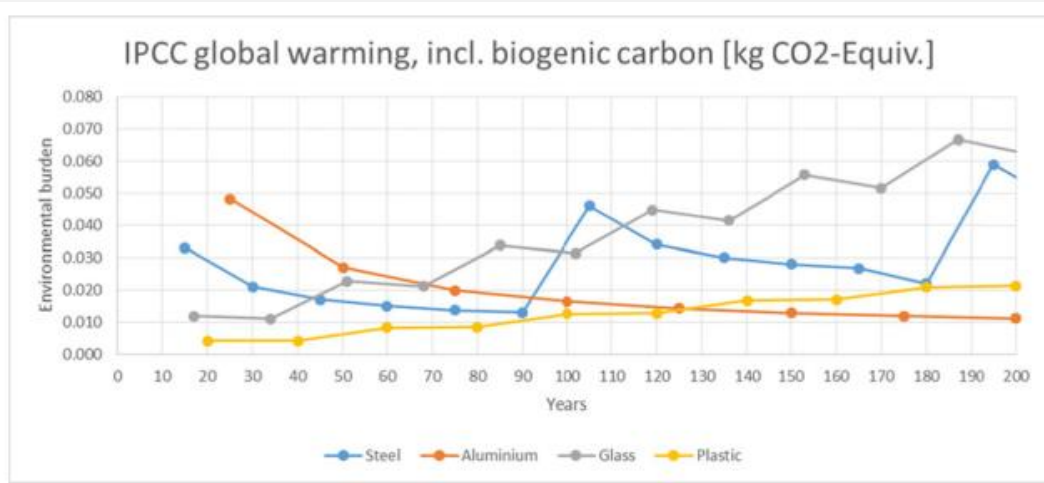
- L'incinération et la mise en décharge ne s'appliquent que pour les plastiques ;
- Les impacts de la gestion des pertes par cycle de vie ne sont pas pris en compte sauf dans le cas des plastiques.

A titre d'exemple et d'après notre compréhension des préconisations de mise en œuvre de la formule, un taux de perte de 18 % en moyenne est considéré par cycle de vie pour l'acier mais aucune opération de gestion/ aucun traitement/ aucun impact ne semble être pris en compte pour ces 18 % d'acier qui sortent du « pool matériau » sans que ceci soit clairement justifié.

⁶ Dans le cas de l'acier, un taux de pertes de 18 % est considéré, avec une durée de vie de 20 ans et un nombre de cycles de vie de 5 ; dans le cas des plastiques, un taux de pertes de 95 % est considéré, avec une durée de vie de 20 ans et un nombre de cycles de vie de 5 ; on observe que, pour ces deux matériaux, le nombre de cycles de vie est exactement égal à la période temporelle de 100 ans qui est considérée rapportée à la durée de vie moyenne de 20 ans (ce calcul se vérifie pour tous les matériaux évalués) alors même que le taux de pertes considéré pour l'acier et le plastique varie considérablement (18 % vs 95 %).

Résultats

Un graphique (figure 3 de l'article N°3) montrant l'influence de la période temporelle considérée (« life span ») sur les résultats d'impact, en l'occurrence la contribution à l'effet de serre de chaque matériau, est présenté dans la publication. Ce graphique est reproduit ci-dessous avec son titre original :

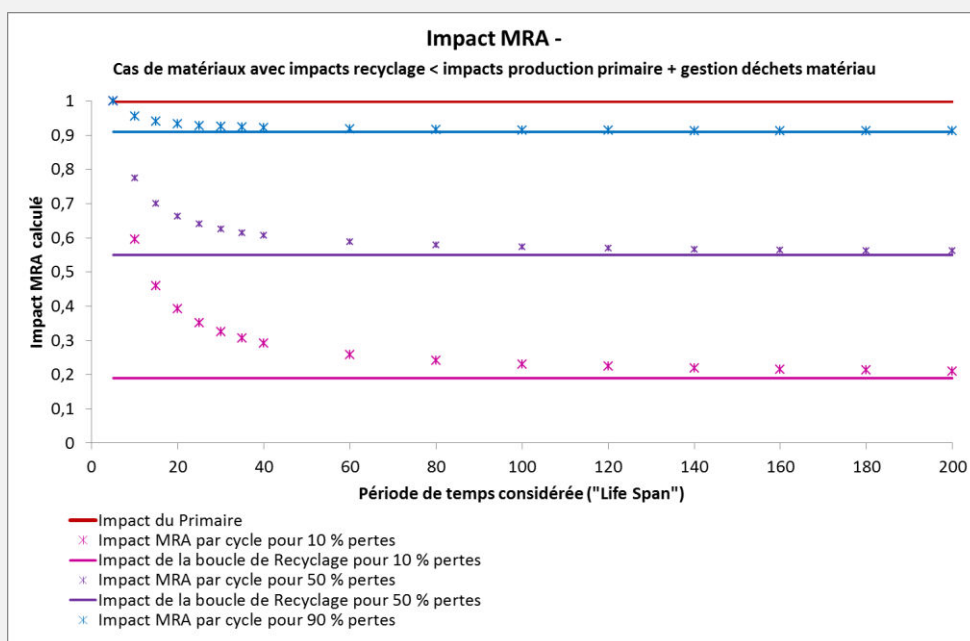


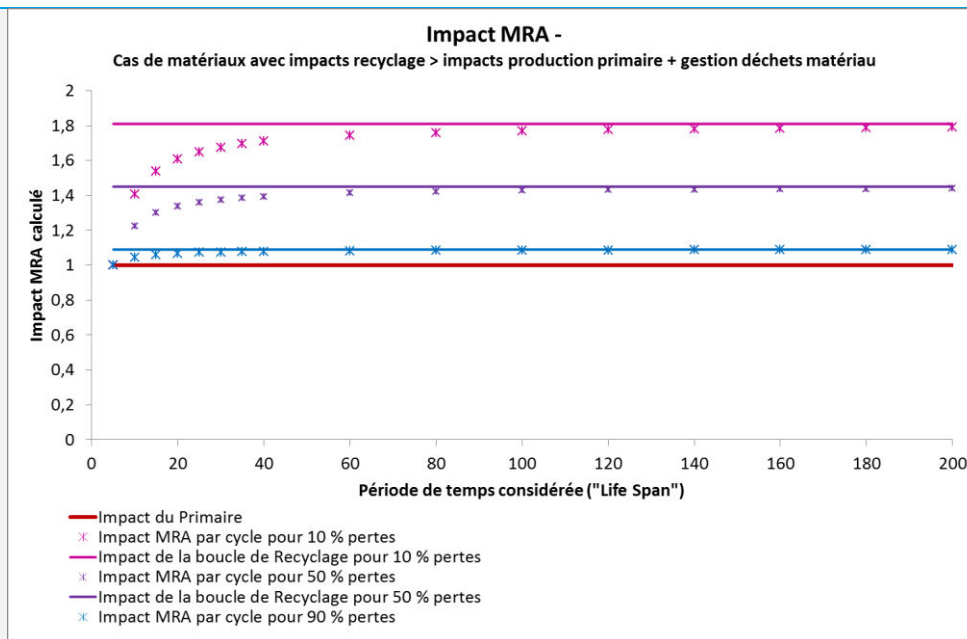
Application of the MRA formula to assess IPCC global warming potential impact including biogenic carbon category for different life spans (up to 200 years)

Si seule la période temporelle considérée varie (c'est-à-dire le nombre de cycles de vie considérés dans la formule), ce que laissent penser les propos des auteurs, nous considérons que ces résultats ne sont pas plausibles. En effet, compte tenu de la structure de la formule MRA, les impacts devraient varier entre une valeur proche de l'impact du matériau primaire (pour un faible nombre de cycles de vie) et une valeur asymptotique correspondant à l'impact de la boucle de recyclage + impact de gestion et de compensation des pertes. Cette variation devrait se faire :

- De manière décroissante, si le recyclage est plus intéressant que le fait de produire du matériau primaire et s'assurer d'une gestion en fin de vie autre que par recyclage ;
- De manière croissante, si le recyclage est moins intéressant que le fait de produire du matériau primaire et s'assurer d'une gestion en fin de vie autre que par recyclage.

Les figures ci-dessous, construites par Deloitte/Bleu Safran, illustrent ces deux cas des figures.





Réflexions sur les avantages/inconvénients de la méthode MRA

Quelques réflexions peuvent enfin être formulées en ce qui concerne les avantages et les inconvénients de la méthode.

Les principes de calcul établis par cette méthode consistent à produire un ICV associé à une quantité unitaire de matériau mis en œuvre sur un cycle de vie. L'ICV couvre à la fois la phase de production et de fin de vie du matériau. Les données ainsi élaborées sont indépendantes des conditions effectives de mise en œuvre du matériau dans un produit précis ; elles sont a fortiori indépendantes de toutes considérations sur le recyclage effectif du matériau lors de la fin de vie du produit dans lequel le matériau est intégré : rapporté à un cycle de vie – c'est-à-dire en intégrant la production et la fin de vie – une tonne d'acier aura exactement les mêmes impacts environnementaux que l'acier soit intégré dans des canettes boissons, des ronds à béton, des gros électroménagers hors froids, des petits appareils en mélange ou des moteurs automobiles...

- **Une méthode très facile à mettre en œuvre** : sous réserve que les paramètres clefs de la méthode aient été publiés, la méthode MRA est très facile à mettre en œuvre du point de vue de l'utilisateur : l'exploitation de telles données permet de s'affranchir de tout questionnement relatif à la quantité de matériau recyclé intégré dans le produit étudié ainsi qu'aux modalités de gestion en fin de vie du produit ; par conséquent, les difficultés associées aux problématiques d'allocation entre des cycles de vie successifs dès lors qu'on a des opérations de recyclage sont également évitées.
- **Une méthode ne permettant pas de rendre compte, à l'échelle d'un produit particulier ou d'une catégorie de produits, des améliorations apportées par une amélioration de la recyclabilité ou des progrès réalisés en matière de recyclage** : les paramètres de la méthode MRA sont indépendants des considérations spécifiques à chaque catégorie de produits dans lesquels sont utilisés les matériaux. Si de tels paramètres et la méthode elle-même offrent une grande facilité d'utilisation, ils empêchent en revanche toute possibilité de quantifier les gains environnementaux qui seraient engendrés par l'amélioration de la recyclabilité d'un produit ou par les progrès réalisés en termes de taux de recyclage d'une filière REP par exemple. Le fait de ne pas pouvoir quantifier du point de vue environnemental de telles améliorations constitue, selon nous, un frein important quant à la prise en compte des problématiques de fin de vie dans les démarches d'écoconception qui sont conduites par les metteurs sur le marché. De même, du point de vue des filières REP et des opérateurs de la gestion des déchets, le recours exclusif à une telle méthode reviendrait finalement à une forme d'appropriation – par exemple par les filières matériaux – de leur secteur spécifique d'activité et de responsabilité.
- **Une méthode conduisant à la possibilité/tentation/risque de juger les performances environnementales des matériaux, indépendamment de leur aptitude et de leur qualité spécifiques pour un ou une catégorie de produits en particulier** : dans la mesure où le bilan environnemental qui est associé à un matériau ne dépend plus des spécificités du produit dans lequel il est utilisé – plus particulièrement des modalités de valorisation/recyclage effectives du matériau dans chacun des produits –, il devient alors à la fois tentant et facile

de comparer les performances environnementales relatives des matériaux entre eux. Nous n'excluons pas que ce type d'évaluation, ainsi que les possibilités de comparaison qu'elle offre, puissent avoir du sens et un intérêt spécifique dans le cadre de travaux portant sur le « pool de matériau » en tant que tel (par exemple la recherche de leviers d'optimisation environnementale dans le cadre de ce « pool »). En revanche, la méthode présente selon nous le risque d'aboutir, pour un utilisateur non averti (par exemple, un designer confronté au choix d'un matériau lors de la conception de son produit), à une mise en concurrence environnementale des matériaux entre eux en raisonnant directement sur la base des résultats obtenus par la méthode MRA par unité de masse ; un tel raisonnement serait d'évidence non pertinent puisque totalement déconnecté du comportement spécifique de chacun des matériaux dans le cadre d'un produit ou d'une catégorie de produits mais pourtant particulièrement séduisant pour un non expert du fait de la simplicité de la méthode et de la quasi immédiateté des résultats.

- **Une méthode reposant sur des paramètres qu'il nous semble difficile de soumettre à un examen critique :** la mise en œuvre de la méthode MRA repose sur la prise en compte de paramètres spécifiques correspondant au taux de pertes par cycle de vie et à la durée moyenne des produits d'un pool matériau. Les modalités de calcul de ces paramètres ne sont pas explicitées dans les articles consultés. Un point important quant à la transparence de la méthode et la fiabilité des résultats qu'elle produit (et ce en dehors de toutes considérations sur sa pertinence d'usage dans tel ou tel contexte décisionnel) nous semble être lié aux possibilités de soumettre les valeurs de ces paramètres à un examen critique ; dans cette perspective, il conviendrait selon nous de s'interroger sur les données qui nécessitent d'être connues pour déterminer la valeur de ces paramètres, sur les détenteurs actuels de ces données et sur les possibilités offertes à tout un chacun d'apprécier leur justesse. Or, compte tenu du caractère nécessaire très globalisant apporté par l'approche « pool matériau », ces conditions favorables à un examen critique nous paraissent beaucoup plus délicates à réunir que cela n'est le cas quand il s'agit de soumettre à la critique les paramètres (le taux de recyclage d'un matériau dans une catégorie de produits) sur lesquels repose une méthode de la forme CFF ou celle préconisée dans le cadre de l'affichage environnemental en France.

7 - CONCLUSIONS / AVIS SUR LA METHODE

La méthode MRA présente des qualités indéniables en termes de facilité de mise en œuvre.

En revanche, pour que la méthode soit pleinement opérationnelle, mais également afin d'améliorer sa transparence, les modalités de calcul des paramètres spécifiques sur lesquels repose sa mise en œuvre – le taux de pertes du matériau considéré sur un cycle de vie (ML) et la durée de vie moyenne des produits pour ce matériau (PL) – mériteraient d'être explicitées ; les difficultés posées par de tels calculs mériteraient d'être discutées.

Ce point nous semble fondamental dans la mesure où un matériau donné peut entrer dans la fabrication de produits qui vont se caractériser par des durées de vie potentiellement très différentes ainsi que par des modes de gestion en fin de vie potentiellement très différents.

De plus, la méthode ne nous semble pas utilisable en regard de certains objectifs qui pourront être poursuivis dans les études ACV, notamment dans le cas particulier d'une application produit : comme évoqué dans l'analyse détaillée, les paramètres exploités dans la méthode et les résultats produits sont indépendants des considérations spécifiques à chaque catégorie de produits dans lesquels sont utilisés les matériaux. Cette méthode ne permet donc pas la quantification des gains environnementaux associés à une meilleure recyclabilité et n'incite pas à la mise en place de mesures d'amélioration de la recyclabilité d'un produit donné, ou à l'amélioration du taux de recyclage en fin de vie d'une catégorie de produit donnée.

Enfin, du point de vue strictement calculatoire, la méthode (dans sa 2^{ème} version, que nous avons analysée) nous semble introduire une distorsion dans la manière d'appréhender les plastiques d'une part et les autres matériaux d'autre part.

8 - DOCUMENTS DE REFERENCE / CONTACTS-CLES

Voir les références données dans la section 1 « *Carte d'identité de la méthode* » de la présente fiche

Tableau 7 – Analyse détaillée de la méthode « Approche multi-recycling »*

Critère RACER	Sous-critère	Information additionnelle pour l'analyse	Evaluation / commentaire
Pertinence	Lien avec les objectifs fondamentaux de la méthode: la méthode répond-elle vraiment aux problématiques initiales / objectifs qui ont déclenché son développement ?	Proposer une méthode simple pour allouer les impacts/bénéfices de la production et du recyclage d'un matériau sur différents cycles de vie successifs en s'affranchissant de la collecte d'information sur l'utilisation du matériau dans un système de produit particulier.	Oui, la méthode permet d'attribuer les impacts de la production et du recyclage d'un matériau sur les différents cycles de vie, en ne considérant pas les spécificités du cycle de vie du produit dans lequel le matériau est incorporé. Toutefois, la méthode n'est applicable, comme explicitement mentionné par les auteurs, que dans la limite où aucune dégradation de la qualité du matériau ne s'opère à travers les différents cycles de vie dans lesquels le matériau intervient.
	La méthode permet-elle de bien comptabiliser les changements de qualité du matériau (c'est-à-dire la perte – ou le gain- de qualité entre matériau primaire et contenu en recyclé en entrée et matériau secondaire obtenu en sortie) ?		Non, la méthode proposée ne tient pas compte des changements de qualité intrinsèque du matériau à travers les cycles de vie successifs (hypothèse forte de développement de la méthode). L'utilisateur doit déterminer si une dégradation de la qualité du matériau se produit, et si oui, la méthode n'est alors pas applicable.
	La méthode prend-elle en compte les situations suivantes : boucles de recyclage ouvertes et fermées, réutilisation, réemploi, récupération d'énergie ?		La méthode prend en compte les boucles de recyclage fermées et les boucles ouvertes avec « même voie principale » (c'est-à-dire que le matériau recyclé est réutilisé dans un autre système de produit mais remplace la même matière première).
	La méthode tient-elle compte des spécificités du produit, par exemple du niveau de séparabilité élevé ou non des matériaux du produit ?		Non, la méthode ne tient pas compte des spécificités du cycle de vie produit considéré, mais analyse un matériau donné.
	La méthode s'applique-t-elle de façon générale et cohérente à tous les matériaux/toutes les formes d'énergie ?		Non, la méthode ne s'applique qu'à des matériaux ne présentant pas de dégradation de la qualité après recyclage à travers les cycles de vie successifs. Son application n'est donc pas possible pour tous les matériaux, par exemple pour des plastiques ou pour des

Critère RACER	Sous-critère	Information additionnelle pour l'analyse	Evaluation / commentaire
			métaux pour lesquels le matériau secondaire est de qualité moindre. On note en outre une distorsion dans la manière dont sont appréhendés les pertes des plastiques d'une part et les pertes des autres matériaux d'autre part.
	La méthode capture-t-elle tous les impacts environnementaux et aspects pertinents (aspects matériaux, eaux, ressources énergétiques, utilisation des sols, émissions, ...) ?		Oui, s'agissant d'une méthode de calcul de l'inventaire. Toutes les méthodes de caractérisation sont applicables au résultat de la méthode.
Acceptation			
	La méthode est-elle acceptée par les diverses parties prenantes ?	Degré de reconnaissance de la méthode : - Approbation officielle de la méthode - Méthode connue et reconnue par les parties prenantes - Aucune reconnaissance par les parties prenantes	Le cas d'application de la méthode développé par les auteurs a fait l'objet d'une revue critique par tierce partie. Au-delà de la publication et de sa revue critique, il n'y a, à notre connaissance aucune autre étude de cas, appui, ou point de vue externe disponible à date sur cette méthode.
		Acceptation par le milieu académique : la méthode a-t-elle récemment été décrite/citée dans une ou plusieurs publications avec revue par tierce partie indépendante ?	Au-delà de la publication, il n'y a, à notre connaissance, aucune étude de cas, appui, ou point de vue externe disponible à date sur cette méthode.
		Acceptation dans le cadre du développement de politique publique : la méthode (ou les résultats d'une application de la méthode) a-t-elle été testée/appliquée dans le développement ou l'évaluation de politiques nationales/régionales ? Quelles ont été les expérimentations effectuées ?	Au-delà de la publication, il n'y a, à notre connaissance, aucune étude de cas, appui, ou point de vue externe disponible à date sur cette méthode.
	La méthode est-elle conforme aux exigences de l'ISO 14 044 ?		Selon la revue critique de l'étude de cas, oui.
	La méthode permet-elle de différencier les cas de types « comptabilisation » et		La méthode est applicable aux ACV attributionnelles.

Critère RACER	Sous-critère	Information additionnelle pour l'analyse	Evaluation / commentaire
	conséquentiel (au sens de l'ILCD Handbook) ?		
	La méthode présente-t-elle un biais entre produits ou matériaux concurrents en considérant leur performance/équivalence technique, et entre des situations telles que le recyclage, la récupération d'énergie la réutilisation, etc. ?		On note un biais introduit par la méthode : - Entre matériaux : les plastiques et les autres matériaux sont de notre compréhension traités différemment. - Entre produits : la non prise en compte du contenu en recyclé et du taux de recyclage spécifiques aux produits dans lesquels les matériaux sont utilisés introduit un biais favorisant les produits pour lesquels le contenu en recyclé ou le taux de recyclage sont faibles.
	La méthode est-elle un bon outil d'aide à la décision, en assignant à la fois les impacts et les bénéfices du recyclage conjointement au même cycle de vie ?		La méthode ne tient pas compte des améliorations potentielles qui pourraient être faites au niveau du produit (amélioration de la recyclabilité par exemple), ce qui en fait un outil limité d'aide à la décision à l'échelle du produit.
	La méthode est-elle applicable et non biaisée quel que soit la boucle (exemple : première et dernière boucle pour les bouteilles ; usages primaire et secondaires répétés d'un matériau) ?		La méthode ne s'applique pas aux boucles ouvertes de recyclage avec voie principale différente, et n'est donc pas applicable à toutes les situations de fin de vie.
	Est-elle en lien avec les objectifs environnementaux stratégiques de l'UE (tout en étant par ailleurs politiquement neutre) ?		Non dans le sens où les modes de gestion des déchets priorisés par la hiérarchie des modes de gestion des déchets établie par l'UE ne sont pas encouragés, puisque la méthode aboutit à des données moyennées sur l'ensemble des utilisations d'un matériau.
	La méthode et les résultats obtenus peuvent-ils être communiqués facilement aux consommateurs/non-experts ?		Les résultats sont relativement facilement communicables. Cependant, le fait que la méthode ne capte pas les spécificités du cycle de vie du produit étudié (contenu en recyclé, taux de recyclage) peut représenter un frein dans la communication auprès de certains acteurs.
Crédibilité			
	Les paramètres et les variables de la méthode / formule sont-ils non ambigus ?		La publication manque de précision sur les données qui sont exploitées pour calculer les impacts environnementaux sur l'ensemble des cycles de vie successifs. De plus, le calcul des pertes durant la vie des produits ainsi que de la durée moyenne des produits ne fait pas l'objet de

Critère RACER	Sous-critère	Information additionnelle pour l'analyse	Evaluation / commentaire
			recommandation par les auteurs, ce qui peut freiner la mise en œuvre de la méthode, l'acier pouvant entrer dans une multitude de produits ayant des durées de vie très différentes. Une documentation plus approfondie sur le calcul des paramètres clefs pour la mise en œuvre de la méthode serait nécessaire pour se prononcer.
	Reproductibilité et cohérence : les résultats sont-ils suffisamment similaires si la méthode est mise en œuvre par différents experts et pour différents produits et matériaux ?		Oui (avec cependant une limitation, en raison de l'absence de règles ou recommandations pour estimer les paramètres clefs précédemment cité)
	Documentation des hypothèses et des limites : Les données sous-jacentes, méthodes de calcul et les hypothèses sont-elles pleinement divulguées, interprétables et reproductibles afin d'assurer une application uniforme de la méthode ?		Comme mentionné plus haut, aucune recommandation n'est effectuée quant aux valeurs à prendre en compte ou à la méthode de calcul de la durée moyenne des produits (PL) ou du taux de perte à chaque cycle de vie (ML). Cela nuit à une application uniforme de la méthode.
	La traçabilité/vérification de toutes les données est-elle bonne ?		La simplicité de la méthode rend sa vérification aisée, si l'application de la méthode est correctement documentée par l'utilisateur de la méthode. En revanche, en amont de la méthode, nous notons un risque significatif d'opacité sur le calcul des paramètres clefs ML et PL pour chaque type de matériau.
Simplicité			
	Quel donnée d'entrée/information est requise et à quel degré la disponibilité des données est-elle satisfaisante, incluant la facilité d'accès / de mesure des données, pour les données / information d'avant-plan - si applicable – pour les données d'arrière-plan ?		La méthode paraît d'une mise en œuvre triviale dès lors que sont connus les paramètres clefs pour chacun des matériaux. En revanche, il n'est pas possible de se prononcer sur la complexité et l'ensemble des questions soulevées par le calcul des paramètres clefs ML et PL : la publication ne documente pas suffisamment ces aspects.

Critère RACER	Sous-critère	Information additionnelle pour l'analyse	Evaluation / commentaire
	Est-il possible de mettre à jour les données facilement ?		Il n'est pas possible de se prononcer sur la facilité de mise à jour des paramètres clefs ML et PL et des facteurs qui peuvent conduire à les actualiser : la publication ne documente pas suffisamment ces aspects.
	A quel point le coût d'implémentation de la méthode est bas ?		La méthode, très simple d'utilisation si les inventaires sont développés par chaque filière et mis à disposition des praticiens, est donc d'implémentation peu coûteuse.
	A quel point la complexité de la méthode est-elle limitée et le niveau d'expertise nécessaire pour l'implémentation de la méthode ?		Niveau d'expertise requis assez faible, méthode simple d'emploi dès lors que les paramètres clefs sont connus.
	L'implémentation dans les logiciels est-elle globalement possible ?		Oui, pas de restriction particulière.
	Y a-t-il des potentiels liens/aspects complémentaires entre la méthode en question et d'autres méthodes analysées dans le cadre de ce projet ? Y a-t-il une potentielle intégration plus avancée de la méthode avec (une ou) les autres ?		Non
Robustesse			
	Théorie défendable : la méthodologie est-elle fondée sur une théorie solide ?		La méthode suppose explicitement que le matériau ne subit pas de détérioration de sa qualité intrinsèque à travers les différents cycles de vie, ce qui limite potentiellement son déploiement à des cas particuliers où cette exigence est respectée.
	Comptabilise (environ) 100% des impacts sur le cycle de vie du matériau et plus globalement (c'est-à-dire aucune lacune ou double-comptage sur les cycles de vie dans lesquels le matériau est utilisé jusqu'à ce qu'il soit complètement dissolu)		Les impacts associés à la gestion des pertes de matériaux autres que les plastiques ne sont pas comptabilisés.

Critère RACER	Sous-critère	Information additionnelle pour l'analyse	Evaluation / commentaire
	A quel degré la subjectivité d'implémentation est-elle limitée/minimisée ? Une bonne reproductibilité est-elle assurée, potentiellement via la fourniture de valeurs par défaut ?		La méthode devrait produire des résultats fortement reproductibles dès lors que sont connus les paramètres clefs pour chacun des matériaux. En revanche, il n'est pas possible de se prononcer sur la reproductibilité de calcul des paramètres clefs ML et PL : la publication ne documente pas suffisamment ces aspects.
	Bonne robustesse (c'est-à-dire une faible incertitude sur les résultats et sur l'aide à la décision)		Outre les réserves précédemment pointées en ce qui concerne le calcul des paramètres-clefs de la méthode, il importe de souligner que l'utilité de la méthode est fortement limitée dans le contexte d'une éco-conception produit : en effet, la méthode ne permet pas de prendre en compte les spécificités du produit et ne permet pas de rendre compte de l'intérêt éventuel d'intégrer de la matière recyclée ou d'améliorer son taux de recyclage.
	A quel degré les résultats sont-ils plausibles (c'est-à-dire des changements dans le paramétrage tel que la qualité et la quantité du contenu en recyclé et du matériau recyclé en fin de vie etc. ou encore les émissions, ... aboutissent à des changements appropriés des résultats d'impact en regard de la direction et de l'étendue du changement) ?		La méthode est insensible aux changements de contenu en recyclé, de taux de recyclage, etc. donc ne fournira pas de résultats reflétant les améliorations faites sur les produits.

FICHE METHODE N°3 : COMPTABILISATION DE LA VALEUR RESIDUELLE DES DECHETS

1 - CARTE D'IDENTITE DE LA METHODE

Développeur(s) :	Charlotte Hugrel, Magali Palluau	
Organisation(s) d'appartenance :	Bleu Safran	
Date de première diffusion :	Mai 2014	
Date de dernière mise à jour :	N/A	
Référence :	Annexe 3 <i>Comptabilisation de la consommation d'énergie primaire</i> du rapport final de l'étude menée pour l'ADEME et Eco-Emballages sur le <i>Bilan environnemental du tri et du recyclage des emballages ménagers plastiques autres que bouteilles et flacons</i> , mai 2014	
Utilisateur(s) connu(s) :	N/A	
Développée pour un (des) secteur(s) spécifiques ?	Emballages ménagers plastiques	
Type de méthode :	☐ ACV : ☐ ICV ☐ AICV ☒ Attributionnelle ☐ Conséquentielle	☒ Autre (ex : couplage ACV/autres méthodes)) : indicateur de flux (consommation d'énergie primaire totale)
Catégorie(s) d'impact évaluée(s) :	☒ Pas de restriction (par ex. dans le cas de méthodes de calcul de l'inventaire) ☐ Avec restriction :	Monocritère : ☐ GES ☒ Energie ☐ Autre (préciser) : Multicritères (préciser les catégories d'impact couvertes) :
Type(s) de gestion des déchets couvert(s) :	☐ Prévention ☒ Réemploi ☒ Réutilisation ☒ Récupération d'énergie	Recyclage : ☒ Boucle ouverte ☒ Boucle fermée
Données nécessaires :	Dans l'exemple d'application proposé par les auteures, les données nécessaires pour mettre en œuvre l'approche proposée sont bien identifiées et relativement facile d'accès. Ces données sont :	

	- Le contenu énergétique du déchet entrant dans le système de traitement : les auteurs utilisent le Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) du déchet comme grandeur représentative de son contenu énergétique ; - La consommation d'énergie primaire nécessaire à la mise en œuvre du procédé de traitement du déchet (recyclage, incinération ou enfouissement) ; - La quantité d'énergie primaire restituée par valorisation énergétique ou matière du déchet lors de son traitement ; - Des paramètres spécifiques aux procédés de traitement et valorisation du déchet tels que le rendement de recyclage ou l'efficacité de récupération d'énergie ; - Le contenu en énergie primaire du matériau substitué.
Périmètre géographique des données :	Applicable à tous les contextes géographiques
Préconisée par une norme, un standard, un référentiel méthodologique ?	Non connu

2 - INTRODUCTION

La perception de la notion de déchets a fortement évolué : d'abord considérés sous l'angle des risques sanitaires et des pollutions, les déchets sont de plus en plus considérés comme des ressources potentielles. Cette perception du déchet comme une ressource est d'autant plus renforcée avec la diffusion grandissante du concept d'économie circulaire.

Les auteurs partent du constat que les règles actuelles en matière de comptabilisation environnementale relative à la gestion des déchets reflètent une perception limitée du déchet : le déchet est considéré comme une matière totalement gratuite plutôt que comme une ressource potentielle, à laquelle est rattachée une valeur, et donc potentiellement un coût environnemental. En effet, on considère généralement dans les études ACV qu'une ressource (acier, aluminium, pétrole...) est consommée à partir du moment où cette ressource est mobilisée pour fabriquer le produit. Il peut toutefois sembler intéressant de pouvoir opérer une différenciation sur ces formes de mobilisation, car toutes ne se valent pas, ce qui revient à déporter une partie de la responsabilité de consommation entre la phase de production et la phase de gestion du déchet et à introduire une notion de **valeur résiduelle du déchet** en termes de ressources.

Si l'on considère plus particulièrement l'énergie primaire totale, les méthodes actuelles de comptabilisation de cet indicateur ne tiennent pas compte de la valeur énergétique résiduelle des déchets et ne permettent pas de rendre compte de l'efficacité plus ou moins bonne avec laquelle ces filières exploitent ou non le contenu énergétique des déchets traités.

L'approche présentée par Bleu Safran propose donc une alternative à la comptabilisation « traditionnelle » de la consommation d'énergie primaire dans les ACV en intégrant la valeur résiduelle des déchets au bilan.

A noter que la méthode proposée par les auteurs fait l'objet d'une étude approfondie dans la phase 2 de l'étude.

3 - ENJEUX / OBJECTIFS

Mieux rendre compte de l'efficacité d'utilisation du contenu énergétique résiduel des déchets dans les filières de traitement ...

Le principal enjeu visé par les auteures est de permettre une meilleure prise en compte du niveau d'efficacité avec lequel une filière de traitement donnée (recyclage, valorisation énergétique, enfouissement) exploite l'énergie résiduelle contenue dans les déchets en la détruisant ou en la gardant disponible pour de futurs usages : dans le cas du recyclage, une partie de l'énergie du matériau (sous forme d'énergie matière) traité est encore disponible pour des usages ultérieurs alors que dans les cas de l'incinération avec valorisation énergétique et de l'enfouissement, cette énergie résiduelle n'est plus disponible pour d'autres usages.

... pour permettre une comparaison plus juste des filières de traitement :

Dans les méthodes de comptabilisation actuelles, le fait de considérer le déchet comme une ressource gratuite (du point de vue environnemental) ne permet pas de capturer de façon adéquate l'utilisation destructive ou non du déchet par les filières de traitement, rendant ainsi la comparaison des filières de traitement insuffisamment robuste.

Pour améliorer l'évaluation et la comparaison de la performance énergétique des filières de traitement des déchets, les auteures proposent que **l'énergie contenue dans les déchets (appelée « énergie résiduelle » dans la suite de ce document) soit prise en compte dans la quantification de la consommation d'énergie primaire totale.**

4 - DESCRIPTION

4.1 - PRINCIPES

La méthode de comptabilisation de l'énergie primaire totale proposée est fondée sur les principes suivants :

- Les règles actuelles de comptabilisation environnementales reflètent une vision limitée des déchets : une ressource (matériau ou énergie) est considérée comme consommée lorsque celle-ci est mobilisée dans la fabrication d'un produit : le déchet est considéré comme une matière gratuite.
- En entrée sont comptabilisées : **l'énergie primaire consommée lors de la mise en œuvre du procédé de traitement** du déchet et la **totalité de l'énergie résiduelle contenue dans le déchet**. Dans la proposition des auteures, l'énergie résiduelle du déchet est assimilée au pouvoir calorifique inférieur (PCI) du matériau.
- En sortie : lorsque le procédé de traitement aboutit à la production de matière secondaire (cas du recyclage), l'énergie contenue dans la matière secondaire obtenue est comptabilisée négativement (énergie disponible pour un usage ultérieur). Dans la proposition des auteures, l'énergie contenue dans la matière secondaire est assimilée à son PCI (qui peut être différent du PCI du déchet entrant dans le procédé de traitement).
- L'énergie primaire récupérée par valorisation énergétique du déchet ou l'énergie primaire contenue dans le matériau substitué dans le cas d'une valorisation matière, est également défalquée du bilan d'énergie primaire totale.

4.2 - METHODE DE CALCUL

D'après les principes énoncés ci-dessus, l'énergie primaire totale du traitement des déchets se calcule selon la formule générale suivante :

$$E_{PTOT} = E_{Pentrée} - E_{Psortie} - E_{Pvalo}$$

Avec :

- E_{PTOT} : la consommation d'énergie primaire totale du procédé de traitement du déchet, en MJ
- $E_{Pentrée}$: somme de l'énergie primaire consommée par le procédé de traitement (énergie procédé) et de l'énergie contenue dans le déchet (énergie matière), en MJ
- $E_{Psortie}$: l'énergie primaire restituée en sortie du procédé de recyclage, correspondant à l'énergie matière du matériau r en tenant compte du rendement de recyclage, en MJ

- E_{Pval} : l'énergie primaire récupérée par valorisation énergétique du déchet ou l'énergie « procédé » du matériau vierge substitué par le matériau issu de la valorisation matière du déchet, tenant compte du rendement d'incinération ou du rendement du procédé de recyclage.

Les auteures assimilent l'énergie matière contenue dans le matériau à son pouvoir calorifique inférieur (PCI, exprimé en MJ/kg).

Pour illustrer la méthode, les auteures considèrent trois cas simples de traitements de fin de vie d'un flux d'un kilogramme de déchet de PET.

Hypothèse de départ : la consommation d'énergie nécessaire à la production d'un kilogramme de PET est de 69 MJ, comprenant une partie de l'énergie consommée de manière destructive sous forme de fuel soit 47 MJ, et une partie restituable sous la forme d'énergie matière contenue dans le PET, soit 22 MJ assimilé au PCI. Cette énergie matière contenue dans le déchet est donc comptabilisée dans la consommation d'énergie primaire des différentes filières de traitement du déchet.

NB : dans les exemples suivants, le PCI du PET tient compte de l'humidité/souillures du déchet. Sa valeur est de 18 MJ/kg au lieu de 22 MJ/kg.

- **Cas de l'enfouissement** : le déchet enfoui n'est plus disponible pour des usages ultérieurs, l'énergie matière du déchet enfoui est considérée comme définitivement consommée. L'énergie consommée sous forme de fuel par le procédé d'enfouissement est estimée à 0,6 MJ, ce qui donne le bilan suivant :

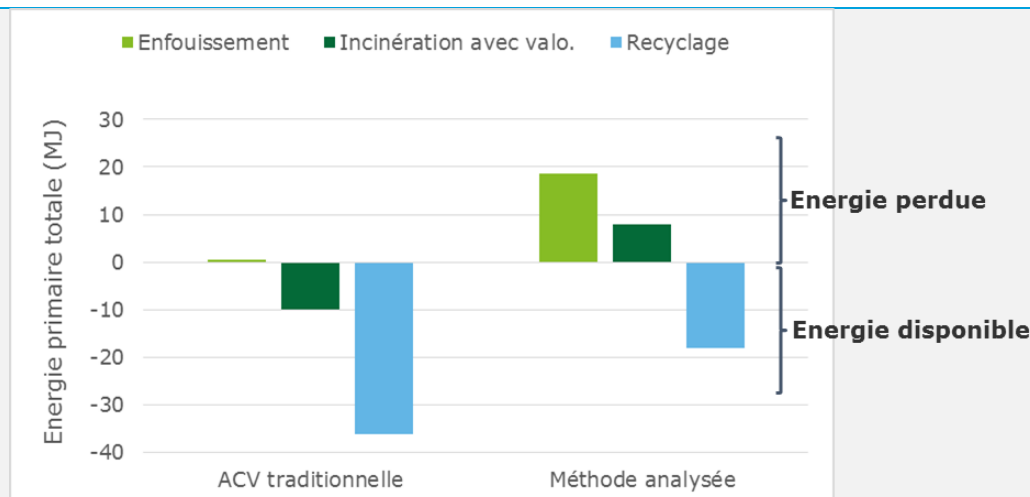
Conso d'énergie primaire totale	Entrées (MJ)		Sorties (MJ)	Valorisation (MJ)	Total (MJ)
	Valeur résiduelle du déchet	Conso. éner du procédé de traitement			
Traditionnelle ACV	0	0,6	0	0	0,6
Méthode analysée	18	0,6	0	0	18,6

- **Cas de l'incinération avec valorisation énergétique** : le déchet est utilisé comme combustible, il n'est donc plus disponible pour des usages ultérieurs. L'énergie récupérée par valorisation lors de l'incinération est estimée à 11 MJ. L'énergie consommée sous forme de fuel par le procédé d'incinération est estimée à 1 MJ :

Conso d'énergie primaire totale	Entrées (MJ)		Sorties (MJ)	Valorisation (MJ)	Total (MJ)
	Valeur résiduelle du déchet	Conso. éner du procédé de traitement			
Traditionnelle ACV	0	1	0	- 11	- 10
Méthode analysée	18	1	0	- 11	8

- **Cas du recyclage** : le recyclage du PET aboutit à la mise à disposition de PET secondaire dont le contenu énergétique demeure utilisable ultérieurement. Le rendement du procédé de recyclage est de 70% et l'énergie procédé est estimée à 12,2 MJ. La quantité de PET secondaire obtenue se substitue à une quantité équivalente de PET vierge.

Conso d'énergie primaire totale	Entrées (MJ)		Sorties (MJ)	Valorisation (MJ)	Total (MJ)
	Valeur résiduelle du déchet	Conso. éner du procédé de traitement			
Traditionnelle ACV	0	12,2	0	- 0,7 x 69	- 36,1
Méthode analysée	18	12,2	- 0,7 x 22	- 0,7 x (69 - 22)	- 18,1



Les principales conclusions tirées de cet exemple sont les suivantes :

- La méthode ne modifie pas l'écart entre deux filières de traitement
- En revanche la méthode modifie la perception des filières :
 - L'enfouissement conduit à la perte définitive de l'énergie matière du déchet
 - L'incinération avec valorisation énergétique ne permet pas de récupérer la totalité de la valeur énergétique du déchet.

4.3 - DONNEES NECESSAIRES

En dehors du PCI du déchet en entrée de traitement/valorisation, la méthode ne demande pas de collecte supplémentaire de données par rapport à une comptabilisation « classique » de l'énergie primaire.

5 - CAS D'APPLICATION

La méthode a été appliquée dans le cadre de l'étude du bilan environnemental du tri et du recyclage des emballages ménagers plastiques autres que bouteilles et flacons menée par Bleu Safran pour le compte d'Eco-Emballages en 2014.

Aucun autre cas d'étude appliqué à la gestion des déchets n'a été identifié à date.

6 - ANALYSE DETAILLEE

Intégration de l'énergie matière dans l'indicateur de consommation d'énergie primaire : ce que disent les normes et référentiels

La norme ISO 14 044 précise que les flux d'énergie matière doivent être inclus dans les frontières du système analysé, sans toutefois donner d'orientation claire sur la façon de prendre en compte ces flux au niveau de l'ICV ou dans des indicateurs de consommation d'énergie.

Dans la norme NF EN 15 804 encadrant l'élaboration des déclarations environnementales sur les produits de construction sont définis plusieurs indicateurs de flux d'utilisation d'énergie primaire renouvelable et non renouvelable, dont deux indicateurs « utilisation des ressources d'énergie primaire renouvelables/non renouvelables utilisées en tant que matière première », correspondant au contenu énergétique du matériau.

La méthode est-elle généralisable à l'ensemble du cycle de vie ?

Initialement, la méthode de prise en compte de la valeur résiduelle des déchets a été mise en œuvre par les auteurs dans le cadre spécifique de l'évaluation environnementale des filières de fin de vie : le déchet en entrée de système de

traitement se voit affecter une valeur non nulle (son contenu énergétique). Dans ce cas précis, il n'y a pas de risque de double-comptage de l'énergie.

En revanche, un certain nombre de questions peuvent se poser dans le cas d'une généralisation de la méthode proposée au cycle de vie complet, notamment sur la généralisation de la méthode à d'autres indicateurs (en particulier l'indicateur ressources). Cette question sera traitée dans le focus sur la méthode réalisé dans le cadre de la phase 2 de la mission.

7 - CONCLUSIONS / AVIS SUR LA METHODE

La méthode proposée fait sens lorsqu'elle est appliquée au cas spécifique de l'ACV de filières déchets, mais ne présente pas d'intérêt particulier pour des ACV produits.

La méthode ne modifie pas les écarts relatifs d'énergie primaire totale entre les filières de gestion des déchets, mais les résultats obtenus (en valeur absolue) modifient la perception d'une filière donnée par rapport aux résultats obtenus dans la mise en œuvre « traditionnelle » des ACV de filières de gestion des déchets (ex : l'incinération avec valorisation énergétique apparaît comme consommatrice nette d'énergie en tenant compte de la valeur résiduelle du déchet, alors qu'elle restitue de l'énergie lorsque la valeur résiduelle du déchet n'est pas prise en compte).

Enfin, la méthode dans sa forme actuelle considère uniquement la consommation d'énergie : elle s'applique donc en toute logique à des matériaux présentant un contenu énergétique (exemple du PET) mais n'a pas d'intérêt pour des matériaux inertes tels que les métaux. En revanche, si la méthode peut être étendue à d'autres indicateurs, en particulier aux ressources, son application pourrait être généralisée à tous les matériaux.

8 - DOCUMENTS DE REFERENCE / CONTACTS-CLES

- ADEME/Eco-Emballages / Bleu Safran, *Bilan environnemental du tri et du recyclage des emballages ménagers plastiques autres que bouteilles et flacons*, p44-45, mai 2014
- ADEME/Eco-Emballages / Bleu Safran, *Bilan environnemental du tri et du recyclage des emballages ménagers plastiques autres que bouteilles et flacons – Annexe 3 : Comptabilisation de la consommation d'énergie primaire*, mai 2014

Tableau 8 – Analyse détaillée de la méthode « Comptabilisation de la valeur résiduelle des déchets »

Critère RACER	Sous-critère	Information additionnelle pour l'analyse	Evaluation / commentaire
Pertinence	Lien avec les objectifs fondamentaux de la méthode: la méthode répond-elle vraiment aux problématiques initiales / objectifs qui ont déclenché son développement ?	Mieux rendre compte de l'efficacité d'utilisation du contenu énergétique résiduel des déchets dans les filières de traitement	Prise en compte de l'énergie matière contenue dans les déchets (énergie matière) dans l'évaluation de la consommation d'énergie primaire totale des filières de traitement/valorisation des déchets : la méthode change la perception des résultats pour chaque filière, sans changer le positionnement relatif des filières entre elles..
		Permettre une comparaison plus juste des filières de traitement	La méthode permet de capturer de façon adéquate l'utilisation destructive ou non du déchet par les filières de traitement, rendant ainsi la comparaison des filières de traitement peu robuste.
	La méthode permet-elle de bien comptabiliser les changements de qualité du matériau (c'est-à-dire la perte – ou le gain- de qualité entre matériau primaire et contenu en recyclé en entrée et matériau secondaire obtenu en sortie) ?		En sortie de recyclage, le PCI considéré est celui de la matière recyclée : la méthode prend donc en compte de manière restreinte à l'énergie (puisque la méthode s'intéresse à la consommation d'énergie primaire totale) le changement de qualité (sur le plan énergétique) du matériau..
	La méthode prend-elle en compte les situations suivantes : boucles de recyclage ouvertes et fermées, réutilisation, réemploi, récupération d'énergie ?		La méthode peut s'appliquer à toutes les formes de traitement en fin de vie y compris aux boucles de recyclage ouvertes ou fermées.
	La méthode tient-elle compte des spécificités du produit, par exemple du niveau de séparabilité élevé ou non des matériaux du produit ?		La méthode ne traite pas explicitement ce point, mais elle est compatible avec la prise en compte de la plus ou moins bonne séparabilité des matériaux..
	La méthode s'applique de façon générale et cohérente à tous les matériaux/toutes les formes d'énergie ?		L'application de la méthode fait sens pour des matériaux qui comporte un contenu en énergie matière dans la mesure où la méthode s'intéresse à la consommation d'énergie (son

Critère RACER	Sous-critère	Information additionnelle pour l'analyse	Evaluation / commentaire
			application à des matériaux inertes tels que les métaux n'a pas de sens). En revanche, dans le cas où la méthode est généralisable à d'autres indicateurs, en particulier ressource, elle pourrait potentiellement s'appliquer à tous les matériaux. Ce point sera investigué dans le focus en phase 2.
	La méthode capture-t-elle tous les impacts environnementaux et aspects pertinents (aspects matériaux, eaux, ressources énergétiques, utilisation des sols, émissions, ...) ?		La méthode ne couvre que la consommation d'énergie primaire. L'extension à d'autres impacts (ressources) sera analysée dans le focus sur la méthode en phase 2 de la mission.
Acceptation			
	La méthode est-elle acceptée par les diverses parties prenantes ?	Degré de reconnaissance de la méthode : - Approbation officielle de la méthode - Méthode connue et reconnue par les parties prenantes - Aucune reconnaissance par les parties prenantes	Aucune autre étude sur le sujet n'a été identifiée à ce stade. La méthode a fait l'objet d'une revue critique et a été développée dans une étude pour l'ADEME et Eco-Emballages De plus, d'après les auteures, la méthode a reçu un accueil favorable de la part d'ONG et d'acteurs de la valorisation des combustibles solides de récupération (CSR)/
		Acceptation par le milieu académique : la méthode a-t-elle récemment été décrite/citée dans une ou plusieurs publications avec revue par tierce partie indépendante ?	Non connu.
		Acceptation dans le cadre du développement de politique publique : la méthode (ou les résultats d'une application de la méthode) a-t-elle été testée/appliquée dans le développement ou l'évaluation de politiques	Non connu

Critère RACER	Sous-critère	Information additionnelle pour l'analyse	Evaluation / commentaire
		nationales/régionales ? Quelles ont été les expérimentations effectuées ?	
	La méthode est-elle conforme aux exigences de l'ISO 14 044 ?		La méthode ne présente pas de contradiction évidente avec les exigences de l'ISO 14044.
	La méthode permet-elle de différencier les cas de types « comptabilisation » et conséquentiel (au sens de l'ILCD Handbook) ?		L'applicabilité de la méthode en ACV conséquentielle sera discutée dans le focus de la phase 2.
	La méthode présente-t-elle un biais entre produits ou matériaux concurrents en considérant leur performance/équivalence technique, et entre des situations telles que le recyclage, la récupération d'énergie la réutilisation, etc. ?		La méthode permet d'ajouter un niveau de détail supplémentaire au calcul de la consommation d'énergie primaire, mais ne change pas les conclusions des comparaisons possibles entre les différents modes de traitement de fin de vie.
	La méthode est-elle un bon outil d'aide à la décision, en assignant à la fois les impacts et les bénéfices du recyclage conjointement au même cycle de vie ?		N/A
	La méthode est-elle applicable et non biaisée quel que soit la boucle (exemple : première et dernière boucle pour les bouteilles ; usages primaire et secondaires répétés d'un matériau) ?		Oui
	Est-elle en lien avec les objectifs environnementaux stratégiques de l'UE (tout en étant par ailleurs politiquement neutre) ?		Oui dans le sens où la méthode met en exergue la valeur résiduelle des déchets (en ligne avec l'esprit des directives européennes sur les déchets)...

Critère RACER	Sous-critère	Information additionnelle pour l'analyse	Evaluation / commentaire
	La méthode et les résultats obtenus peuvent-ils être communiqués facilement aux consommateurs/non-experts ?		Très facilement. En témoigne l'exemple très simple pour expliquer la méthode : il n'y a pas besoin d'explications ou de formule mathématique.
Crédibilité			
	Les paramètres et les variables de la méthode / formule sont-ils non ambigus ?		Pas d'ambiguïté des paramètres ou variables.
	Reproductibilité et cohérence : les résultats sont-ils suffisamment similaires si la méthode est mise en œuvre par différents experts et pour différents produits et matériaux ?		La méthode semble suffisamment simple à mettre en œuvre pour obtenir des résultats similaires si appliquée par différents experts. En revanche, il serait intéressant de disposer d'une documentation plus détaillée explicitant très clairement les limites de la méthode, ainsi que chaque paramètre de la méthode. De même, des résultats similaires et cohérents peuvent être obtenus pour différents matériaux (présentant un contenu en énergie matière dans ce cas précis).
	Documentation des hypothèses et des limites :		La documentation de la méthode mériterait d'être formalisée pour lever toute ambiguïté d'interprétation ou de compréhension des enjeux, objectifs et mise en œuvre de la méthode. Toutefois, il est nécessaire de rappeler que la méthode a été développée dans le cadre d'une étude dont ce n'était pas l'objectif principal, expliquant que certains aspects ne soit pas traités (ou traités partiellement) et que la méthode ne soit pas présentée de façon très formelle.
	Les données sous-jacentes, méthodes de calcul et les hypothèses sont-elles pleinement divulguées, interprétables et reproductibles afin d'assurer une application uniforme de la méthode ?		Les données sont aisément traçables, même dans le cas d'une revue critique.
Simplicité			

Critère RACER	Sous-critère	Information additionnelle pour l'analyse	Evaluation / commentaire
	Quel donnée d'entrée/information est requise et à quel degré la disponibilité des données est-elle satisfaisante, incluant la facilité d'accès / de mesure des données, pour les données / information d'avant-plan» - si applicable – pour les données d'arrière-plan ?		La méthode nécessite des données sur la consommation d'énergie des procédés de traitement/valorisation, sur l'énergie matière des matériaux (PCI), sur les rendements de recyclage/de récupération d'énergie par incinération avec valorisation, sur l'énergie « procédé » de la matière vierge substituée.
	Est-il possible de mettre à jour les données facilement ?		Mise à jour des données facilement réalisable.
	A quel point le coût d'implémentation de la méthode est bas ?		Mise en œuvre de la méthode semble peu coûteuse.
	A quel point la complexité de la méthode est-elle limitée et le niveau d'expertise nécessaire pour l'implémentation de la méthode ?		La mise en œuvre de la méthode ne semble pas nécessiter un fort niveau d'expertise.
	L'implémentation dans les logiciels est-elle globalement possible ?		La mise en œuvre de la méthode dans les logiciels ACV semble nécessiter quelques ajustements de la part du praticien, notamment : - L'ajout éventuel de certains flux élémentaires comme les flux pour l'énergie matière des matériaux) - L'implémentation d'une méthode de calcul ad hoc (rappelant notamment les flux élémentaires ajoutés d'énergie matière) - De pouvoir isoler l'énergie « procédé » d'un matériau Dans tous les cas, le praticien doit s'assurer qu'aucune composante de l'énergie totale ne soit oubliée ou comptabilisée plusieurs fois dans la méthode.
	Y a-t-il des potentiels liens/aspects complémentaires entre la méthode en		Non

Critère RACER	Sous-critère	Information additionnelle pour l'analyse	Evaluation / commentaire
	question et d'autres méthodes analysées dans le cadre de ce projet ?		
Robustesse			
	Théorie défendable : la méthodologie est-elle fondée sur une théorie solide ?		La méthode est en cours de développement. Cependant, elle semble basée sur une théorie plausible, mais mériterait d'être documentée de façon plus approfondie, afin de permettre au praticien de bien comprendre les tenants et aboutissants de la méthode pour permettre une mise en œuvre robuste de la méthode.
	Comptabilise (environ) 100% des impacts sur le cycle de vie du matériau et plus globalement (c'est-à-dire aucune lacune ou double-comptage sur les cycles de vie dans lesquels le matériau est utilisé jusqu'à ce qu'il soit complètement dissolu)		La méthode, correctement implémentée, ne fait pas de double-comptage et ne présente pas de lacune dans le calcul de l'énergie primaire totale.
	A quel degré la subjectivité d'implémentation est-elle limitée/minimisée ? Une bonne reproductibilité est-elle assurée, potentiellement via la fourniture de valeurs par défaut ?		Lors de la mise en œuvre de la méthode, la subjectivité semble limitée. Si la mise en œuvre de la méthode est décrite de façon non formelle (comment intégrer l'énergie matière dans le calcul, quelle grandeur utiliser pour quantifier l'énergie matière), la reproductibilité semble bonne.
	Bonne robustesse (c'est-à-dire une faible incertitude sur les résultats et sur l'aide à la décision)		Les résultats obtenus avec la méthode sont fiables. L'incertitude peut venir des praticiens qui ne seraient pas familiarisés avec la prise en compte de la valeur résiduelle énergétique dans l'évaluation de la consommation d'énergie primaire.
	A quel degré les résultats sont-ils plausibles (c'est-à-dire des changements dans le paramétrage tel que la qualité et la quantité du contenu en recyclé et du matériau recyclé en fin de vie etc. ou		L'application à d'autres matériaux nécessiterait d'étendre la méthode à d'autres indicateurs (ressources, en particulier) dans la mesure où la ressource utilisée pour produire ces matériaux n'est pas uniquement de la ressource énergétique, comme c'est le cas pour le PET..

Critère RACER	Sous-critère	Information additionnelle pour l'analyse	Evaluation / commentaire
	encore les émissions, ... aboutissent à des changements appropriés des résultats d'impact en regard de la direction et de l'étendue du changement) ?		

FICHE METHODE N°4 : INCLUSION DES ACTIVITES DE PREVENTION DANS LES ACV DE GESTION DES DECHETS

FICHE METHODE N°4 : INCLUSION DES ACTIVITES DE PREVENTION DANS LES ACV DE GESTION DES DECHETS

1 - CARTE D'IDENTITE DE LA METHODE

Développeur(s) :	Simone Nessi & Lucia Rigamonti & Mario Grosso	
Organisation(s) d'appartenance :	Politecnico di Milano	
Date de première diffusion :	22 Mai 2013	
Date de dernière mise à jour :	N/A	
Référence :	Nessi S, Rigamonti L., Grosso M. (2013) Discussion on methods to include prevention activities in waste management LCA: Int J Life Cycle Ass. (2013) 18:1358–1373	
Utilisateur(s) connu(s) :	Non	
Développée pour un (des) secteur(s) spécifique(s) ?	ACV de systèmes de gestion de déchets, applicable à tout secteur	
Type de méthode :	☒ ACV : ☒ ICV ☐ AICV ☒ Attributionnelle ☐ Conséquentielle	☐ Autre (ex : couplage ACV/autres méthodes) :
Catégorie(s) d'impact évaluée(s) :	☒ Pas de restriction (par ex. dans le cas de méthodes de calcul de l'inventaire) ☐ Avec restriction:	Monocritère : ☐ GES ☐ Energie ☐ Autre (préciser) : Multicritères (préciser les catégories d'impact couvertes) :
Type(s) de gestion des déchets couvert(s) :	☒ Prévention ☒ Réemploi ☒ Réutilisation ☒ Récupération d'énergie	Recyclage : ☒ Boucle ouverte ☒ Boucle fermée
Données nécessaires :	Selon la situation, si la méthode est utilisée pour une situation réelle :	

	- Pour les procédés d'avant-plan, les données doivent être des données spécifiques pour refléter la situation spécifique étudiée. - Pour les procédés d'arrière-plan, les données peuvent être des données génériques. Si la méthode est utilisée pour vérifier des hypothèses concernant la performance environnementale de tel ou tel scénario de gestion de déchets, des données génériques peuvent également être utilisées pour les procédés d'avant-plan.
Périmètre géographique des données :	Applicable à toutes les zones géographiques.
Préconisée par une norme, un standard, un référentiel méthodologique ?	Non

2 - INTRODUCTION

Les activités de prévention des déchets ont rarement été incluses dans les ACV des systèmes de gestion des déchets solides municipaux, et ce pour plusieurs raisons. Cependant, selon la directive 2008/98/EC du Parlement Européen et du Conseil du 19 novembre 2008 sur les déchets, les Etats membres de l'UE doivent élaborer des programmes nationaux de prévention des déchets, si possible intégrés au sein de plans généraux de gestion des déchets.

Afin de faciliter la comparaison des scénarios de gestion des déchets municipaux solides intégrant la prévention des déchets et les différentes méthodes de traitement, les auteurs proposent une méthode selon deux approches possibles d'ACV pour l'évaluation de la performance environnementale de ces scénarios :

- **Approche 1: Les procédés amont du cycle de vie des déchets évités et leurs impacts sont intégrés comme procédés/impacts évités dans les scénarios de prévention des déchets.**
- **Approche 2: Ils sont intégrés comme procédés/impacts additionnels dans le scénario de référence où ils se trouvent réellement.**

Les deux approches permettent d'obtenir les mêmes résultats en termes de différence entre les impacts du scénario de prévention des déchets et les impacts du scénario de référence, qui représente les impacts nets associés à la mise en place des activités de prévention des déchets considérées ainsi que toutes les possibles modifications de la gestion des déchets solides municipaux non évités.

3 - ENJEUX / OBJECTIFS

L'objectif est de permettre au praticien ACV de comparer la performance environnementale des systèmes de gestion des déchets intégrant une étape de prévention à un scénario de référence. L'enjeu que les auteurs proposent de gérer avec cette méthode est d'inclure les activités de prévention dans le cadre ACV classique de gestion des déchets (ne considérant que les procédés de gestion des déchets hors prévention).

4 - DESCRIPTION

4.1 - PRINCIPES

Contrairement aux ACV traditionnelles de gestion des déchets solides municipaux, cette méthode permet aux praticiens d'intégrer les procédés amont de gestion des déchets, étendant la frontière du système de l'étude ACV pour intégrer les activités de prévention depuis l'extraction des matières premières du produit étudié.

Les différentes actions de prévention considérées par les auteurs sont :

1. *Les réductions de consommation de biens par les citoyens (sans réduire la consommation du service fourni à la base par ces biens). Par exemple, la réduction de la consommation domestique de papier au travers de l'impression recto-verso et la sauvegarde.*
2. *Les réductions de gaspillage des biens (inutile au consommateur).*
3. Les réductions de la quantité de matériaux utilisés lors de la phase de fabrication ou d'emballage des biens via une conception plus efficace (sans réduction de performance). Par exemple, réduction de la quantité d'emballage totale, sans augmentation significative de la quantité de produits emballés endommagés ou perdus.
4. L'utilisation de biens sans emballage plutôt que de biens emballés.
5. Le développement et/ou l'utilisation de biens réutilisables ou de biens fournis dans des emballages réutilisables au lieu de biens jetables ou fournis dans un emballage jetable.
6. L'utilisation d'un bien numérique au lieu d'un bien jetable.
7. Réutilisation directe d'un bien ou d'un emballage par le propriétaire (personne privée ou organisation) en substitution de la consommation d'un nouveau bien ou emballage jetable ou réutilisable.
8. La réutilisation de biens durables au travers de la vente et l'achat d'occasion, le don ou l'échange.
9. L'extension de la durée de vie des biens durables existants par les citoyens ou les centres de réparation.
10. L'extension de la durée de vie opérationnelle d'un bien durable par les producteurs.

Note : Les activités de prévention des déchets de type 1 et 2 sont mentionnées par souci d'exhaustivité mais ne sont pas applicables car la méthode est prévue pour les concepteurs de produits. Les changements de comportement des consommateurs sans changement de la conception ne font pas partie du périmètre considéré.

La méthode peut être utilisée pour identifier dans les résultats les charges ou bénéfices attribuées à la prévention des déchets, au recyclage, aux traitements biochimiques ou thermiques, ainsi qu'à la mise en décharge, au sein d'un système spécifique de gestion des déchets. Cette méthode se distingue également par sa capacité à évaluer les scénarios dont le but est la prévention de flux de déchets spécifiques pour obtenir en aval des gains d'efficacité sur la gestion de tous les déchets.

Les deux approches ont des unités fonctionnelles différentes :

1^{ère} approche :

“la gestion intégrée des déchets potentiellement produits sur une période donnée et sur une aire géographique donnée (ou par l'un de ces habitants), dans laquelle des activités de prévention des déchets sont entreprises”.

Note : Cette approche peut aussi utiliser comme une unité fonctionnelle une quantité donnée de déchets pour une période donnée et sur une aire géographique donnée.

2^{ème} approche :

“la gestion des déchets produits sur une période donnée et sur une aire géographique donnée (ou par l'un de ces habitants)”, toujours sans précision de la quantité. La prévention des déchets n'est ici pas considérée comme une possible méthode de gestion des déchets, par conséquent la quantité de déchets à gérer diffère selon les scénarios. C'est pourquoi il est nécessaire de relier le(s) système(s) de gestion des déchets considéré(s) à un contexte géographique précis (réel ou hypothétique).

4.2 - METHODE DE CALCUL

La méthode propose deux approches de calcul, qui fournissent le même résultat final mais selon un point de vue différent.

- **Approche 1: Les procédés amont du cycle de vie de la prévention des déchets et leurs impacts sont intégrés comme procédés/impacts évités dans les scénarios de prévention des déchets :**

Dans l'approche 1, les procédés considérés dans chacun des scénarios comparés sont les suivants :

- Scénario de référence :

$$BLS = A \quad (1)$$

où :

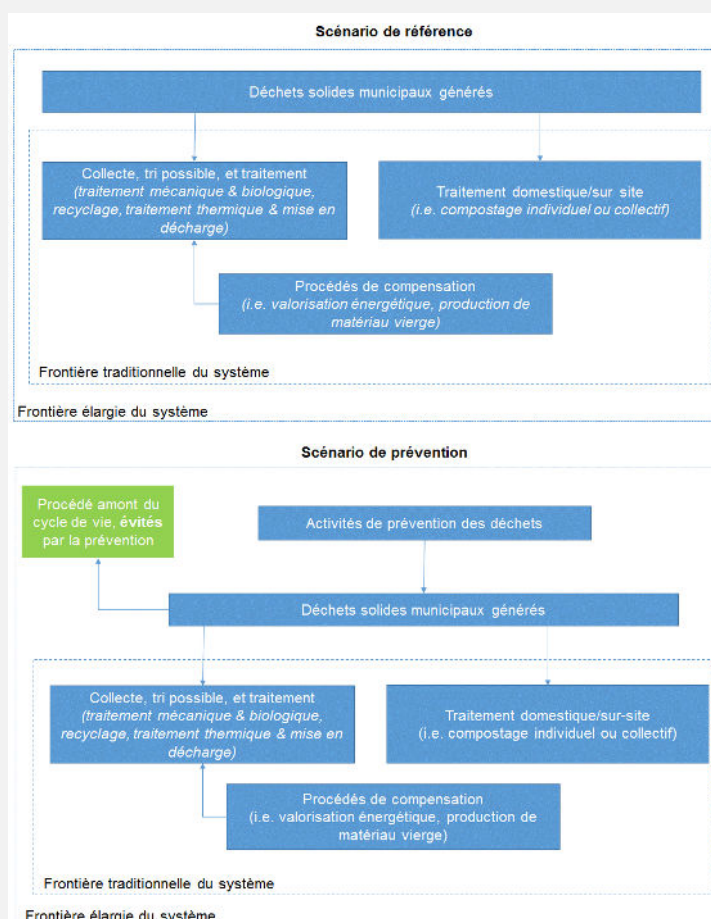
- BLS = les impacts du scénario de référence (« BLS » pour « baseline scenario ») ;
- A = les impacts du système de traitement de déchets sans prévention.

- Scénario de prévention :

$$WPS = B - D + C \quad (2)$$

où :

- WPS = les impacts du scénario de prévention des déchets incluant n activités de prévention des déchets (de type 3 à 10⁷) (« WPS » pour « waste prevention scenario »).
- B = les impacts du système de traitement des déchets dans le cadre de la prévention, c'est-à-dire la partie du système de gestion des déchets incluant la collecte des déchets, le tri possible et les procédés de traitement conventionnels (tant pour le traitement domestique que sur site) de tous les flux de déchets « encore » générés au sein du scénario de prévention analysé.
- C = les impacts des procédés amont dus à la mise en place des activités de prévention de type 3 à 10.
- D = les impacts (évités) des procédés amont (extraction des matières premières, production des matériaux, fabrication du produit, distribution, utilisation) du cycle de vie des déchets évités.



⁷ Voir note page précédente pour la justification de l'exclusion des activités de type 1 et 2

Figure 2. Frontière du système pour l'approche 1.
Une figure plus détaillée est présentée dans Nessi et al (2013).

- **Approche 2 : Les procédés amont du cycle de vie de la prévention des déchets et leurs impacts sont intégrés comme procédés/impacts additionnels dans le scénario de référence où ils se produisent réellement.**

Dans l'approche 2, les impacts du scénario de référence sont les impacts du système de gestion des déchets sans les étapes de prévention mais avec les impacts (évités dans le scénario de prévention) des procédés amont :

- Scénario de référence :

$$\text{BLS} = \text{A} + \text{D} \quad (3)$$

- Scénario de prévention :

$$\text{WPS} = \text{B} + \text{C} \quad (4)$$

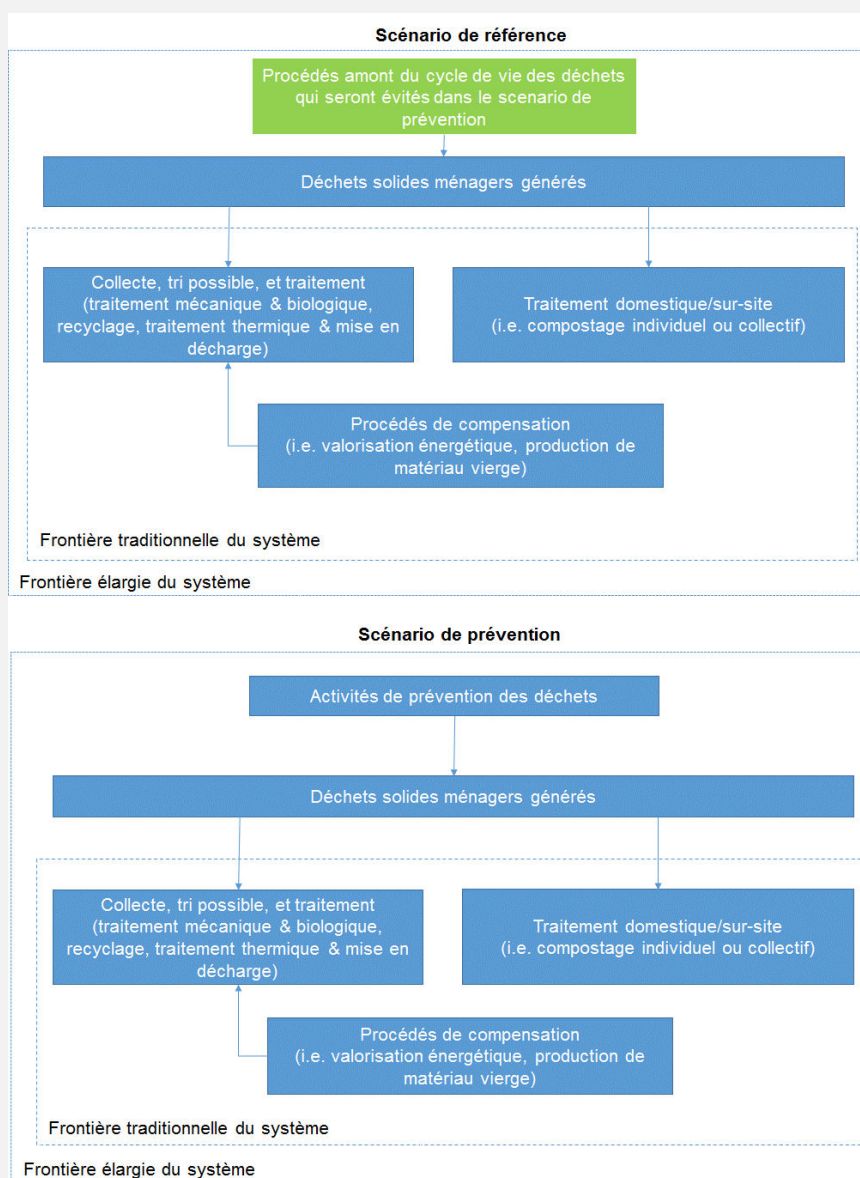


Figure 3. Frontière du système pour l'approche 2.
Une figure plus détaillée est fournie dans Nessi et al (2013).

Les impacts nets des deux approches sont les mêmes et peuvent être présentés comme ci-dessous :

$$\text{Impacts nets de l'approche 1 : } \text{A} - (\text{B} + \text{C} - \text{D}) \quad (5)$$

4.3 - DONNEES NECESSAIRES

Les données d'ICV/AICV des procédés, c'est à dire des activités de prévention des déchets (comme par exemple la réduction des quantités d'acier utilisées pour la fabrication d'une machine à laver, la distribution et l'utilisation d'eau ou autres boissons emballées dans des bouteilles rechargeables plutôt que dans des bouteilles à usage unique, l'utilisation de boîtes en carton réversibles et réutilisables pour le transport des biens plutôt que des cartons jetables, substitution par des brochures sur internet avec les informations d'offres commerciales des brochures imprimées...) et des procédés amont associés sont nécessaires pour appliquer la méthode.

Les données d'avant-plan, c'est-à-dire les informations spécifiques concernant les flux de matière et d'énergie à la fois pour les activités de prévention et de gestion des déchets spécifiques au cas réel (mis en œuvre dans une région et sur une période données) doivent être utilisées.

4.4 - AUTRES SPECIFICITE(S) DE LA METHODE

La méthode ne fournit aucune méthode spécifique de calcul ou d'estimation des taux de recyclage, des pertes de facteur de qualité ou autre. Le facteur de perte de qualité est implicitement couvert par la sélection des données utilisées dans l'étude. Le changement des propriétés inhérentes n'est pas explicitement abordé.

5 - CAS D'APPLICATION

La méthode peut être utilisée pour comparer des scénarios fonctionnellement équivalents de gestion des déchets municipaux solides intégrant à la fois du traitement et de la prévention. Elle peut être utilisée pour l'analyse de scénarios de gestion des déchets pour un contexte géographique spécifique, réel ou hypothétique pour les déchets municipaux ou tout autre déchet. Seule la première approche peut être utilisée pour évaluer les conséquences de l'introduction d'un système de prévention des déchets dans un système de gestion des déchets global, en modifiant l'unité fonctionnelle en utilisant les approches de Gentil et al. (2011) et Cleary (2010), où "l'unité fonctionnelle est composée de la quantité de déchets réellement générés et de la quantité de déchets évités ou "virtuels", la somme étant identique dans les deux scénarios comparés".

6 - ANALYSE DETAILLEE

La méthode proposée donne un résultat plus large que les études d'ACV conventionnelles sur la gestion des déchets car elle intègre explicitement l'étape de prévention dans la frontière du système. La 1^{ère} approche a une gamme plus large d'applications en comparaison de la 2^{nde} méthode, de par son unité fonctionnelle.

De plus, la 1^{ère} approche est plutôt similaire à la méthode proposée par Cleary (2010). Il y a deux différences entre ces méthodes :

1. La définition de l'unité fonctionnelle (UF), ou UF primaire ; Cleary a défini son UF primaire comme l'UF de la gestion des déchets.
2. La méthode n'a pas d'exigence sur la définition d'une UF secondaire, qui est l'UF du produit entrant dans le système de gestion des déchets, par exemple le cas de l'emballage proposé par Cleary.

Note : Similaires aux UF des ACV produits, les UF secondaires sont utilisées pour assurer les scénarios de gestion des déchets comparés fournissent un service produit aux habitants de la municipalité fonctionnellement équivalent. Cela est applicable pour les activités de prévention de type 3 à 10. Les activités de prévention de type 1 et 2 ne sont pas applicables car la méthode est à destination des concepteurs de produits. Les changements de comportement des consommateurs sans changement de la conception ne sont pas inclus dans le périmètre.

Par ailleurs, dans la mesure où cette méthode est utilisée pour comparer des actions de prévention avec le scénario de référence, il faut tenir compte du fait que cette méthode est utilisée pour une assertion comparative. De ce fait, les exigences supplémentaires selon l'ISO 14044 (par exemple sur la revue critique, le reporting, etc.) doivent être remplies si une communication externe est visée. Aucune information n'est fournie par les auteurs à ce sujet.

Les bénéfices de cette méthode pourraient être limités à des cas spécifiques, dans la mesure où il y a une certaine déconnexion entre la personne qui va typiquement appliquer la méthode et celui qui pourrait mettre en œuvre les améliorations identifiées : d'un côté ce sont les producteurs et concepteurs des produits qui peuvent implémenter de nombreux types d'activités de prévention des déchets, de l'autre ce sont des études gouvernementales qui souvent identifient les activités de prévention performantes, sans que les résultats soient nécessairement repris par l'industrie. En d'autres termes, les résultats de ces études ne seront bénéfiques seulement si soit l'organisme gouvernemental les utilise pour élaborer des politiques afin d'encourager les industries à améliorer leurs produits, soit des études conjointes entre le gouvernement et les industries sont mises en œuvre.

7 - CONCLUSIONS / AVIS SUR LA METHODE

Cette approche donne un résultat plus complet qu'une étude ACV conventionnelle sur la gestion des déchets. Elle permet d'élargir le champ des ACV classiques en incluant les procédés amont, notamment des déchets évités. Cependant, en comparaison d'une ACV produit, cette méthode ne va pas au-delà de l'état de l'art.

Le concept appliqué ici est simple, mais la mise en œuvre de la méthode nécessite un grand nombre d'informations et d'hypothèses. La méthode n'est donc pas forcément très simple à appliquer.

Le niveau de maturité de la méthode est moyen (quelques publications de chercheurs, sans publication industrielle ou gouvernementale adoptant ou appuyant la méthode).

8 - DOCUMENTS DE REFERENCE / CONTACTS-CLES

- Cleary J (2010): The incorporation of waste prevention activities into lifecycle assessments of municipal solid waste management systems: methodological issues. Int J Life Cycle Assess 15:579–589
- Gentil EC, Gallo D, Christensen TH (2011): Environmental evaluation of municipal waste prevention. Waste Manage 31:2371–2379

Tableau 9 – Analyse détaillée de la méthode « Inclusion des activités de prévention dans les ACV de filières de gestion des déchets »

Critère RACER	Sous-critère	Information additionnelle pour l'analyse	Evaluation / commentaire
Pertinence	Lien avec les objectifs fondamentaux de la méthode: la méthode répond-elle vraiment aux problématiques initiales / objectifs qui ont déclenché son développement ?	Permettre aux utilisateurs d'analyser les performances environnementales de systèmes de gestion des déchets incluant des activités de prévention (en comparaison avec un scénario de référence).	La méthode remplit entièrement son objectif. L'enjeu relevé par cette méthode consistait à étendre les frontières du système pour inclure les procédés en amont alors qu'ils sont habituellement exclus. Cependant, il n'est pas nouveau pour les études ACV de produits d'inclure ce type d'activité amont.
	La méthode permet-elle de bien comptabiliser les changements de qualité du matériau (c'est-à-dire la perte – ou le gain- de qualité entre matériau primaire et contenu en recyclé en entrée et matériau secondaire obtenu en sortie)?		Cette méthode ne prend pas en compte les changements de propriétés inhérentes au produit et la perte de qualité, sauf pour les études qui pourraient indirectement en tenir compte via une collecte de données primaires.
	La méthode prend-elle en compte les situations suivantes : boucles de recyclage ouvertes et fermées, réutilisation, réemploi, récupération d'énergie ?		Cette méthode est applicable à toutes les situations.
	La méthode tient-elle compte des spécificités du produit, par exemple du niveau de séparabilité élevé ou non des matériaux du produit ?		Cette méthode prend bien en compte les spécificités produit.
	La méthode s'applique de façon générale et cohérente à tous les matériaux/toutes les formes d'énergie ?		Cette méthode est largement applicable.
	La méthode capture-t-elle tous les impacts environnementaux et aspects pertinents (aspects matériaux, eaux, ressources énergétiques, utilisation des sols, émissions, ...) ?		S'agissant d'une méthode de calcul de l'inventaire, la publication n'identifie pas de catégories d'impact en particulier mais en utilise quelques-unes à titre d'exemple. Cependant, tous les aspects et impacts environnementaux peuvent considérés.
Acceptation	La méthode est-elle acceptée par les diverses parties prenantes ?	Degré de reconnaissance de la méthode : - Approbation officielle de la méthode - Méthode connue et reconnue par les parties prenantes	Au-delà de la publication, il n'y a aucun cas d'étude, aucun appui ou avis critique sur cette méthode, qui a fait l'objet d'une publication en 2015 (publication analysée).

Critère RACER	Sous-critère	Information additionnelle pour l'analyse	Evaluation / commentaire
		- Aucune reconnaissance par les parties prenantes	
		Acceptation par le milieu académique : la méthode a-t-elle récemment été décrite/citée dans une ou plusieurs publications avec revue par tierce partie indépendante ?	Au-delà de la publication, il n'y a aucun cas d'étude, aucun appui ou avis critique sur cette méthode, qui a fait l'objet d'une publication en 2015 (publication analysée).
		Acceptation dans le cadre du développement de politique publique : la méthode (ou les résultats d'une application de la méthode) a-t-elle été testée/appliquée dans le développement ou l'évaluation de politiques nationales/régionales ? Quelles ont été les expérimentations effectuées ?	Au-delà de la publication, il n'y a aucun cas d'étude, aucun appui ou avis critique sur cette méthode, qui a fait l'objet d'une publication en 2015 (publication analysée).
	La méthode est-elle conforme aux exigences de l'ISO 14 044 ?		Non, les exigences additionnelles de l'ISO sur les études comparatives ne sont pas couvertes.
	La méthode permet-elle de différencier les cas de types « comptabilisation » et conséquentiel (au sens de l'ILCD Handbook) ?		Non, cela n'est pas prévu. Ceci pourrait faire l'objet d'un développement ultérieur.
	La méthode présente-t-elle un biais entre produits ou matériaux concurrents en considérant leur performance/équivalence technique, et entre des situations telles que le recyclage, la récupération d'énergie la réutilisation, etc. ?		Pas de biais méthodologique.
	La méthode est-elle un bon outil d'aide à la décision, en assignant à la fois les impacts et les bénéfices du recyclage conjointement au même cycle de vie ?		La méthode assigne tous les impacts et bénéfices d'efforts de recyclage conjointement au même système.
	La méthode est-elle applicable et non biaisée quel que soit la boucle (exemple : première et dernière boucle pour les bouteilles ; usages primaire et secondaires répétés d'un matériau) ?		Applicable et non biaisé pour tous les types de boucles.

Critère RACER	Sous-critère	Information additionnelle pour l'analyse	Evaluation / commentaire
	Est-elle en lien avec les objectifs environnementaux stratégiques de l'UE (tout en étant par ailleurs politiquement neutre) ?		Oui
	La méthode et les résultats obtenus peuvent-ils être communiqués facilement aux consommateurs/non-experts ?		Le principe est assez simple à comprendre (la publication en elle-même est adressée à des spécialistes), et facilement communicable.
Crédibilité			
	Les paramètres et les variables de la méthode / formule sont-ils non ambigus ?		Oui
	Reproductibilité et cohérence : les résultats sont-ils suffisamment similaires si la méthode est mise en œuvre par différents experts et pour différents produits et matériaux ?		La reproductibilité de cette méthode est potentiellement faible car elle repose sur de nombreuses hypothèses (par exemple sur l'efficacité des actions de prévention). De plus, il n'y a pas d'information sur la sélection des données secondaires. Cela dépend donc du choix du praticien ou de l'expert.
	Documentation des hypothèses et des limites :		Oui
	Les données sous-jacentes, méthodes de calcul et les hypothèses sont-elles pleinement divulguées, interprétables et reproductibles afin d'assurer une application uniforme de la méthode ?		Cela dépend de la qualité de la documentation et de la transparence sur les hypothèses retenues. La traçabilité peut donc être potentiellement bonne.
Simplicité			
	Quel donnée d'entrée/information est requise et à quel degré la disponibilité des données est-elle satisfaisante, incluant la facilité d'accès / de mesure des données, pour les données / information d'avant-plan» - si applicable – pour les données d'arrière-plan ?		Les auteurs encouragent l'utilisation de données spécifiques mesurées pour les procédés d'avant-plan. S'il y a un manque, des estimations ont nécessaires. Il n'y a pas d'exigence générale ou sur la qualité concernant les données d'arrière-plan (sauf pour l'utilisation de données génériques dans le cas d'une substitution). Cela rend la disponibilité des données plutôt facile, au dépend de la reproductibilité, la cohérence et la fiabilité des résultats, bien sûr.
	Est-il possible de mettre à jour les données facilement ?		Oui
	A quel point le coût d'implémentation de la méthode est bas ?		Le coût de mise en place de la méthode est assez important car elle demande substantiellement plus de données que les études conventionnelles d'analyse de

Critère RACER	Sous-critère	Information additionnelle pour l'analyse	Evaluation / commentaire
			traitement des déchets. Cependant, le coût est comparable à celui des ACV produit, qui peut être assez élevé, si les flux de déchets en mélange demandent de modéliser un grand nombre de produits en amont.
	A quel point la complexité de la méthode est-elle limitée et le niveau d'expertise nécessaire pour l'implémentation de la méthode ?		La méthode est assez complexe ; une expertise est requise. Afin d'être capable d'obtenir un résultat satisfaisant, ce n'est pas seulement une expertise ACV qui est requise mais aussi une connaissance des technologies spécifiques.
	L'implémentation dans les logiciels est-elle globalement possible ?		La mise en œuvre dans un logiciel ACV devrait être assez simple car le modèle est similaire à un modèle pour une ACV produit ou multi-produits.
	Y a-t-il des potentiels liens/aspects complémentaires entre la méthode en question et d'autres méthodes analysées dans le cadre de ce projet ?		?
Robustesse			
	Théorie défendable : la méthodologie est-elle fondée sur une théorie solide ?		A part l'influence que les différentes hypothèses peuvent avoir, la théorie nous paraît fondée.
	Comptabilise (environ) 100% des impacts sur le cycle de vie du matériau et plus globalement (c'est-à-dire aucune lacune ou double-comptage sur les cycles de vie dans lesquels le matériau est utilisé jusqu'à ce qu'il soit complètement dissolu)		Pas entièrement : il y a un double-comptage étant donné que la qualité de la matière recyclée n'est pas prise en compte. De ce fait, le downcycling n'est pas correctement pris en compte, chaque fois que la matière recyclée est de qualité inférieure à la qualité de la matière vierge.
	A quel degré la subjectivité d'implémentation est-elle limitée/minimisée ? Une bonne reproductibilité est-elle assurée, potentiellement via la fourniture de valeurs par défaut ?		Cette méthode peut devenir assez subjective dans la mesure où sa mise en œuvre se fonde sur un certain nombre d'hypothèses (aussi lorsque la méthode est utilisée pour tester des hypothèses, par exemple avant qu'une autorité politique fasse un choix de politique de prévention des déchets, pour tester la ou les actions les plus appropriées dans un contexte national ou local).
	Bonne robustesse (c'est-à-dire une faible incertitude sur les résultats et sur l'aide à la décision)		L'incertitude est assez élevée : cela dépend beaucoup de la qualité des données utilisées et des hypothèses réalisées (par exemple sur l'efficacité des actions de prévention),

Critère RACER	Sous-critère	Information additionnelle pour l'analyse	Evaluation / commentaire
			mais la méthode peut être utilisée comme complément d'information pour une meilleure prise de décision, conjointement avec d'autres méthodes.
	A quel degré les résultats sont-ils plausibles (c'est-à-dire des changements dans le paramétrage tel que la qualité et la quantité du contenu en recyclé et du matériau recyclé en fin de vie etc. ou encore les émissions, ... aboutissent à des changements appropriés des résultats d'impact en regard de la direction et de l'étendue du changement) ?		Les résultats sont plausibles, bien que dépendants de la qualité des données secondaires pour lesquelles aucune exigence n'est précisée.

FICHE METHODE N°5 : PERSPECTIVE « MULTI-INPUT VERSUS MULTI-OUTPUT »

1 - CARTE D'IDENTITE DE LA METHODE

Développeur(s) :	G. Fiorentino ^a , M. Ripa ^a , G. Protano ^a , C. Hornsby ^{a,b} , S. Ulgiati ^{a,c}	
Organisation(s) d'appartenance :	a) Department of Sciences and Technologies, Parthenope University of Napoli, Napoli 80143, Italie b) I.A.R., Department of Processing and Recycling, RWTH Aachen University, Aachen 52062, Allemagne c) School of Environment, Beijing Normal University, Chine	
Date de première diffusion :	29 juillet 2015	
Date de dernière mise à jour :	N/A	
Référence :	G. Fiorentino, M. Ripa, G. Protano, C. Hornsby, S. Ulgiati "Life Cycle Assessment of Mixed Municipal Solid Waste: Multi-input versus multi-output perspective" Waste Management 46 (2015) 599–611 http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2015.07.048	
Utilisateur(s) connu(s) :	N/A	
Développée pour un (des) secteur(s) spécifiques ?		
Type de méthode :	☒ ACV : ☒ ICV ☐ AICV ☒ Attributionnelle ☐ Conséquentielle	☒ Autre (ex : couplage ACV/autres méthodes) :
Catégorie(s) d'impact évaluée(s) :	☒ Pas de restriction (par ex. dans le cas de méthodes de calcul de l'inventaire) ☐ Avec restriction :	Monocritère : ☐ GES ☐ Energie ☐ Autre (préciser) : Multicritères (préciser les catégories d'impact couvertes) :
Type(s) de gestion des déchets couvert(s) :	☒ Prévention ☐ Réemploi ☐ Réutilisation ☒ Récupération d'énergie	Recyclage : ☒ Boucle ouverte ☒ Boucle fermée

	Applicable dans toutes les situations tant que les coproduits peuvent avoir une énergie matière connue en sortie	
Données nécessaires :	Pour les procédés d'arrière-plan, les données génériques peuvent être utilisées. Pour les procédés d'avant-plan, des données spécifiques doivent être utilisées afin de refléter au mieux la situation étudiée.	
Périmètre géographique des données :	Applicable dans toutes les zones géographiques	
Préconisée par une norme, un standard, un référentiel méthodologique ?	Non	

2 - INTRODUCTION

Dans le contexte de la directive-cadre européenne sur les déchets (EU Directive 2008/98/EC) qui établit une hiérarchie des traitements de déchets prioritaires, favorisant d'abord la réutilisation, puis le recyclage, puis la valorisation matière, et en dernier recours seulement l'enfouissement, les filières de traitement de déchets ont de plus en plus un rôle de producteurs de valeur (matière ou énergie). Ces systèmes étant donc multi-entrées multi-sorties, l'interprétation des résultats d'évaluation de ces systèmes par les décideurs est plus complexe.

Cette méthode propose d'adopter deux points de vue, ou approches complémentaires sur les filières de gestion des déchets solides municipaux : le point de vue des entrées, ici appelé **approche « multi-entrées »** (les filières de gestion des déchets sont considérées comme traitant des déchets, principalement) et le point de vue des sorties, ici appelé **approche « multi-sorties »** (les filières de gestion des déchets sont considérées comme productrices de ressource et d'énergie, principalement).

Note importante : Dans le cadre des échanges que l'équipe projet a eus avec les auteurs de la méthode, ces derniers ont souhaité insister sur le fait que l'approche n'avait pas été proposée comme une méthode en tant que telle, mais avait été conduite dans une optique d'analyse de sensibilité, afin de tester la robustesse des résultats en changeant de point de vue et d'Unité Fonctionnelle (en passant d'une UF=traitement d'1 tonne de déchet à une UF=1 kWh d'exergie fournie). Les auteurs indiquent que l'approche présentée est une application de méthode et norme existants et non une proposition de méthode innovante.

C'est un point à garder en tête à la lecture de l'analyse détaillée qui est présentée ici, et qui doit plutôt être lue comme l'analyse d'une possible généralisation de la méthode à d'autres cas de traitement et de valorisation de déchets que le seul cas d'étude présenté dans la publication.

3 - ENJEUX / OBJECTIFS

L'objectif de la méthode est de permettre la sélection d'une solution adaptée pour la gestion des déchets solides municipaux à un niveau stratégique pour la mise en œuvre ou la poursuite du développement d'une technologie spécifique.

Adopter un point de vue sur les entrées du système et un point de vue sur les sorties du système vise à fournir des résultats plus larges que les approches d'ACV classiques pour l'aide à la décision pour la gestion des déchets : les ACV classiques de filières de gestion des déchets solides municipaux se focalisent seulement sur la quantité de déchets à

gérer. Au contraire, l'approche « multi-sorties » considère la gestion des déchets comme des procédés producteurs d'autres biens (secondaires en l'occurrence).

4 - DESCRIPTION

4.1 - PRINCIPES

Le contexte analysé est une aide à la décision au niveau micro (situation A selon l'ILCD Handbook), d'après les auteurs. Le cadre de modélisation est l'**ACV attributionnelle** (étape de l'ICV). Une extension des frontières du système fondée sur des données génériques (c'est-à-dire le mix marché) est utilisée pour calculer les productions de matière vierge et d'énergie évitées.

Les modèles des différents scénarios de gestion (4 scénarios analysés dans le cas d'étude présenté) utilisent un « panier de produits » commun par le biais de l'**extension des frontières du système**, et ce pour les deux approches (« multi-entrées » et « multi-sorties »), permettant de comparer les scénarios de gestion des déchets évalués en étendant chacun d'eux de telle manière à couvrir un même ensemble de produits et de services (équivalence fonctionnelle permettant la comparaison).

La frontière du système est la même que pour une ACV traditionnelle de déchets solides municipaux, comme illustré par la *Figure 4*.

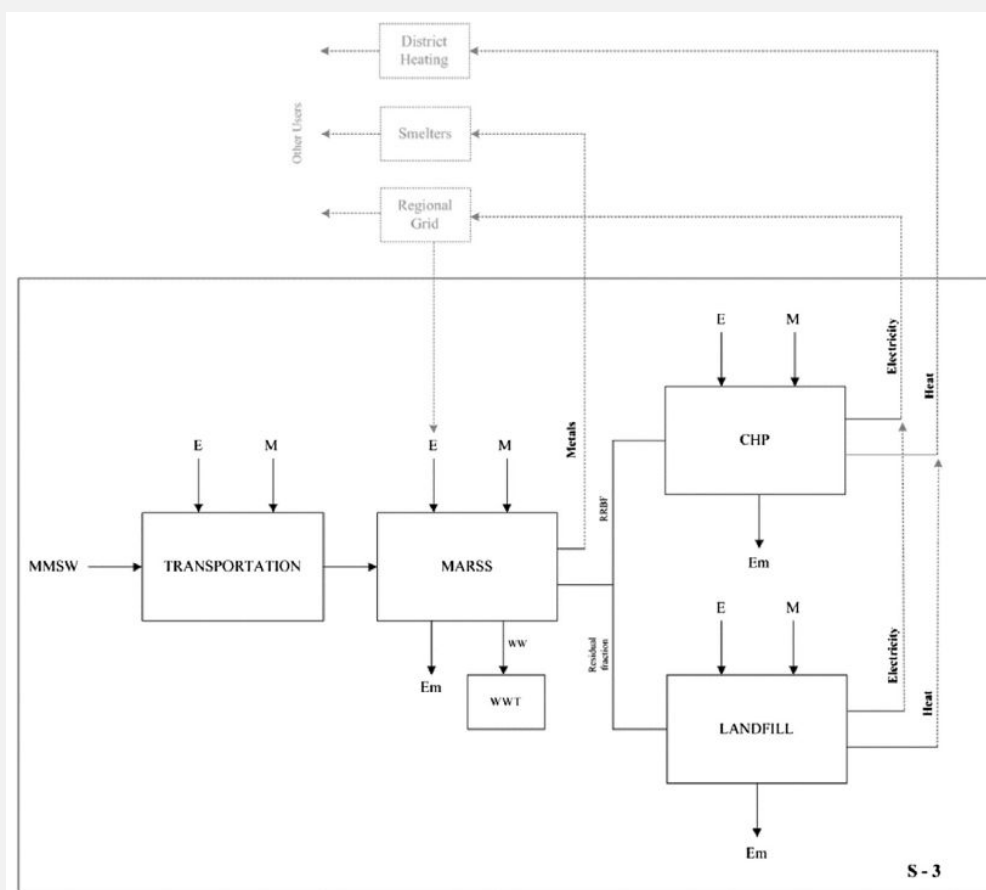


Figure 4 - Exemple d'organigramme des principales étapes considérées pour la gestion des déchets

Où :

- E = Energie
- M= Matériaux
- Em = Emissions
- MMSW = Déchets solides municipaux en mélange (Mixed Municipal Solid Waste)
- WWT = Traitement des rejets d'eau (Waste Water Treatment)
- WW = Eau rejetée (Waste Water)

- MARSS = Système durable de récupération avancée des matériaux (Material Advanced Recovery Sustainable Systems) (système spécifique étudié)
- CHP = production combinée de chaleur et d'énergie (Combined Heat and Power)

Les deux approches ont deux unités fonctionnelles différentes.

Approche « multi-entrées »

Le flux de référence de l'approche « multi-entrées » est la quantité de déchets solides municipaux en mélange traités. Pour comparer des scénarios différents, les quantités totales de déchets en entrée doivent être égales, c'est-à-dire $a+b+c = d+e+f$ sur l'exemple de la [Figure 5](#).

Approche « multi-sorties »

Le flux de référence de l'approche « multi-sorties » est la quantité d'exergie en sortie des produits (exergie de la chaleur et de l'électricité produites et exergie chimique des métaux récupérés). Pour comparer des scénarios différents, ce sont cette fois les quantités totales d'exergie qui doivent être égales, c'est-à-dire $A+B+C = D+E$ (exprimé en kWh d'exergie) sur l'exemple de la [Figure 5](#). La quantité de déchets entrant ne doit pas nécessairement être la même entre les différents scénarios ($a+b+c$ peut être différent de $d+e+f$).

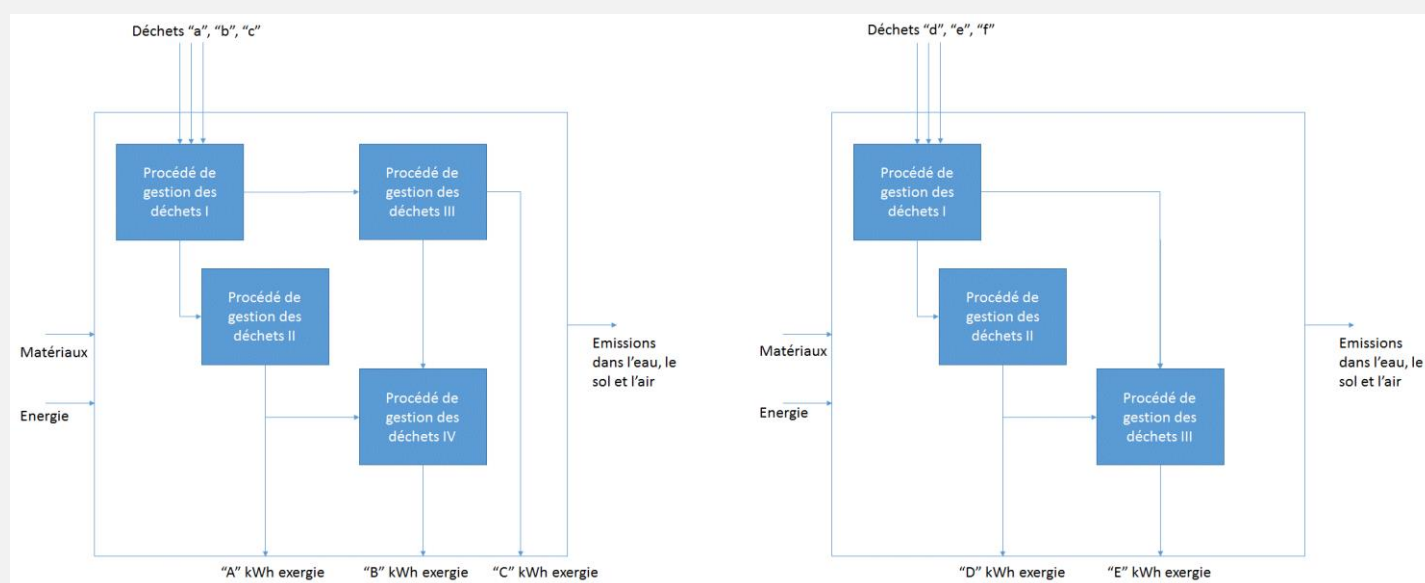


Figure 5 - Illustration de deux systèmes de gestion de déchets et leurs technologies associées pouvant faire l'objet d'une étude comparative. Le flux de référence pour l'approche « multi-entrées » est la même quantité de déchets en entrée, tandis que le flux de référence pour l'approche « multi-sorties » est la même quantité d'exergie en sortie.

Les modèles ACV utilisés respectivement pour l'approche « multi-entrées » et l'approche « multi-sorties » sont similaires. Les deux approches fournissent une description partielle de la performance atteinte par les scénarios analysés et peuvent contribuer à la prise de décision finale, selon le contexte et l'objectif de la décision.

Les enseignements apportés par les deux approches sont complémentaires. Selon les auteurs, l'approche « multi-sorties » privilégie un niveau plus élevé d'exergie en sortie par impact environnemental net (i.e. impacts des procédés de traitement auxquels sont défalqués les impacts des procédés évités / substitués), tandis que l'approche « multi-entrées » privilégie une meilleure performance environnementale globale de la gestion des déchets. En adoptant successivement ces deux approches, selon les auteurs, les performances des procédés à la fois en tant que procédés de traitement des déchets (élimination des déchets) et en tant que procédés producteurs de ressources (énergie et récupération des matériaux) peuvent être prises en compte et utilisées pour l'évaluation appropriée de chaque scénario.

4.2 - METHODE DE CALCUL

La méthode de calcul est la suivante :

- Pour l'approche « multi-entrées », la même méthode de calcul que celle appliquée dans une ACV standard de gestion des déchets ;

- Pour l'approche « multi-sorties », l'exergie est sélectionnée comme flux de référence. Tous les produits en sortie doivent être convertis en exergie :

Exergie délivrée (kWh_{ex}) = électricité délivrée (kWh_{el}) + A * chaleur délivrée (kWh) + exergie chimique pour les métaux récupérés (kWh_{chem}),

où $A = 1 - (T_a/T_d)$ est le facteur de Carnot, T_a est la température ambiante et T_d est la température de la chaleur délivrée.

L'énergie chimique (kWh/kg) des métaux récupérés doit être calculée à partir des exergies chimiques standards des substances pures.

4.3 - DONNEES NECESSAIRES

Les données d'avant-plan (ici les informations spécifiques sur les matériaux et les flux d'énergie liés à la construction et l'exploitation de l'usine de gestion des déchets et aux procédés lui-même) doivent être des données spécifiques. Lorsque des mesures directes ne sont pas disponibles, une estimation doit être faite.

Pour les données d'arrière-plan, (comme l'électricité, la chaleur...), des données génériques peuvent être utilisées.

L'exergie chimique (kWh/kg) des métaux/matériaux récupérés doivent être prises de la littérature pour calculer les exergies des (co)produits.

Pour les processus substitués, des données moyennes (mix marché) pour calculer les impacts de production d'énergie et de matière vierge évités doivent être utilisées.

4.4 - AUTRES SPECIFICITE(S) DE LA METHODE

La méthode ne fournit pas de recommandation particulière pour la prise en compte des pertes de qualité lors du recyclage. Néanmoins, le facteur de correction de la qualité est implicitement couvert par l'usage de l'exergie pour ajuster les quantités de coproduits dans l'approche « multi-sorties ». Les changements des propriétés inhérentes des matériaux ne sont pas pris en compte.

5 - CAS D'APPLICATION

La méthode a été initialement développée pour l'étude de la gestion des déchets solides municipaux mais peut également être appliquée aux autres types de déchets.

6 - ANALYSE DETAILLEE

Comparativement aux études d'ACV classiques sur la gestion des déchets, l'analyse proposée permet d'obtenir un deuxième jeu de résultats, en proposant d'adopter à la fois le point de vue des entrées et des sorties du système, avec une unité fonctionnelle différente. L'approche « multi-entrées » se concentre sur la fonction d'élimination des déchets tandis que l'approche « multi-sorties » introduit le concept de système de production à partir de la gestion des déchets solides municipaux.

Cependant, nous pensons ici qu'intégrer l'exergie pour fournir une base commune de comparaison des différents scénarios de gestion des déchets tend à fausser les résultats fournis par l'approche classique « multi-entrées » plutôt qu'à apporter de la valeur ajoutée : l'approche « multi-entrées » tient compte entièrement des impacts et bénéfices de la gestion des déchets et permet des comparaisons intéressantes entre les technologies/scénarios de gestion par tonne de déchets : le scénario ayant l'impact net le plus bas (ou le bénéfice net le plus important) est le meilleur. Inclure l'exergie, telle que la publication propose de la calculer, comme base de comparaison n'est pas vraiment adapté dans les cas où certains matériaux ou produits valorisés sont utilisés en tant que matériaux dans la mesure où dans ces cas-là l'exergie n'est pas une réelle unité fonctionnelle (cela n'a guère de sens de combiner ou comparer des quantités de métaux récupérés et des quantités d'énergie récupérée).

Cette méthode pourrait être plus utile à la prise de décision avec l'utilisation de la valeur/du prix des sortants à la place de l'exergie comme flux de référence par défaut. A noter que l'on « retomberait » alors sur une méthode de type éco-efficacité comme il en existe déjà sous des formes similaires.

De plus, l'approche « multi-sorties » ne fonctionne qu'avec les filières de traitement de déchets qui génèrent des produits secondaires. L'enfouissement ou l'incinération pure sans récupération d'énergie ne peuvent pas être considérées/comparées, ou alors elles ressortiraient toujours comme les pires filières, alors même qu'elles peuvent avoir une très bonne performance environnementale (avec par exemple de faibles valeurs d'émissions).

Par ailleurs, si cette méthode est utilisée pour comparer différents systèmes de gestion des déchets, alors il faut tenir compte du fait que cette méthode est utilisée pour une assertion comparative. De ce fait, lorsqu'une communication externe des résultats est visée, les exigences additionnelles selon l'ISO 14044 doivent être remplies. Aucune information n'est fournie par les auteurs à ce sujet (cela n'est pas l'objet de la publication).

Enfin, les auteurs précisent que cette méthode a été développée en accord avec la situation A de l'ILCD Handbook, utilisant des données moyennes de production de chaleur pour la substitution / l'extension des frontières du système. Cependant, selon l'ILCD Handbook, dans les cas de systèmes physiquement connectés (ici, par exemple, un réseau de chaleur) le système de génération de chaleur effectivement remplacé (ici, chauffage au gaz résidentiel) doit être utilisé pour la substitution. De même, la « relation physique sous-jacente » (« underlying physical relationship ») dans l'ILCD Handbook, auquel les auteurs font référence, doit être utilisée comme critère d'allocation, alors que la méthode utilise la substitution et l'exergie comme facteur d'échelle. Ainsi, la méthode est dans une certaine mesure inspirée par les provisions de l'ILCD Handbook, mais sans les mettre réellement en œuvre.

7 - CONCLUSIONS / AVIS SUR LA METHODE

Alors que l'analyse requiert la mise en place de deux modèles pour les deux approches, ce sont des modèles similaires et relativement simples. Le niveau de maturité de la méthode est assez faible (seulement une publication, ce qui n'est pas étonnant étant donné qu'elle n'a été publiée qu'en 2015), mais les approches « multi-entrées » et « multi-sorties » sont dans le principe bien connues dans la littérature abondante sur les déchets municipaux solides et la production de biens secondaires à partir de déchets, même si ça n'est pas sous la forme proposée ici, avec l'exergie comme base de comparaison des produits du traitement des déchets. Du point de vue de l'aide à la prise de décision, l'approche « multi-sorties » est considérée comme fournissant un résultat biaisant les résultats utiles donnés par l'approche standard « multi-entrées » : adopter l'exergie comme base de comparaison pour les sortants ne convient selon nous pas pour une comparaison dans les cas où certains sortants issus de la valorisation des déchets sont utilisés comme matériaux (et non comme énergie) et n'apporte donc pas de valeur ajoutée et ne fournit pas des enseignements supplémentaires intéressants.

8 - DOCUMENTS DE REFERENCE / CONTACTS-CLES

N/A

Tableau 10 – Analyse détaillée de la méthode « Perspective multi-input versus multi-output »

Critère RACER	Sous-critère	Information additionnelle pour l'analyse	Evaluation / commentaire
Pertinence	Lien avec les objectifs fondamentaux de la méthode: la méthode répond-elle vraiment aux problématiques initiales / objectifs qui ont déclenché son développement	L'objectif de la méthode est de permettre la sélection d'une solution adaptée pour la gestion des déchets solides municipaux à un niveau stratégique pour la mise en œuvre ou la poursuite du développement d'une technologie spécifique. Analyser le système successivement du point de vue des entrées et des sorties vise à donner une vision plus large pour l'aide à la décision dans le domaine de la gestion des déchets. Classiquement, les ACV de gestion de déchets municipaux solides se focalisent uniquement sur la quantité de déchets gérés. L'approche « multi-sorties » considère plutôt la gestion des déchets comme permettant de produire d'autres biens (secondaires). L'objectif spécifique de la méthode est d'aider à la décision en fournissant des recommandations pour des politiques et une planification de la gestion des déchets plus respectueuses de l'environnement, sans prendre en compte les conséquences à large échelle sur les systèmes d'arrière-plan (effets à grande échelle sur les secteurs de gestion des déchets et de l'énergie, modifications marginales des coûts des matières premières dues au recyclage, ...).	La méthode proposée analyse les scénarios de gestion de déchets successivement comme procédés de traitement des déchets et comme procédés produisant des biens (secondaires). Nous estimons que l'usage de l'exergie comme base de comparaison des différents scénarios dans l'approche « multi-sorties » tend à biaiser les résultats de l'approche « multi-entrées ». Par conséquent, nous considérons que la méthode proposée n'atteint pas l'objectif visé.
	La méthode permet-elle de bien comptabiliser les changements de qualité du matériau (c'est-à-dire la perte – ou le gain- de qualité entre matériau primaire et contenu en recyclé en entrée et matériau secondaire obtenu en sortie) ?		Cette méthode ne prend pas directement en compte les changements de propriétés inhérentes ou la perte de qualité. Cependant, en comptabilisant l'exergie des coproduits, elle considère implicitement un aspect de leur qualité, c'est-à-dire leur contenu exergétique, que nous ne considérons toutefois pas comme une unité fonctionnelle pour les produits en sortie. Aussi, comme l'exergie du contenu en recyclé n'est pas prise en

Critère RACER	Sous-critère	Information additionnelle pour l'analyse	Evaluation / commentaire
			compte, le downcycling n'est pas pris en compte (la méthode suppose toujours implicitement que le contenu en recyclé est toujours de bonne qualité).
	La méthode prend-elle en compte les situations suivantes : boucles de recyclage ouvertes et fermées, réutilisation, réemploi, récupération d'énergie ?		Cette méthode est applicable dans toutes les situations, à l'exception de la réutilisation, pour laquelle la méthode n'est implicitement pas adaptée, dans la mesure où la réutilisation (par exemple le nettoyage et remplissage d'une bouteille consignée) n'est pas une situation de fin de vie, et donc modélisée au sein de la phase d'utilisation.
	La méthode tient-elle compte des spécificités du produit, par exemple du niveau de séparabilité élevé ou non des matériaux du produit ?		Si l'on suppose que les informations spécifiques aux coproduits, notamment leur contenu exergétique est disponible, la méthode tient compte des spécificités produit. Dans la mesure où la méthode valorise un contenu exergétique élevé des coproduits, la récupération des composants / produits plus transformés est favorisée par rapport à la récupération des simples matériaux. Cependant, les autres qualités spécifiques du produit ne sont pas considérées.
	La méthode s'applique de façon générale et cohérente à tous les matériaux/toutes les formes d'énergie ?		La méthode a un large champ d'application, mais est biaisée en raison du fait qu'elle ne tient compte que de l'exergie par unité d'impact net (impacts du traitement moins les impacts évités) et d'aucune autre propriété, ou de la demande du marché (notamment s'il y a ne serait-ce qu'un marché pour les biens secondaires produits).
	La méthode capture-t-elle tous les impacts environnementaux et aspects pertinents (aspects matériaux, eaux, ressources énergétiques, utilisation des sols, émissions, ...) ?		Tous les aspects et impacts environnementaux (pertinents) peuvent être pris en compte.
Acceptance			
	La méthode est-elle acceptée par les diverses parties prenantes ?	Degré de reconnaissance de la méthode : - Approbation officielle de la méthode - Méthode connue et reconnue par les parties prenantes - Aucune reconnaissance par les parties prenantes	Au-delà de la publication, il n'y a aucune étude de cas, appui, ou point de vue externe disponible à date sur cette méthode (datant de 2015).

Critère RACER	Sous-critère	Information additionnelle pour l'analyse	Evaluation / commentaire
		Acceptation par le milieu académique : la méthode a-t-elle récemment été décrite/citée dans une ou plusieurs publications avec revue par tierce partie indépendante ?	Au-delà de la publication, il n'y a aucune étude de cas, appui, ou point de vue externe disponible à date sur cette méthode (datant de 2015).
		Acceptation dans le cadre du développement de politique publique : la méthode (ou les résultats d'une application de la méthode) a-t-elle été testée/appliquée dans le développement ou l'évaluation de politiques nationales/régionales ? Quelles ont été les expérimentations effectuées ?	Au-delà de la publication, il n'y a aucune étude de cas, appui, ou point de vue externe disponible à date sur cette méthode (datant de 2015).
	La méthode est-elle conforme aux exigences de l'ISO 14 044 ?		Oui
	La méthode permet-elle de différencier les cas de types « comptabilisation » et conséquentiel (au sens de l'ILCD Handbook) ?		Non, ce n'est pas prévu. Cela pourrait faire l'objet d'un développement ultérieur.
	La méthode présente-t-elle un biais entre produits ou matériaux concurrents en considérant leur performance/équivalence technique, et entre des situations telles que le recyclage, la récupération d'énergie la réutilisation, etc. ?		L'approche « multi-sorties » comporte un biais, étant donnée qu'elle utilise le contenu exergétique des produits en sortie comme base de comparaison.
	La méthode est-elle un bon outil d'aide à la décision, en assignant à la fois les impacts et les bénéfices du recyclage conjointement au même cycle de vie ?		La méthode assigne tous les impacts et bénéfices des efforts de recyclage conjointement au même système. Pour rappel, il s'agit d'une méthode adaptée à l'analyse des systèmes de gestion de déchets. Il n'y a donc pas d'enjeu de double comptage, notamment.
	La méthode est-elle applicable et non biaisée quel que soit la boucle (exemple : première et dernière boucle pour les bouteilles ; usages primaire et secondaires répétés d'un matériau) ?		Pour le recyclage, comme l'intégration de contenu recyclé n'est pas correctement prise en compte, la méthode suppose à chaque fois une qualité supérieure du contenu recyclé. Dans le cas de l'étude de la fin de vie de produits contenant déjà du matériau recyclé de plus faible qualité que le vierge, la méthode défavorise dans une certaine mesure l'utilisation de matériaux recyclés dans plusieurs cycles de vie consécutifs.

Critère RACER	Sous-critère	Information additionnelle pour l'analyse	Evaluation / commentaire
	Est-elle en lien avec les objectifs environnementaux stratégiques de l'UE (tout en étant par ailleurs politiquement neutre) ?		Implicitement oui.
	La méthode et les résultats obtenus peuvent-ils être communiqués facilement aux consommateurs/non-experts ?		L'approche "multi-entrées" fournit des résultats facilement communicables, tandis que l'approche "multi-sorties" est complexe à appréhender, en raison de l'utilisation de la notion d'exergie, et fournit donc des résultats difficiles à expliquer et donc difficilement communicables (le caractère partiellement justifié de l'utilisation de l'exergie comme unité fonctionnelle rend les résultats de l'approche « multi-sorties » également difficilement communicables).
Crédibilité			
	Les paramètres et les variables de la méthode / formule sont-ils non ambigus ?		Oui
	Reproductibilité et cohérence : les résultats sont-ils suffisamment similaires si la méthode est mise en œuvre par différents experts et pour différents produits et matériaux ?		Oui (avec cependant une limitation, en raison de l'absence de règles ou recommandations pour estimer les données potentiellement manquantes).
	Documentation des hypothèses et des limites :		Oui
	Les données sous-jacentes, méthodes de calcul et les hypothèses sont-elles pleinement divulguées, interprétables et reproductibles afin d'assurer une application uniforme de la méthode ?		Bonne (si correctement documentée par l'utilisateur de la méthode)
Simplicité			
	Quel donnée d'entrée/information est requise et à quel degré la disponibilité des données est-elle satisfaisante, incluant la facilité d'accès / de mesure des données, pour les données / information d'avant-plan» - si applicable – pour les données d'arrière-plan ?		Les auteurs encouragent l'utilisation de données spécifiques pour les systèmes d'avant-plan. En cas de donnée manquante, la donnée doit être estimée. Cela étant, il n'y a pas d'information sur comment estimer cette donnée. On peut cependant considérer que ça n'est pas l'objet de cette publication de fournir des recommandations sur les sources ou méthodes à utiliser en cas de donnée manquante.

Critère RACER	Sous-critère	Information additionnelle pour l'analyse	Evaluation / commentaire
			Il n'y a pas d'exigence de qualité pour les données d'arrière-plan, mise à part l'utilisation de données moyennes pour la substitution.
	Est-il possible de mettre à jour les données facilement ?		Oui
	A quel point le coût d'implémentation de la méthode est bas ?		Plutôt peu coûteuse, dans la mesure où la méthode se fonde largement sur les méthodes de modélisation et données utilisées classiquement, mis à part pour le calcul des données d'exergie à partir de la littérature.
	A quel point la complexité de la méthode est-elle limitée et le niveau d'expertise nécessaire pour l'implémentation de la méthode ?		L'évaluation des exergies des coproduits nécessite de bien maîtriser ce concept. Mis à part cela, la méthode ne nécessite pas une expertise particulière, comparativement aux méthodes traditionnelles.
	L'implémentation dans les logiciels est-elle globalement possible ?		Implémentation facile : pas de difficulté particulière par rapport aux méthodes classiques d'évaluation de la gestion des déchets.
	Y a-t-il des potentiels liens/aspects complémentaires entre la méthode en question et d'autres méthodes analysées dans le cadre de ce projet ?		Non
Robustesse			
	Théorie défendable : la méthodologie est-elle fondée sur une théorie solide ?		La méthode suppose implicitement qu'un contenu exergétique des co-produits élevé est une bonne approximation de la qualité des co-produits issus du système de gestion des déchets, et utilise l'exergie comme unité fonctionnelle. Cependant, l'exergie n'est pas une unité fonctionnelle. L'approche « multi-sorties » ne permet pas de comparer correctement des combinaisons de différentes formes d'énergie, métaux et autres qui sont récupérés lors du procédé de gestion des déchets.
	Comptabilise (environ) 100% des impacts sur le cycle de vie du matériau et plus globalement (c'est-à-dire aucune lacune ou double-comptage sur les cycles de vie dans lesquels le matériau est utilisé jusqu'à ce qu'il soit complètement dissolu)		Pas entièrement : il y a un double comptage dans la mesure où la qualité du contenu en recyclé n'est pas prise en compte. Implicitement, la méthode suppose une qualité équivalente à celle de la matière vierge, alors que le contenu en recyclé. Lorsque le matériau recyclé a une qualité inférieure à la matière vierge, il y a double-comptage.

Critère RACER	Sous-critère	Information additionnelle pour l'analyse	Evaluation / commentaire
	A quel degré la subjectivité d'implémentation est-elle limitée/minimisée ? Une bonne reproductibilité est-elle assurée, potentiellement via la fourniture de valeurs par défaut ?		Subjectivité très limitée, mis à part qu'il n'y a pas de règle / recommandation pour estimer des données primaires manquantes. Cependant, on peut estimer que fournir de telles recommandations n'est pas l'objet de la publication.
	Bonne robustesse (c'est-à-dire une faible incertitude sur les résultats et sur l'aide à la décision)		- Peu d'incertitude - Les résultats sont cependant biaisés et l'aide à la décision par conséquent peu robuste
	A quel degré les résultats sont-ils plausibles (c'est-à-dire des changements dans le paramétrage tel que la qualité et la quantité du contenu en recyclé et du matériau recyclé en fin de vie etc. ou encore les émissions, ... aboutissent à des changements appropriés des résultats d'impact en regard de la direction et de l'étendue du changement) ?		Oui pour l'approche standard « multi-entrées », mais en utilisant l'exergie comme unité fonctionnelle, l'approche « multi-sorties » introduit une préférence discutable aux produits ayant un contenu exergétique élevé.

FICHE METHODE N°6 : COUPLAGE MFA ET ACV

COUPLAGE MFA/ACV : PREAMBULE

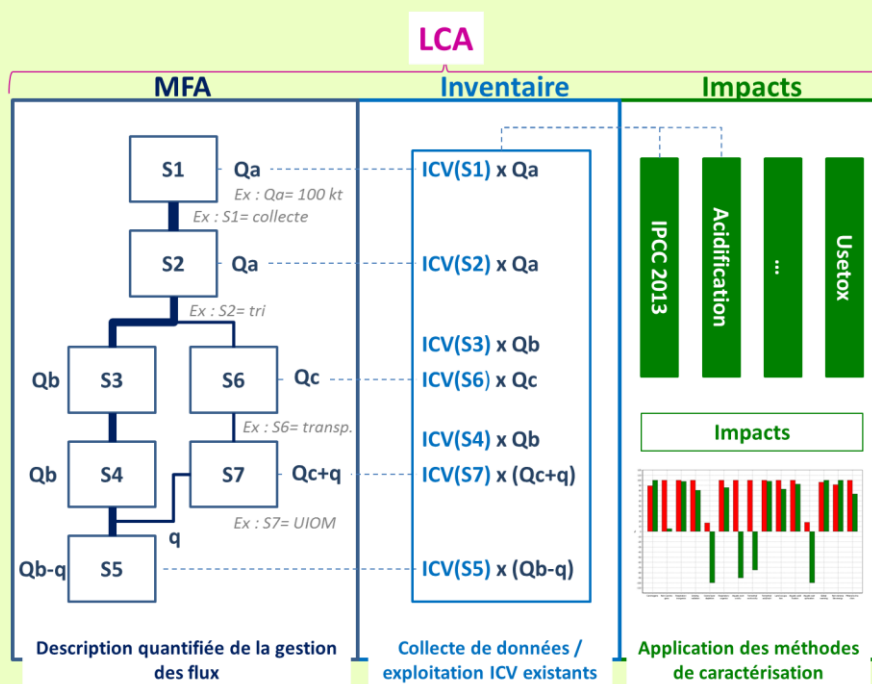
En préambule, il convient de souligner que le couplage Material Flow Analysis (MFA) et analyse de cycle de vie (ACV) ne correspond pas à une méthode en soi (comme peuvent l'être les méthodes de calcul d'ICV par exemple), mais il s'agit plutôt d'un cadre méthodologique global/d'une orientation méthodologique, celle-ci couvrant des travaux potentiellement protéiformes.

Une publication⁸ avait initialement été identifiée et sélectionnée lors de la phase de revue de la bibliographie et de sélection des méthodes – celle-ci paraissant très prometteuse – afin de servir de base pour la description pédagogique et l'analyse détaillée de la méthodologie de couplage MFA/ACV. Une première analyse de cette publication a révélé qu'un élargissement à d'autres travaux était nécessaire pour couvrir de façon plus étendue les potentiels du couplage MFA/ACV, notamment dans le but de mettre en avant plus nettement le caractère innovant de l'approche.

A l'issue de cette analyse élargie de la littérature, deux remarques préliminaires peuvent être formulées :

1. De multiples – la majorité ? l'intégralité ? – études ACV consacrées à la gestion des déchets relèvent, sans nécessairement le revendiquer ni peut-être même le savoir, d'un couplage MFA&LCA

L'analyse des différents articles identifiés tend à indiquer que le volet relevant du MFA consiste en un exercice de quantification du gisement de déchets auquel on s'intéresse puis en une description quantifiée de la gestion de ce gisement de déchet. La figure ci-dessous présente le schéma de principe général du couplage MFA/ACV :



De ce point de vue, les études ACV consacrées à la gestion des déchets comportent nécessairement une composante MFA – la description quantifiée de la gestion du déchet ciblé par l'étude. En revanche, une étude MFA n'est pas nécessairement exploitée dans une optique ACV avec calcul de l'inventaire ramené à un système produit et des impacts environnementaux.

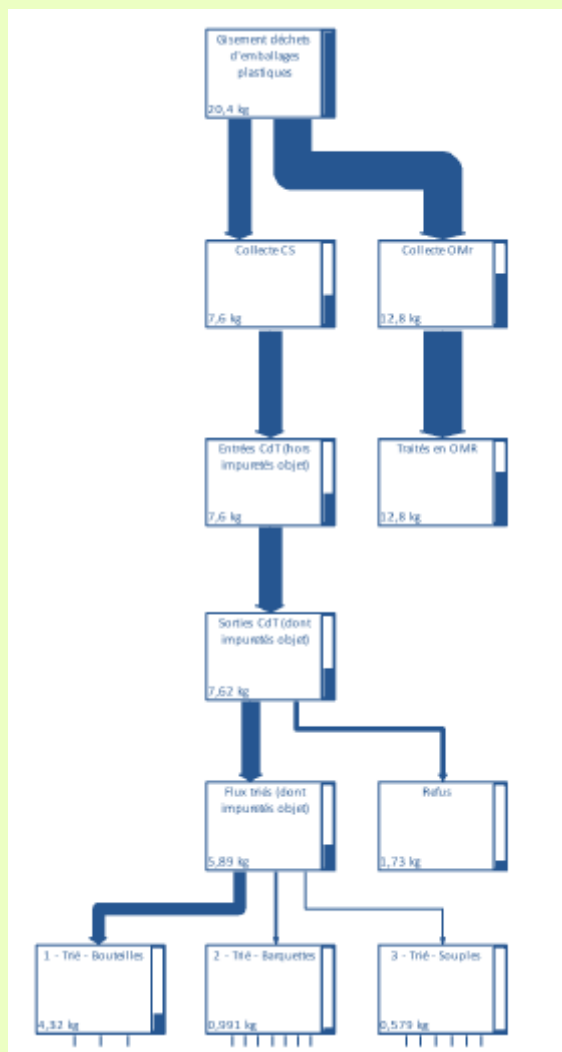
A titre d'exemple, dire que « 315 kt de bouteilles PET ont été mises sur le marché en France en 2014, que cela conduit à 400 kt de déchets de bouteilles PET en tenant compte de leur taux d'humidité/souillures, que 55 % de ce gisement de déchets est envoyé en recyclage et que, sur la part résiduelle, 66 % sont orientées en incinération avec valorisation

⁸ -Sévigé-Itoiz, E., et al., *Methodology of supporting decision-making of waste management with material flow analysis (MFA) and consequential life cycle assessment (CLCA): case study of waste paper recycling*, Journal of Cleaner Production, 2014

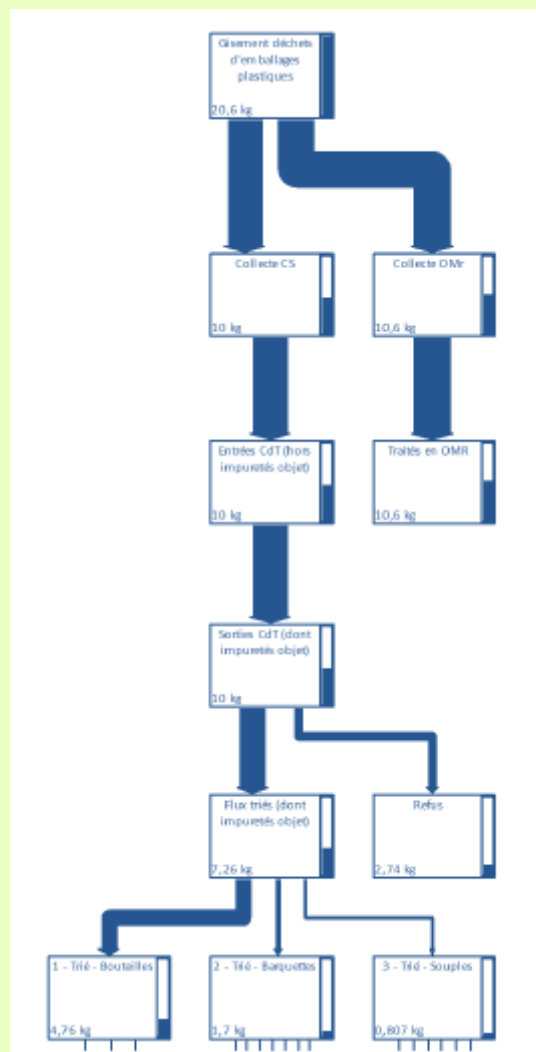
d'énergie et 34 % sont orientées en stockage de déchets non dangereux » consiste déjà dans une analyse MFA des bouteilles PET en France.

Un autre exemple peut être donné : dans le cas de l'élaboration des Plan Départementaux de Prévention et de Gestion des Déchets Non Dangereux, la mise en œuvre de l'ACV pour l'évaluation environnementale du plan relève en fait d'un couplage MFA/ACV.

De même, l'étude commanditée par l'ADEME et Eco-Emballages – Bilan environnemental du projet d'extension des consignes de tri à l'ensemble des emballages ménagers plastiques relève d'un couplage MFA/ACV :



Gestion des déchets d'emballages plastiques en kg/hab à l'horizon T1 [Ademe 2014]



Gestion des déchets d'emballages plastiques en kg/hab à l'horizon T2 [Ademe 2014]

2. Sur la base des publications consultées, la revendication MFA ne paraît imposer aucune orientation méthodologique particulière à une ACV de gestion d'un déchet

Plus généralement, il paraît difficile d'imaginer qu'une étude ACV consacrée à l'évaluation environnementale de la gestion d'un gisement de déchet donné soit conduite sans avoir au préalable établi :

- Une quantification du gisement de déchets en jeu,
- Et une description quantifiée des étapes de gestion de ce gisement.

Sur cette base, nous considérons qu'il est également signifiant du point de vue méthodologique de considérer qu'une étude consiste dans une ACV appliquée à la gestion d'un déchet ou qu'une étude consiste dans un couplage MFA/LCA appliqué à la gestion d'un déchet.

FICHE METHODE N°6 : COUPLAGE MFA ET ACV

1 - CARTE D'IDENTITE DE LA METHODE

Développeur(s) :	Non applicable : au même titre que le LCA, le MFA&LCA est un cadre méthodologique global et non une méthode en tant que telle	
Organisation(s) d'appartenance :	Non applicable : idem ci-dessus	
Date de première diffusion :	Non applicable : idem ci-dessus	
Date de dernière mise à jour :	Non applicable : idem ci-dessus	
Référence :	Non applicable : idem ci-dessus	
Utilisateur(s) connu(s) :	Pas à notre connaissance	
Développée pour un (des) secteur(s) spécifiques ?	Pas à notre connaissance	
Type de méthode :	☐ ACV : ☐ ICV ☐ AICV ☐ Attributionnelle ☐ Conséquentielle	☒ Autre (ex : couplage ACV/autres méthodes) : couplage Analyse de Cycle de Vie et Material Flow Analysis
Catégorie(s) d'impact évaluée(s) :	☒ Pas de restriction (par ex. dans le cas de méthodes de calcul de l'inventaire) ☐ Avec restriction:	Monocritère : ☐ GES ☐ Energie ☐ Autre (préciser) : Multicritères (préciser les catégories d'impact couvertes) :
Type(s) de gestion des déchets couvert(s) :	☒ Prévention ☒ Réemploi ☒ Réutilisation ☒ Récupération d'énergie	Recyclage : ☒ Boucle ouverte ☒ Boucle fermée
Données nécessaires :	- Phase MFA des travaux : comme pour l'ACV, données issues de sources très différentes selon l'objectif des travaux - Phase d'articulation d'une analyse LCA sur un MFA détaillé par matériau : données représentant le comportement spécifique du	

	(des) matériau(x) étudié(s) à chacune des étapes et notamment le comportement dans les destinations finale (recyclage, valorisation énergétique, décharge...). Sauf pour UIOM et ISDND, ces données ne sont pas disponibles à date.
Périmètre géographique des données :	Comme pour l'ACV, en fonction des objectifs des travaux
Préconisée par une norme, un standard, un référentiel méthodologique ?	Pas à notre connaissance

2 - INTRODUCTION

La littérature traitant du couplage MFA/ACV étant très volumineuse, il n'a pas été envisageable dans le cadre de cette étude d'effectuer une identification exhaustive et une analyse approfondie de l'ensemble des propositions et cas d'application des travaux traitant d'un couplage MFA/ACV dans le domaine de la gestion des déchets.

En conséquence une approche spécifique a été mise en œuvre consistant d'une part à expliciter le principe général qui du couplage MFA/ACV et d'autre part à rendre compte des aspects ressortant comment étant les plus innovants les plus innovants dans les articles consultés.

3 - ENJEUX / OBJECTIFS

Enjeu transversal – Evaluer les performances environnementales d'un système de gestion des déchets

Dans tous les articles consultés traitant du couplage MFA/ACV appliqué à la gestion des déchets, on constate que ce couplage est toujours mis en œuvre afin d'évaluer les performances environnementales d'un système de gestion de déchets. Le système concerné se décline à différentes échelles géographiques et sur différentes catégories de déchets :

- [Sevi2014a] et [Sevi2014b] : à l'échelle de l'Espagne, pour les papiers/cartons d'une part et pour l'aluminium d'autre part.
- [Rochat2013] : à l'échelle d'une région de Colombie et pour le PET
- [Turner2016] : à l'échelle d'une ville et pour les déchets municipaux
- [VanEygen2016] : à l'échelle de la Belgique et pour les ordinateurs portables dans le cas de l'article de Van Eygen.

Le couplage MFA/ACV est présenté comme un outil d'aide à la décision pour la gestion des déchets en ce sens qu'il permet d'étudier et d'évaluer différents scénarios de gestion des déchets étudiés et/ou d'analyser les points forts et les points faibles d'un scénario donné.

Les différents articles consultés n'ont pas permis de relever de particularité transversale qui distinguerait véritablement une étude ACV consacrée à la gestion des déchets et une étude couplant MFA et ACV.

Dans les articles de Sévigné d'une part et dans l'article de Van Eygen d'autre part, des enjeux plus spécifiques sont traités et sont décrits ci-dessous à titre d'exemple.

Enjeu spécifique 1 – Intégration des mécanismes de marché ([Sevi 2014a], [Sevi2014b])

L'enjeu commun à ces deux études est l'intégration des mécanismes de marché dans l'évaluation environnementale des filières de gestion des déchets.

Les auteurs partent du constat que les objectifs fixés par les politiques de gestion des déchets (par exemple la Directive 2004/12/CE) seraient fondés sur un présupposé considérant que l'augmentation du taux de collecte d'un déchet donné entraînerait mécaniquement une augmentation de son taux de recyclage et donc des bénéfices environnementaux associés. Or, selon les auteurs, les mécanismes en jeu dans la réalité seraient plus complexes, nécessitant l'intégration

d'une analyse des marchés, du déséquilibre possible entre l'offre et la demande et des paramètres d'ajustement de ces déséquilibres, pour comprendre la manière dont un déchet collecté est effectivement utilisé et comment cette utilisation se traduit du point de vue des émissions de GES.

Enjeu spécifique 2 - Articulation d'une analyse conduite à l'échelle macro (pays, région) et d'une analyse conduite à l'échelle micro (procédé) ([Van Eygen 2016])

L'objectif de cette étude est d'évaluer les performances de la gestion des déchets d'ordinateur en Belgique en couplant, d'une part, une analyse au niveau macro à l'échelle du pays qui rend compte de la quantité de déchets d'ordinateur et de leur taux de collecte et, d'autre part, une analyse micro, conduite à l'échelle des procédés de traitement, dans laquelle il rend compte de la manière dont se répartissent les matériaux étudiés (principaux matériaux constitutifs d'un ordinateur) entre les différentes fractions produites par les procédés de traitement.

L'articulation de ces deux analyses permet d'élaborer une cartographie plus fine qu'habituellement du taux de recyclage des principaux matériaux constitutifs des ordinateurs. De plus, les auteurs explicitent plus particulièrement la manière dont les performances de la chaîne de recyclage des ordinateurs sont évaluées en intégrant une approche micro des performances des procédés.

4 - DESCRIPTION

4.1 - PRINCIPES

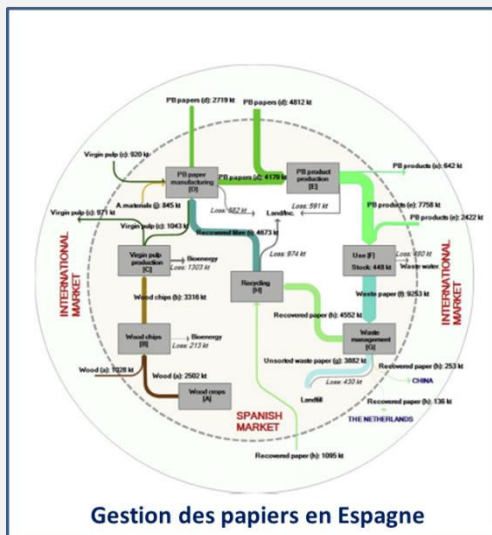
En dehors des remarques préliminaires exposées en préambule à cette fiche (considérant que l'ACV d'un gisement de déchet donné comporte nécessairement un volet MFA, sans même y faire explicitement référence), la quantification du gisement en jeu et la description quantifiée des étapes de gestion de ce gisement correspondant au volet MFA, peut en revanche être un objet spécifique de démarches innovantes.

Ce volet MFA peut couvrir un périmètre plus ou moins large et peut être traité selon un degré de finesse/complexité plus ou moins important. La mise en œuvre du volet MFA est potentiellement un sujet d'innovations. Ces aspects sont détaillés plus dans la section 6 (Analyse détaillée) sur la base des études [Sevi 2014a] et [VanEygen 2016].

4.2 - METHODE DE CALCUL

Les lignes générales de la méthode de calcul sont précisées pour les deux articles ayant fait l'objet d'une analyse plus approfondie.

- **[Sevi 2014a]** : dans le cas des travaux sur l'intégration des mécanismes de marché, la section MFA est exploitée pour établir une description quantifiée de la gestion des papiers en Espagne (de l'aluminium dans [Sevi 2014b]). Les émissions GES de différents scénarios de gestion des déchets de papiers sont ensuite quantifiées. Des détails plus importants sur la démarche sont fournis dans l'analyse détaillée :

MFA**Inventaire**

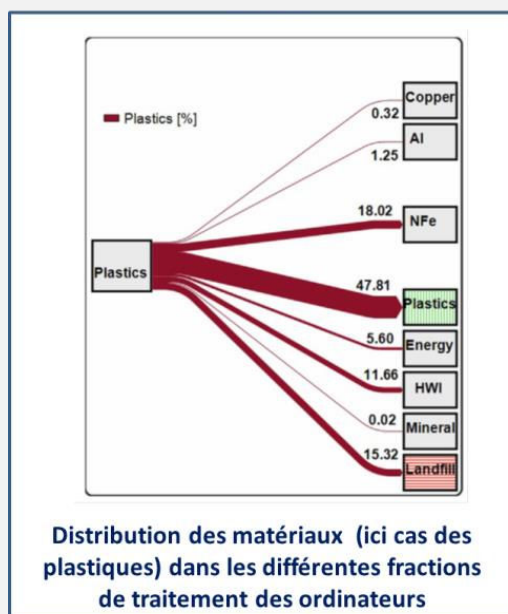
Les données
sont présentées
en détails dans
l'annexe B

Impacts

Calcul des
émissions GES

GES de différents
scénarios de gestion
des déchets de
papiers en Espagne

- **[VanEygen 2016]** : dans le cas des travaux sur la gestion des ordinateurs en Belgique, qui propose une articulation entre des analyses à l'échelle macro (pays) et micro (procédé), la section MFA est exploitée pour évaluer la distribution des matériaux dans les fractions qui sont produites à l'issue du traitement des ordinateurs. Ce premier niveau de résultats est exploité pour calculer i/ le taux de recyclage effectif de chacun des grands matériaux étudiés ; ii/ un indicateur de consommation des ressources naturelles. Avec quelques difficultés particulières à résoudre, cette démarche pourrait également être mise en œuvre pour calculer d'autres indicateurs habituellement évalués en ACV. Des éléments plus approfondis sont fournis dans l'analyse détaillée.

MFA**Inventaire**

Aucun
inventaire au
sens strict du
terme n'est
établi

Impacts

Consommation de
ressources
naturelles
(méthode CEENE)

Taux de recyclage

Calcul du taux de
recyclage de
chacun des
matériaux

4.3 - DONNEES NECESSAIRES**Données nécessaires pour le volet MFA**

Les données nécessaires à la mise en œuvre du volet MFA ne peuvent pas être qualifiées a priori : leur nature et leur source peuvent être radicalement différentes selon l'objet étudié et le périmètre d'étude.

A titre d'exemple, dans l'étude [Sevi 2014a] portant sur la gestion des déchets de papier/carton en Espagne, les données exploitées dans le volet MFA renvoient à des descripteurs macro-économiques (tonnage de pâte à papier importé/exporté, tonnage de papier importé/exporté, quantité de chutes lors de la fabrication des produits papetiers, quantité de déchets

fibreux générés....) ; les données exploitées sont plutôt produites par des services ministériels (Ministère de l'économie, service des douanes) ou d'autres agences intergouvernementales (FAO par exemple).

Dans l'étude [Van Eygen 2016] sur les performances de recyclage des ordinateurs en Belgique, les données clés correspondent à des données de caractérisation des fractions produites à l'issue du premier traitement des ordinateurs ; les données exploitées ont été produites en collaboration avec un ou des opérateurs de traitement des déchets.

Données nécessaires au volet ACV du couplage pour traiter des aspects non quantifiables sans recours au volet MFA

Dans l'étude [Van Eygen 2016], l'analyse environnementale se limite à une quantification du taux de recyclage et à l'évaluation de la consommation de ressources. Dans l'optique d'une extension à d'autres catégories d'impact environnement (GES, acidification, eutrophisation....), il serait nécessaire de représenter le comportement environnemental de chacun des matériaux étudiés dans chacune des destinations finales que ces matériaux atteignent au terme de leur gestion en fin de vie.

A titre d'exemple, l'étude [Van Eygen 2016] montre qu'une partie de l'aluminium issu du traitement des ordinateurs portables reste sous forme d'impuretés dans la fraction cuivre qui est orientée en affinage de cuivre : si l'on envisage de calculer les émissions GES de la gestion en fin de vie de l'aluminium des ordinateurs portables, cela implique à un moment donné de pouvoir quantifier les émissions de GES qui doivent être associées à l'aluminium lorsque ce matériau intègre le procédé de recyclage du cuivre. Le volet MFA permet de quantifier les impuretés d'aluminium dans la fraction de cuivre rendant possible la quantification ACV de l'impact de ces impuretés dans le procédé d'affinage du cuivre.

S'il existe dans les bases de données des ICV plus ou moins satisfaisants visant à représenter le comportement spécifique de matériau en décharge ou en incinération (ex : comportement du PET, du bois en ISDND, comportement du PVC en UIOM,...), il n'existe en revanche pas d'ICV permettant de représenter le comportement spécifique des matériaux dans les procédés de recyclage.

De même, d'après notre connaissance du sujet, la modélisation de tels comportements pose des questions d'allocation pointues qui ne sont que très rarement abordées en ACV ; dans le cas particulier de l'acier, des pistes de résolution de ces allocations peuvent par exemple être cherchées dans le cadrage méthodologique qui a été établi par la filière pour permettre le calcul du bilan environnemental qui doit être associé aux laitiers produits par les aciéries [Eurofer 2014].

5 - CAS D'APPLICATION

Les cas d'application relevés dans les articles analysés qui se réfèrent explicitement d'un couplage MFA&LCA concernent :

- La gestion des papiers/cartons et la gestion de l'aluminium en Espagne
- La gestion du PET à l'échelle d'une région de Colombie
- La gestion des déchets municipaux à l'échelle d'une ville
- La gestion des ordinateurs à l'échelle de la Belgique

Cette liste pourrait être complétée avec d'autres cas d'application qui sont présentés comme des simples cas d'ACV et qui pourtant relèvent, selon notre compréhension, d'un couplage MFA/ACV.

6 - ANALYSE DETAILLEE

Cette partie aborde les aspects considérés comme plus particulièrement innovants dans les articles consultés, en regard des enjeux spécifiques mentionnés dans la section 3 de la présente fiche :

Enjeu spécifique 1 – Intégration des mécanismes de marché : une orientation très prometteuse mais une démonstration à l'efficacité limitée ([Sevi 2014a], [Sevi 2014b])

L'article traite du cas du recyclage des papiers/cartons en Espagne (une méthode similaire est appliquée dans un second article en ce qui concerne l'aluminium). Une analyse MFA puis d'une évaluation des émissions GES (un panel plus large d'indicateurs environnementaux aurait pu être traité de la même façon) sont mises en œuvre successivement.

Dans son introduction, l'auteur explique qu'il est nécessaire d'intégrer les mécanismes de marché dans les évaluations environnementales de gestion des déchets, notamment pour déterminer si l'augmentation du taux de collecte d'un déchet donné, se traduit bien par une augmentation proportionnelle de son taux de recyclage et des bénéfices environnementaux liés à ce recyclage.

Une cartographie des tonnages de papiers/cartons en jeu à chaque étape de leur gestion pour plusieurs années successives

Pour ce faire, l'auteur présente une quantification des tonnages en jeu à chacune des grandes étapes du cycle des papiers/cartons : production du bois, production de la pâte vierge, production du papier, déchets de papier collectés, recyclage, etc. en intégrant les imports/exports aux différentes étapes de ce cycle (imports/exports de pâte, de produits finis, de déchets de papier collectés...). Cette cartographie des papiers/cartons est établie pour plusieurs années successives de 2006 à 2011.

L'export de déchets comme paramètre d'ajustement entre offre/demande intérieure de déchets de papiers/cartons

Cette série de constats conduit les auteurs à conclure sur la manière dont l'augmentation de la collecte des déchets de papier/carton se traduit en termes d'évolution de la destination finale des déchets de papiers/cartons : l'augmentation de la collecte entraînerait une augmentation des exports de déchets de papier/carton. En d'autres termes, l'exportation des déchets de papiers/cartons est considérée comme étant le paramètre d'ajustement visant à répondre au déséquilibre entre l'offre et la demande en déchets de papiers/cartons sur le marché espagnol.

Une analyse de sensibilité sur le bilan GES de la gestion des déchets de papiers/cartons selon des % d'export de ces déchets

L'identification de l'export des déchets de papiers/cartons comme paramètre d'ajustement entre l'offre intérieure de déchets de papiers/cartons et la demande de déchets de papiers/cartons conduit ensuite l'auteur à proposer, pour la partie ACV, une analyse de sensibilité du bilan GES de la gestion des déchets de papiers/cartons en considérant plusieurs % d'exportation des déchets de papiers/cartons. Le bilan GES associé à la gestion d'une tonne de déchets de papiers/cartons, depuis la collecte jusqu'en sortie de recyclage, est ainsi établi pour 4 configurations d'exportation des déchets de papiers/cartons : 5 % d'export, 15 % d'export, 25 % d'export et 50 % d'export.

Le MFA apparaît comme un point de départ intéressant pour permettre d'identifier les mécanismes de marché et surtout pour représenter l'effet de ces mécanismes sur la gestion des déchets

L'intégration des mécanismes de marché dans le cadre d'évaluations environnementales relatives à la gestion des déchets peut être un point méthodologique important. Pour cela, le MFA est un outil intéressant permettant d'identifier les mécanismes de marché en jeu (par exemple à partir de séries historiques comme le fait l'auteur) mais également comme représentation de l'incidence de ces mécanismes sur la gestion des déchets, c'est-à-dire la manière dont peut évoluer la distribution des tonnages sur les grandes étapes de gestion du déchet auquel on s'intéresse.

Mais le MFA n'offre aucune garantie quant à une prise en compte pertinente/juste des mécanismes de marché

Cependant la démonstration d'une intégration des mécanismes de marché reste limitée dans le cadre de ces travaux.

Le processus de rééquilibrage identifié (l'export de déchets de papiers/cartons en vue de leur recyclage) entre l'offre et la demande intérieures de déchets de papiers/cartons semble relativement trivial au regard des mécanismes de rééquilibrage imaginables et paraît répondre à un processus d'ajustement de court terme.

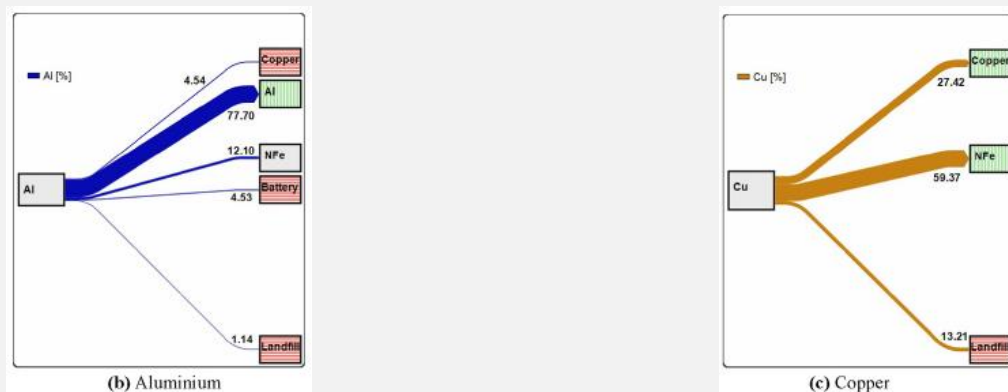
D'autres pistes d'équilibrage, notamment sur un plus long terme, auraient pu être identifiées et explorées dans le cadre de travaux qui ambitionnent de prendre en compte l'effet de mécanismes de marché sur la gestion des déchets. On aurait pu s'intéresser, par exemple, aux facteurs qui conditionnent les capacités de recyclage intérieure (pour quelles raisons un taux de collecte plus important des déchets de papiers/cartons ne pourrait-elle pas se traduire par une augmentation progressive des capacités de recyclages, notamment en vue d'un export de pâte ou de papiers/cartons recyclés ?). On aurait également pu s'intéresser aux aspects concurrentiels entre pâtes vierges et pâtes recyclées.

Enjeu spécifique 2 – Articulation d'une analyse conduite à l'échelle macro (pays, région) et d'une analyse conduite à l'échelle micro (procédé) ([Van Eygen 2016])

L'intérêt et la spécificité des travaux exposés dans [Van Eygen 2016] est d'intégrer, via le volet MFA du couplage, une analyse conduite à une échelle micro d'évaluation des performances des procédés de traitement.

Le traitement des ordinateurs chez les opérateurs spécialisés dans ce type d'opérations, conduit à générer une multiplicité de fractions en sortie de traitement. Ces fractions consistent dans des mélanges plus ou moins complexes des divers matériaux constitutifs des ordinateurs. Dans tous les cas et sauf exception, aucune des fractions générées ne correspond à un matériau unique qui serait exempt d'impuretés.

Une évaluation de la distribution des matériaux dans les différentes fractions produites par le traitement des ordinateurs



Un élément important de [Van Eygen 2016] consiste à évaluer la distribution de chacun des grands matériaux constitutifs des ordinateurs parmi les fractions produites : par exemple, 78 % environ de l'aluminium initialement contenu dans les ordinateurs portables se retrouve dans la fraction aluminium qui est orientée en affinerie d'aluminium, le solde se distribuant essentiellement entre les fractions cuivre, métaux non ferreux, batterie. Le cuivre des ordinateurs portables se retrouve quant à lui à 27 % seulement dans la fraction cuivre, à 60 % environ dans la fraction métaux non ferreux et orienté en stockage pour le solde.

La distribution des matériaux selon les différentes fractions obtenues en sortie de traitement a été conduite en caractérisant la composition des fractions produites par un opérateur de traitement des ordinateurs (Galloo).

La distribution des matériaux dans ces différentes fractions permet de déterminer quel taux de recyclage spécifique est atteint par chacun des matériaux

A partir de la distribution des matériaux dans les différentes fractions produites via le traitement des ordinateurs, la valeur spécifique du taux de recyclage qui est atteint pour chacun des matériaux étudiés peut être déterminée.

A noter que la démarche permettant de passer de la quantification de la distribution d'un matériau entre les différentes fractions produites à l'issue de traitement de rang 1 au taux de recyclage final effectivement atteint aurait mérité des explications plus détaillées. En effet, les fractions produites au niveau du traitement de rang 1 passent généralement par des opérations de transport et de séparations ultérieures avec leur efficacité propre. Dans la pratique, il est donc nécessaire de dérouler l'intégralité de cette arborescence complexe pour pouvoir calculer quel pourcentage d'un matériau donné atteint sa filière de recyclage adéquate (mais également l'éventail de toutes les autres destinations possibles).

La quantification du taux de recyclage est complétée par une évaluation de la consommation de ressources naturelles

L'évaluation environnementale est ensuite conduite sur l'ensemble de la chaîne de traitement (collecte, traitement, destinations finales) ; seule la consommation de ressources naturelles est évaluée ; cette évaluation est conduite par la méthode CEENE (Cumulative Exergy Extraction from the Natural Environment).

D'autres indicateurs environnementaux auraient pu être quantifiés de la même façon...

Dans l'article cité, l'évaluation environnementale s'est limitée à un indicateur en particulier mais elle aurait pu être conduite sur les mêmes bases avec les indicateurs habituellement considérés en ACV : contribution à l'effet de serre, acidification, eutrophisation...

... mais cela aurait nécessité des données ICV qui ne sont pas nécessairement disponibles dans les outils et base de données ACV

L'évaluation d'un indicateur comme la contribution à l'effet de serre aurait pu par exemple être conduit sur l'ensemble de la chaîne de traitement (collecte, traitement, destinations finales) correspondant à l'aluminium des ordinateurs portables.

Cependant, on observe qu'une partie de l'aluminium échappe à la fraction aluminium destinée aux affineries d'aluminium et se retrouve dans d'autres fractions comme la fraction cuivre, la fraction des batteries, la fraction des autres métaux non ferreux ou une fraction résiduelle orientée en décharge. En conséquence, si l'on souhaite établir le bilan des émissions GES associé à la gestion de l'aluminium des ordinateurs portables cela implique de pouvoir disposer de données qui représentent :

- Le comportement environnemental de l'aluminium dans une raffinerie d'aluminium ;
- Le comportement environnemental de l'aluminium dans une raffinerie de cuivre ;
- Le comportement environnemental de l'aluminium lors de la gestion des batteries ;
- Le comportement environnemental de l'aluminium lors de la gestion des autres métaux non ferreux ;
- Le comportement environnemental de l'aluminium en décharge.

Ces données ne sont pas nécessairement disponibles dans les bases de données ACV. Des données représentant le comportement moyen de déchets de cuivre entrant dans une raffinerie de cuivre peuvent être trouvées dans les bases et outils ACV, ces déchets présentant un niveau d'impuretés compatibles avec les spécifications posées par la filière. En revanche, on ne trouve généralement pas les données qui représentent d'une part le comportement du matériau cible dans un procédé de recyclage et d'autre part le comportement spécifiques des impuretés dans ce même procédé de recyclage (ici, le comportement de l'aluminium dans une raffinerie de cuivre).

De ce point de vue, le couplage MFA/LCA, lorsqu'il est conduit à une échelle d'analyse micro qui distingue le comportement de chacun des matériaux étudiés nécessite des données d'ICV plus fines que celles habituellement manipulées dans les ACV.

7 - CONCLUSIONS / AVIS SUR LA METHODE

En conclusion, **la conduite du volet MFA constitue potentiellement un élément porteur d'innovations qui mériterait d'être investiguée de manière plus approfondie.**

Deux propositions relativement innovantes ont été relevées dans les études analysées :

- Un essai d'intégration des mécanismes de marché ([Sevi 2014a], [Sevi 2014b]) : malgré une intention initiale intéressante, la mise en œuvre reste, selon notre analyse, relativement partielle car fondée sur des mécanismes qui auraient mérités un approfondissement beaucoup plus important. L'export de déchets de papiers/cartons est en effet le seul paramètre d'ajustement entre l'offre et la demande intérieure de déchets de papiers/cartons ; cela est sans doute vrai à une échéance courte. Toutefois, d'autres mécanismes de rééquilibrage, sans doute plus complexes – facteurs conditionnant les capacités intérieures de recyclage, concurrence entre pâte vierge et pâte recyclée... – auraient pu être explorés dans une analyse à plus long terme.
- Une quantification des flux qui intègre une échelle d'analyse micro (performances des procédés) ([Van Eygen 2016]) : ces travaux semblent plus innovants que les précédents ; ils proposent une analyse très fine de la gestion en fin de vie de chacun des matériaux constitutifs des ordinateurs et de la façon dont les matériaux se retrouvent plus ou moins dispersés à l'issue de l'opération de traitement dans des fractions qui permettront ou non leur recyclage/valorisation. L'évaluation environnementale de la gestion de chacun des matériaux s'est limitée dans ces travaux au cas de la consommation de ressources naturelles. Dans son principe, elle pourrait être étendue à l'ensemble des indicateurs environnementaux traditionnellement utilisés en ACV. Dans la pratique, cette mise en œuvre pourrait être freinée, selon notre analyse, par le manque de données ICV permettant de représenter le comportement environnemental de chaque matériau étudié dans les destinations finales (procédés de recyclage, procédés de valorisation énergétique, stockage...) qu'ils atteignent au terme de leur gestion.

8 - DOCUMENTS DE REFERENCE / CONTACTS-CLES

- **[Turner 2016]** Turner, D., et al. *Combined material flow analysis and life cycle assessment as a support tool for solid waste management decision making*, Journal of Cleaner Production, 2016
- **[Rochat 2013]** Rochat, D., et al. *Combining Material Flow Analysis, Life Cycle Assessment, and Multiattribute Utility Theory*, Journal of Industrial Ecology, 2013
- **[VanEygen 2016]** Van Eygen, E. et al. *Resource savings by urban mining : the case of desktop and laptop computers in Belgium*, Resources, Conservation and Recycling, 2016
- **[Sevi 2014a]** Sévigné-Itoiz, E., et al., *Methodology of supporting decision-making of waste management with material flow analysis (MFA) and consequential life cycle assessment (CLCA): case study of waste paper recycling*, Journal of Cleaner Production, 2014
- **[Sevi 2014b]** Sévigné-Itoiz, E., et al., *Environmental consequences of recycling aluminium old scrap in a global market*, Resources, Conservation and Recycling, 2014
- **[Brunner 2004]** Brunner, P. et Rechberger. H. *Practical Handbook of Material Flow Analysis*, 2004
- **[Ademe 2014]** Ademe, Eco-emballages. *Bilan environnemental du projet d'extension des consignes de tri à l'ensemble des emballages ménagers plastiques - rapport final post revue critique*, 2014

FICHE METHODE N°7 : « CIRCULAR FOOTPRINT FORMULA » (CFF)

1 - CARTE D'IDENTITE DE LA METHODE

Développeur(s) :	NN
Organisation(s) d'appartenance :	Commission Européenne
Date de première diffusion :	2016
Date de dernière mise à jour :	NA
Référence :	- Commission européenne, 2016, <i>Environmental Footprint Guidance document</i>, - Guidance for the development of Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCRs), version 6.0, November 2016 Approches similaires ou associées : - Luca Zampori and Rana Pant: <i>Suggestions for alternative end-of-life formulas to be tested in preparation of the 3rd workshop on end-of-life</i>. Particularly formula "Alternative 2c". Background document drafted by, EC-JRC. Status: August 5th 2016 - Wolf MA, Wolf K: <i>The "Integrated formula" for modelling recycling, energy recovery and reuse in LCA</i>, White paper, maki Consulting, 2014 - Wolf MA, Wolf K: <i>Improved Umbrella formula (UF+) and Integrated formula (IF+)</i>, maki Consulting GmbH, 2016 - Wolf MA, Wolf K: <i>Umbrella formula for End-of-life modelling</i>, maki Consulting GmbH, 2016 - EN15804 hybrid formula: VITO, Leroy C., <i>The EoL formulas in the context of EN 15804</i>, presentation in the Workshop of the 6th of October 2014 on end of life formulas in the context of Environmental Footprint pilot phase
Utilisateur(s) connu(s) :	Commission Européenne, dans le cadre de l'approche PEF-OEF
Développée pour un (des) secteur(s) spécifiques ?	No

Type de méthode :	☒ ACV : ☒ ICV ☐ AICV ☒ Attributionnelle ☐ Conséquentielle	☐ Autre (ex : couplage ACV/autres méthodes) :
Catégorie(s) d'impact évaluée(s) :	☒ Pas de restriction (par ex. dans le cas de méthodes de calcul de l'inventaire) ☐ Avec restriction:	Monocritère : ☐ GES ☐ Energie ☐ Autre (préciser) : Multicritères (préciser les catégories d'impact couvertes) :
Type(s) de gestion des déchets couvert(s) :	☐ Prévention ☒ Réemploi ☒ Réutilisation ☒ Récupération d'énergie	Recyclage : ☒ Boucle ouverte ☒ Boucle fermée
Données nécessaires :	• Facteur de correction de la « qualité » du matériau secondaire : basé sur critère économique (prix du matériau) ou sur un critère physique si plus pertinent). Ce facteur intervient à la fois en entrée et en sortie du système. Dans le cas des boucles ouvertes de recyclage, le facteur de « qualité » est égal à la quantité de matériau(x) primaire(s) remplacé(s), dont on connaît la valeur sur le marché. L'approche pour sélectionner ce facteur de qualité est à déterminer par catégorie de produit et doit être précisée dans les Product Environmental Footprint Category Rule (PEFCR). • Facteur A : facteur d'allocation des impacts et des bénéfices du recyclage entre fournisseurs et utilisateurs de matériau(x) secondaire(s)	
Périmètre géographique des données :	NA	
Préconisée par une norme, un standard, un référentiel méthodologique ?	Recommandée par la Commission européenne pour l'élaboration des PEFCR (PEFCR guidance version 6.0) dans le cadre de la phase de mise en œuvre de la démarche PEF-OEF de 2017 à fin 2020	

2 – INTRODUCTION

Introduite par la Commission européenne en novembre 2016 dans la version mise à jour de l'*Environmental Footprint Guidance*, la « Circular Footprint Formula » (CFF) remplace l'ancienne formule de fin de vie de l'annexe V du *PEF Guide* (Recommandation 2013/179/EU). En effet, le retour d'expérience de certains projets pilotes dans le cadre de la phase de test de la démarche PEF-OEF a mis en avant la nécessité de revoir la formule de fin de vie initialement proposée pour en lever certaines limites.

La « Circular Footprint Formula » a été développée par le Joint Research Centre de la Commission Européenne. Comme pour la « Formule intégrée » développée par Marc-Andree Wolf, Kirana Chomkhamsri and Fulvio Ardente (voir fiche n°1),

la CFF est une interprétation plus large de l'approche de méthode dite « recyclability substitution⁹ », décrite dans le chapitre 14.5 de l'ILCD Handbook¹⁰, en intégrant certains éléments de l'approche « 50:50 » et des éléments de la Formule intégrée, à savoir la prise en compte en entrée de la qualité du matériau recyclé.

Par conséquent, la CFF favorise à la fois en entrée l'utilisation plus importante de matériau recyclé (contenu en recyclé) de plus faible qualité, et en sortie le recyclage en matériau secondaire de meilleure qualité ainsi que la valorisation énergétique, en tenant compte de facteurs de correction spécifiques aux matériaux (mais non spécifiques aux produits ou aux matières premières secondaires) ainsi que de facteurs de « qualité » économiques (ou physiques).

3 - ENJEUX / OBJECTIFS

Proposer une formule de fin de vie unique qui permette de modéliser toutes les situations de fin de vie, applicable à tous types de matériaux et de produits utilisable dans le contexte de la démarche PEF/OEF

Constatant que les référentiels ou recommandations méthodologiques existants proposent des approches hétérogènes pour modéliser la fin de vie d'un produit, l'objectif principal des auteurs est de proposer une approche de fin de vie qui permet au praticien ACV de se référer à une seule formule pour modéliser n'importe quelle situation de fin de vie (boucles ouvertes ou fermées de recyclage, réutilisation de pièces, valorisation énergétique), applicable à tous types de matériaux et d'énergie.

S'affranchir des limites des méthodes d'allocations existantes pour traiter la multifonctionnalité des filières de gestion des déchets

La modélisation de la fin de vie en ACV soulève de nombreuses questions, qui sont encore discutées aujourd'hui, en particulier les questions concernant les impacts environnementaux et les bénéfices du recyclage, du matériau recyclé et la revalorisation énergétique. Considérant que le choix de la modélisation de la fin de vie influence les résultats de l'ACV des produits analysés, et donc oriente la prise de décisions (efforts visant à une meilleure recyclabilité, une plus grande utilisation de matériaux secondaires etc.), les auteurs proposent une méthode pour surmonter les limites les plus fréquemment rencontrées dans les méthodes de comptabilisation de la fin de vie en ACV.

4 - DESCRIPTION

Principes

La Circular Footprint Formula (CFF) est une combinaison des termes « matériau + énergie + élimination » telle que :

$$\text{material} \quad (1-R_1)E_V + R_1 \times \left(AE_{\text{recycled}} + (1-A)E_V \times \frac{Q_{\text{Sin}}}{Q_P} \right) + (1-A)R_2 \times \left(E_{\text{recyclingBL}} - E^*_{\text{V}} \times \frac{Q_{\text{Sout}}}{Q_P} \right)$$

$$\text{energy} \quad (1-B)R_3 \times (E_{ER} - LHV \times X_{ER,heat} \times E_{SE,heat} - LHV \times X_{ER,elec} \times E_{SE,elec})$$

$$\text{disposal} \quad (1-R_2 - R_3) \times E_D$$

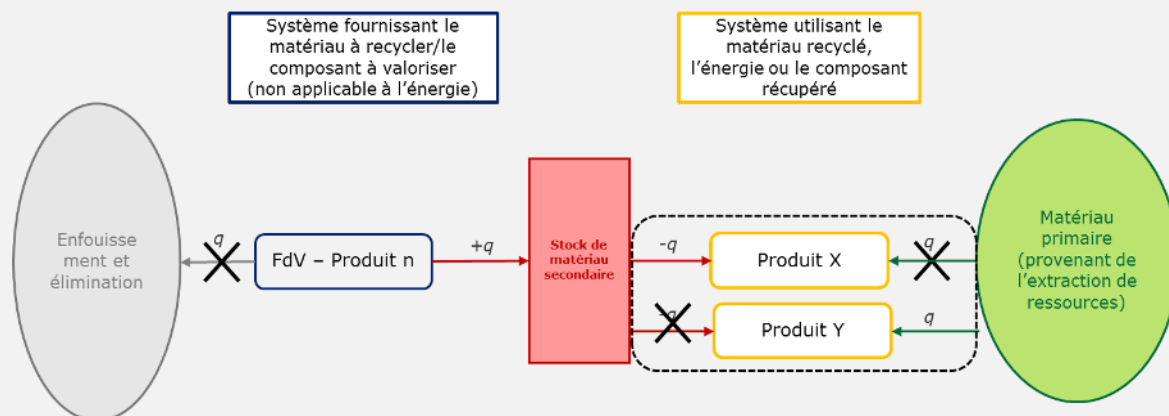
L'*Environmental Footprint Guidance version 6* ne décrit pas de façon précise les concepts ou principes fondamentaux de la CFF. Toutefois la formule apparaît comme étant basée sur les principes suivants :

1. Le principe clé du composé « matériau » de la CFF semble être équivalente au principe décrit par l'Integrated approach (voir fiche 1) : **intègre l'effet impliquant que l'utilisation d'un matériau secondaire à partir d'un stock de matériau secondaire par un acteur donné pour fabriquer son produit prive, en retour, un autre**

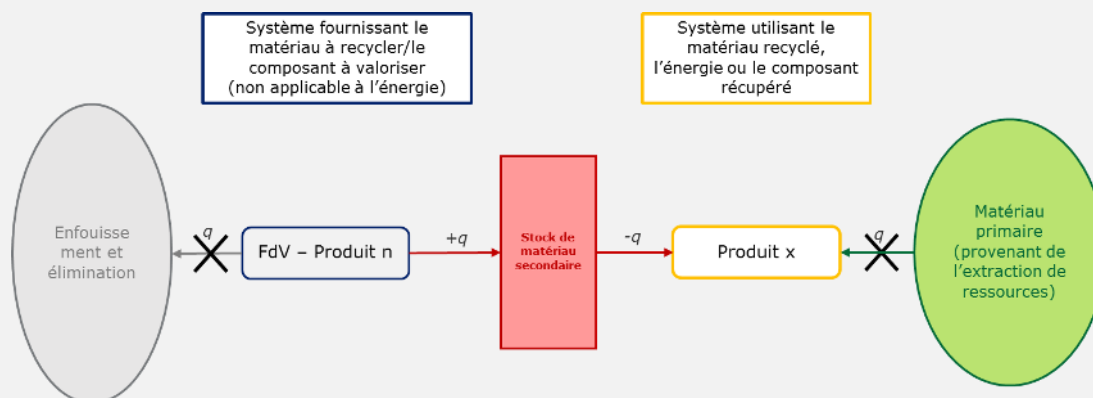
⁹ La méthode est aussi appelée « end of life recycling » ou « recycling potential »

¹⁰ ILCD Handbook – General guidance for Life Cycle Assessment – Detailed guidance, Commission Européenne, 2010

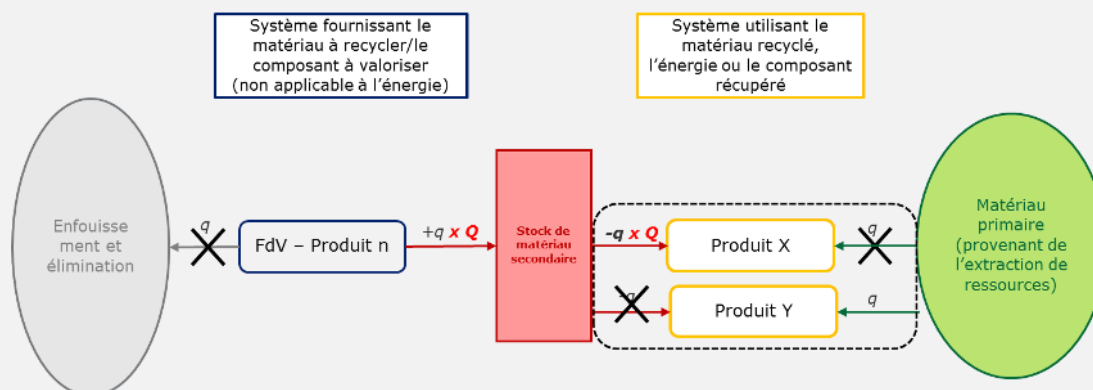
acteur de cette même quantité de matériau secondaire pour fabriquer un autre produit, causant la consommation inévitable d'une quantité équivalente de matériau primaire.



2. Au niveau de l'amont, la CFF semble suivre le même principe décrit dans l'Integrated Approach (voir fiche 1) : La méthode considère les effets liés à la fourniture de matériau secondaire disponible pour d'autres utilisations (c'est à dire le crédit associé à l'évitement de la production de matériau primaire). Ce crédit est équilibré par un débit équivalent par l'utilisateur ultérieur du matériau secondaire (ou des parties réutilisées).

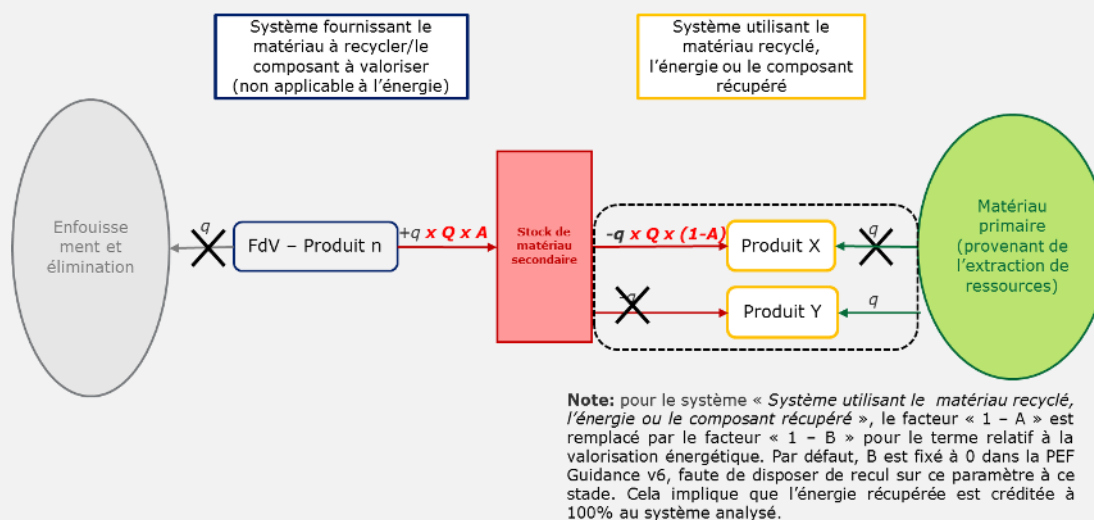


3. Elle prend en compte les changements de qualité du matériau via (par défaut) le ratio de prix du matériau secondaire et du matériau primaire pour des boucles ouvertes de recyclage quel que soit le ratio de remplacement quantitatif : lorsque le matériau est recyclé, le matériau d'origine peut souffrir d'une baisse de sa qualité et de sa quantité ce qui rend nécessaire un certain niveau de compensation pour remplir la même fonction. La méthode introduit donc une mesure de la qualité du matériau, qui attribue une charge environnementale à chaque cycle de vie du produit basée par exemple sur : le prix relatif du marché du matériau primaire et du matériau secondaire, le facteur de substitution quantitatif ou encore une caractéristique physique relative.



4. Par ailleurs, en plus du facteur de correction de la qualité qui reflète par défaut la situation du marché du matériau recyclé, un second facteur reflétant la même idée est introduit : le facteur spécifique au matériau « 1-A » (compris entre 0,2 et 0,8) qui a pour but de refléter les « réalités du marché » du matériau. Applicable au niveau de l'amont

également, le facteur d'allocation « A », spécifique au matériau, est introduit. Les matériaux ayant un rapport Q_s/Q_p élevé (métaux, verres) se voient attribuer la valeur la plus faible du facteur d'allocation « A », soit 0,2. Les matériaux ayant un rapport Q_s/Q_p faible (ex. les fibres textiles) se voient attribuer le facteur « A » le plus élevé, soit 0,8. Les matériaux entre ces deux extrêmes, tels que les plastiques, se voient attribuer un facteur A de 0,5. L'apparente redondance d'avoir à la fois un facteur de qualité (selon le prix ou une valeur physique) et un facteur dépendant du marché « A » n'est pas évoquée par les auteurs. Ceci a pour effet de déplacer l'équilibre entre le fait d'attribuer des bénéfices en fin de vie et le fait de récompenser l'utilisation de matériau recyclé vers cette dernière, la combinaison des deux facteurs « $1-A$ » et « Q_s/Q_p » étant au maximum égale à 0,8 et au minimum proche de 0 (par exemple, pour un matériau de type textile recyclé avec un facteur Q_s/Q_p de 0,2 on aura $(1-0,8)*0,2 = 0,04$)



- Elle reflète – si l'on ne tient pas compte du facteur « $1 - A$ » apparaissant – les effets avérés de « downcycling » sur le cycle de vie du produit : le « downcycling » peut avoir lieu en boucle fermée ou ouverte (comme cela est souvent le cas pour les polymères recyclés ou les fibres de papier). L'utilisation de matériau primaire ne peut pas toujours être évitée dans toutes les applications du fait par exemple de la diminution de la longueur des polymères ou des fibres recyclées. Toutefois, en incorporant du matériau secondaire en mélange avec du matériau primaire, la quantité de matériau primaire peut être réduite.
- Le recyclage d'un matériau et la valorisation énergétique et la réutilisation de parties/composants sont équivalents d'un point de vue méthodologique : toutes ces situations de fin de vie devraient être intégrées dans la formule et devraient être traitées de façon analogue du point de vue calculatoire. Pour le cas de la valorisation énergétique, il est important de noter que le référentiel PEF ne considère pas l'utilisation de sources d'énergie secondaire au niveau de l'amont (consommation de l'énergie) et n'est donc pas complètement analogue à la façon dont est pris en compte le recyclage d'un matériau. Dans la documentation de la CFF, la réutilisation de produits/parties de produit n'est pas mentionnée spécifiquement même si cet aspect pourrait être traité méthodologiquement de façon analogue au recyclage d'un matériau. Dans le cas de la réutilisation d'un produit ou d'une partie de produit, la diminution de la qualité peut être appréhendée par la durée de vie réduite du produit ou de la partie de produit réutilisée.
- Elle comptabilise les impacts et bénéfices du recyclage conjointement sur le même cycle de vie, avec le même facteur de correction « A ».
- Option spéciale 1 pour les déchets « pré-consommation » : « Option 1 : les impacts liés à la production du matériau entrant, qui fournit les rebuts « pré-consommation » en question, doivent être alloués au système de produit ayant généré les déchets. Les déchets sont désignés comme étant du contenu recyclé « pré-consommation ». D'après le graphique d'accompagnement, cette option fait référence au recyclage en boucles internes sur une même ligne de production, sur le site du producteur. La modélisation des déchets « pré-consommation » provenant d'autres lignes de production ou à partir de déchets achetés à l'extérieur n'est pas clairement explicitée.

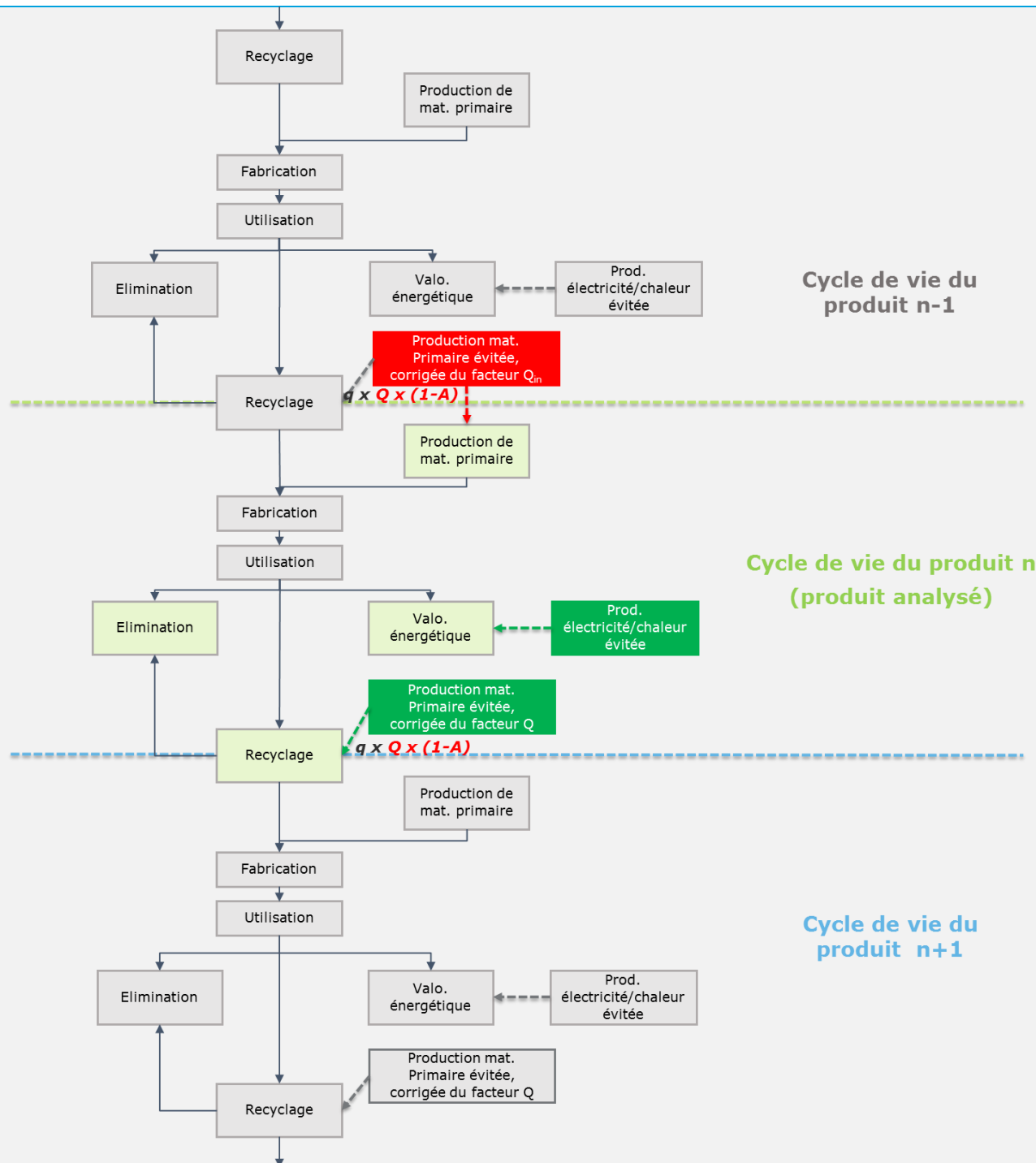


Figure 6 – Périmètre du système considéré dans la “CFF formula”

Méthode de calcul

Formule:

Les impacts environnementaux (E) en fin de vie d'un matériau sont calculés comme étant la somme des trois éléments « matériau – énergie – élimination » :

$$E = \text{Matériau} + \text{Energie} + \text{Elimination}$$

Sous sa forme modulaire, l'inventaire associé à la production et la fin de vie d'un matériau contenu dans le produit analysé est calculé de la façon suivante :

$$I = (1 - R_1) \times E_v + R_1 \times E_{recycled} - (1 - A) \times R_1 \times \left(E_{recycled} - E_v \times \frac{Q_{sin}}{Q_p} \right) + (1 - A) \times R_2 \\ \times \left(E_{recyclingEoL} - E_{*v} \times \frac{Q_{sout}}{Q_p} \right) + (1 - B) \times R_3 \\ \times (E_{ER} - LHV \times X_{ER,heat} \times E_{SE,heat} - LHV \times X_{ER,elec} \times E_{SE,elec}) - (1 - R_2 - R_3) \times E_D$$

Avec :

- A : facteur d'allocation des impacts et des bénéfices entre les fournisseurs et les utilisateurs de matériaux recyclés.
- B : facteur d'allocation des procédés de valorisation énergétique : il s'applique à la fois aux impacts et aux bénéfices environnementaux
- Qsin : qualité du matériau secondaire entrant, c'est-à-dire la qualité du matériau recyclé au point de substitution
- Qsout : qualité du matériau sortant, c'est-à-dire la qualité de matériau recyclable au point de substitution.
- Qp : qualité du matériau primaire, c'est-à-dire la qualité du matériau vierge
- R1 : part de matériau recyclé dans un précédent système entrant dans la production du matériau (contenu en recyclé)
- R2 : proportion du matériau dans le produit qui va être recyclé (ou réutilisé) dans un système subséquent. R2 doit donc tenir compte de l'inefficacité dans des procédés de collecte et de recyclage (ou la réutilisation). R2 doit être mesuré à la sortie du centre de recyclage (taux de recyclage)
- R3 : proportion du matériau dans le produit qui est utilisé pour la valorisation énergétique en fin de vie.
- Erecycled (Erec) : émissions spécifiques et ressources consommées (par unité d'analyse) découlant des procédés de recyclage des matériaux recyclés (réutilisés), incluant la collecte, le tri et les étapes de transport.
- ErecyclingEoL (ErecEol) : Erecycled (Erec) : émissions spécifiques et ressources consommées (par unité d'analyse) découlant des procédés de recyclage en fin de vie, incluant la collecte, le tri et les étapes de transport.
- Ev : émissions spécifiques et ressources consommées (par unité d'analyse) découlant de l'acquisition et du prétraitement de matériaux vierges.
- E*v : émissions spécifiques et ressources consommées (par unité d'analyse) découlant de l'acquisition et du prétraitement des matériaux vierges étant substitués par des matériaux recyclés.
- EER : émissions spécifiques et ressources consommées (par unité d'analyse) découlant de la valorisation énergétique (par exemple, incinération avec valorisation énergétique, enfouissement avec valorisation énergétique...)
- ESE,heat and ESE,elec : émissions spécifiques et ressources consommées (par unité d'analyse) de production de la source d'énergie substituée, respectivement chaleur et électricité
- ED : émissions spécifiques et ressources consommées (par unité d'analyse) liées à l'élimination des déchets en fin de vie du produit analysé, sans valorisation énergétique
- XER,heat and XER, elec : efficacité du procédé de valorisation énergétique pour la chaleur et l'électricité respectivement.
- LHV : pouvoir calorifique inférieur du matériau dans le produit valorisé énergétiquement

Le facteur A permet d'allouer les impacts et les bénéfices entre deux cycles de vie et a pour but de refléter les réalités du marché.

Dans les études PEF et de OEF, le facteur A est compris dans la fourchette de valeur $0,2 \leq A \leq 0,8$, afin de toujours tenir compte des deux aspects du recyclage, à savoir l'introduction de contenu recyclé en entrée dans le produit et le recyclage du produit en fin de vie.

La détermination des valeurs du facteur A dépend de la situation du marché :

- **A=0,2** : faible offre en matériaux recyclés et demande élevée : la formule se concentre sur le recyclage du produit en fin de vie
- **A=0,8** : offre élevée en matériaux recyclés et demande faible : la formule se concentre sur l'utilisation de matériau recyclé (contenu en recyclé)
- **A=0,5** : équilibre entre l'offre et la demande : la formule se concentre à la fois sur le recyclage en fin de vie et l'incorporation de matériau recyclé. Cette valeur est applicable à tous les matériaux pour lesquels aucune valeur de A n'est disponible en annexe C.

La liste des valeurs de A est disponible en annexe C : ce tableau est transversal et doit être utilisé par tous les PEFCRs. Les propositions pour inclure de nouvelles valeurs ou actualisées seront évaluées par la Commission Européenne.

Dans le cas spécifique où une valeur de A est manquante dans le PEFCR, la procédure suivante doit être appliquée pour sélectionner la valeur du facteur A :

- S'assurer dans l'annexe C de la disponibilité d'une valeur de A spécifique à l'application, qui corresponde au PEFCR
- Si une valeur de A spécifique à l'application n'est pas disponible en annexe C, la valeur A spécifique au matériau doit être utilisée
- Si la valeur A spécifique au matériau n'est pas disponible, la valeur de A doit être choisie comme étant égale à 0,5

Forme modulaire de la formule CFF (CFF-M) :

Une version modulaire de la formule CFF est proposée pour une utilisation dans le contexte de la norme EN15804. Cette forme modulaire peut être dérivée de l'équation originale en ajoutant et soustrayant simultanément le terme « $R_1 \times E_{\text{recycled}}$ », de la même façon que dans la forme modulaire de la formule intégrée améliorée.

Avec cette version modulaire, les impacts environnementaux peuvent être plus facilement isolés, entre l'étape de production et l'étape de fin de vie, rendant ainsi la formule plus facile à utiliser dans un contexte de PEF.

Production burdens	$(1 - R_1)E_V + R_1 \times E_{\text{recycled}}$	Cradle-to-gate
Burdens and benefits related to secondary materials input	$-(1 - A)R_1 \times \left(E_{\text{recycled}} - E_V \times \frac{Q_{\text{Sin}}}{Q_P} \right)$	Additional information from the EoL stage
Burdens and benefits related to secondary materials output	$(1 - A)R_2 \times \left(E_{\text{recyclingEoL}} - E^*_V \times \frac{Q_{\text{Sout}}}{Q_P} \right)$	
Energy recovery	$(1 - B)R_3 \times (E_{ER} - LHV \times X_{ER,heat} \times E_{SE,heat} - LHV \times X_{ER,elec} \times E_{SE,elec})$	
Disposal	$(1 - R_2 - R_3) \times E_D$	

Données nécessaires

A l'exception des facteurs de correction de la qualité (c'est-à-dire le prix ou les facteurs physiques tels que définis dans chaque PEFCR) ou les facteurs de correction de la quantité (pour une boucle ouverte), l'implémentation de la formule CFF nécessite le même type de données que celles couramment utilisées dans les formules de fin de vie. Néanmoins, comme la combinaison des facteurs 1-A et Q_s/Q_p est toujours comprise entre 0 et 0,8, les ICV des procédés de recyclage

« amont » (contenu en recyclé) et « aval » (des matériaux valorisés de la fin de vie du produit) sont toujours nécessaires pour tous les matériaux.

5 - CAS D'APPLICATION

A notre connaissance, la CFF n'a pas été mise en œuvre dans des études ACV ou PEF à ce jour. Seuls des exemples de calculs sont fournis dans les documents du 3^{ème} atelier sur la fin de vie de septembre 2016 (formule « Alternative 2c »), pour un nombre limité de matériaux, avec des données en parties réelles et en partie hypothétiques. Les autres formules associées, plus particulièrement l'Integrated formula et sa forme modulaire, la formule EN15804 hybride, ont été utilisées dans un nombre de cas réels sur plusieurs systèmes de produits.

6 - ANALYSE DETAILLEE

La CFF réunit plusieurs principes fondamentaux d'une approche de fin de vie robuste : la méthode attribue au produit des crédits pour la production primaire évitée, compense ce crédit avec un débit en entrée, prend en compte la perte de qualité réelle du matériau secondaire. Elle intègre ainsi les effets du « downcycling » et est applicable à de nombreuses situations de fin de vie (applicable à une grande variété de matériaux, au recyclage en boucle ouverte ou fermée, à la valorisation énergétique, à la réutilisation et réemploi, ...).

Néanmoins, elle présente quelques caractéristiques qui peuvent induire un biais dans les résultats :

- Premièrement, elle utilise deux facteurs de correction en parallèle : « Qs/Qp » et « A », qui s'amplifient l'un et l'autre, et qui semblent redondants. Cela a pour effet de plutôt favoriser l'incorporation de matériau recyclé en entrée (contenu en recyclé) aux dépens du recyclage.
- Deuxièmement, elle traite l'énergie différemment des matériaux, en allouant à 100% (facteur B = 0 par défaut, faute de recul sur ce paramètre) des bénéfices de la valorisation énergétique au produit (quant au maximum 80% - valeur maximale du facteur A - des bénéfices du recyclage sont attribuables au matériau). Cependant, on peut considérer ce biais dans la formule comme temporaire : des valeurs plus fines du facteur B seront proposées ultérieurement par la CE. De plus, la CFF ne considère pas l'utilisation d'énergie secondaire en entrée, c'est-à-dire qu'elle ne compense pas le crédit avec un débit comme cela est le cas pour les matériaux. Cela conduit, en plus de favoriser la valorisation énergétique par rapport à la valorisation matière – à une lacune dans les frontières du système due à l'absence de modélisation de l'utilisation de l'énergie secondaire avec un débit. Théoriquement, dans certains cas les systèmes de produits pourraient avoir des impacts totaux négatifs.
- Enfin la CFF ne considère pas explicitement l'effet de l'utilisation de contenu en recyclé sur la fabrication (par exemple la modification de consommation d'énergie et d'émission de CO₂ pour le verre vierge par rapport à la fonte du calcin, changement des temps de procédé pour le moulage par injection et donc de la consommation électrique, etc.).

Concernant les caractéristiques de débit et de crédit des matériaux, il peut être avancé que la méthode présente un biais potentiel pour des matériaux concurrents. Le principe fondamental de l'approche CFF est que l'utilisation d'un matériau secondaire provenant d'un stock fini par un acteur donné prive en retour un autre acteur d'une quantité plus faible - quantifiée par le facteur A - d'un matériau secondaire pour fabriquer un autre produit, entraînant une consommation de matériau primaire et un recyclage additionnel afin de répondre à la demande. Selon notre interprétation, ce principe se réfère à une logique conséquentielle de marché dans laquelle l'approvisionnement et la demande sont partiellement élastiques au niveau du facteur A spécifique au matériau.

Un facteur d'allocation similaire a été proposé dans la généralisation de la formule intégrée, la « End of Life Umbrella formula », qui introduit un facteur d'allocation qui permet de répartir les impacts du recyclage entre des cycles de vie consécutifs. Les auteurs de la formule intégrée et de « l'Umbrella formula », déconseillent le partage des impacts, cela allant à l'encontre du principe de pollueur-payeur et implique un doublonnage du facteur. Il est avancé que si un tel facteur d'allocation est utilisé (mais pas en même temps que le facteur de qualité) alors il devrait être spécifique à la qualité du produit recyclé (par exemple « PET degré bouteille » vs « mélange de PET coloré provenant d'un mélange d'emballages souillés ») et non pas par matériau (par exemple PET). Cela est partiellement considéré dans la CFF, dans laquelle les facteurs sont donnés par groupe de produits et de matériau (alors que différentes qualités de matériaux recyclés peuvent être obtenues à partir de la même combinaison de groupes de produits/matériaux).

L'option proposée au niveau des PEFCR pour modéliser les boucles de recyclage interne des déchets « pré-consommation » peut aboutir à des résultats difficiles à expliquer et communiquer, étant donné qu'une partie du matériau recyclé en boucles de recyclage interne serait modélisée comme du matériau primaire, alors qu'une valeur $R1 > 0$ serait déclarée, alors que le producteur n'achète pas de déchets à l'extérieur. Il est à noter également que les déchets « pré-consommation » provenant de différentes lignes de production et les déchets « pré-consommation » provenant d'un approvisionnement externe ne sont pas couverts par la CFF.

Enfin le choix d'introduire un facteur de correction reposant sur qualités physiques ou économiques par matériau et pour chaque PEFCR peut rendre l'implémentation de l'approche plus difficile pour les praticiens ACV, menant à des résultats différents pour un même matériau selon le groupe de produit, ce choix n'étant pas basée sur des mécanismes communs, mais lors de négociations entre parties prenantes au niveau d'un PEFCR donné.

7 - CONCLUSIONS / AVIS SUR LA METHODE

Le principal avantage de la CFF est sa flexibilité : elle est applicable à une variété de situations de fin de vie, ce qui la rend facilement utilisable par les praticiens ACV dans les études. Sa mise en œuvre est assez simple, bien que pour les catégories de produit pour lesquelles il n'y a pas de PEFCR disponible des choix doivent être faits et des données supplémentaires doivent être collectées pour déterminer les valeurs des paramètres.

En introduisant un facteur de correction de la qualité ou de la quantité pour les débits et crédits, la formule s'adapte à un matériau spécifique, permettant un partage des crédits/débits entre les cycles de vie.

La principale faiblesse de la CFF est l'introduction d'un facteur d'allocation A redondant avec le facteur Q_s/Q_p , dans le cas où la détermination de Q est basé sur les prix du marché (critère prioritaire à considérer selon les règles établies par la CE), ce qui amène à une double prise en compte de la situation de marché.

Par ailleurs, lorsque l'on considère la façon dont est prise en compte la valorisation énergétique actuellement dans la CFF, on constate une lacune dans les frontières du système du fait qu'il n'y ait pas de compensation du crédit lié à la valorisation énergétique par un débit lié à l'utilisation d'énergie secondaire en entrée du cycle de vie.

La méthode pourrait être interprétée comme étant en contradiction avec la hiérarchie des déchets, en raison du biais concernant la valorisation énergétique par rapport au recyclage du matériau (100% de crédit pour l'énergie contre 80% de crédit pour une boucle de recyclage fermée d'un matériau). La hiérarchie des déchets autorise des écarts si cela est justifié, mais l'écart est ici un choix de valeur, manquant de justification.

Sur le plan de la communication, d'après les caractéristiques propres à la formule, une opposition pourrait être attendue de la part de plusieurs parties prenantes, les ONG environnementales et les fédérations des producteurs de matériaux qui ne peuvent pas être incinérés en fin de vie mais en concurrence avec des matériaux pouvant l'être, dû au fait que la CFF favorise la valorisation énergétique par rapport au recyclage (via le bénéfice de 100% donné à la valorisation énergétique (facteur $B=0$) et un maximum de 80% pour le recyclage du matériaux (facteur $A \geq 0.2$)). De plus, les ONG environnementales pourraient s'opposer au fait qu'il y a une lacune dans les frontières du système, correspondant au fait de ne pas avoir de débit correspondant aux bénéfices de la valorisation énergétique liées à l'incinération des déchets. Cela amène donc à une non prise en compte de toutes les émissions des cycles de vies connectés.

On pourrait également s'attendre à ce que les fédérations des producteurs de métal, de verre et d'autres matériaux avec un recyclage de haute qualité, reprochent à la méthode de donner seulement 80% de bénéfice au recyclage, même si 100% du matériau est recyclé.

8 - DOCUMENTS DE REFERENCE / CONTACTS-CLES

- **[ILCD10]** European Commission, *ILCD Handbook – General guide for Life Cycle assessment – Detailed guidance*, first edition, 2010
- **[RDC09]** RDC Environnement, *Modélisation du recyclage – Note à destination de la Plate-forme ADEME / AFNOR*, 29 janvier 2009

Tableau 11 – Analyse détaillée de la « Circular Footprint Formula »

Critère RACER	Sous-critère	Information additionnelle pour l'analyse	Evaluation / commentaire
Pertinence	Lien avec les objectifs fondamentaux de la méthode: la méthode répond-elle vraiment aux problématiques initiales / objectifs qui ont déclenché son développement ?	Proposer une formule de fin de vie unique qui permet de modéliser toutes les situations de fin de vie et d'autres situations de traitement des déchets, applicable à n'importe quel type de matériau et de produit dans le contexte PEF/OEF. La méthode est présentée sous une forme « modulaire » alternative, pour correspondre à la structure des conditions de l'EN 15804	La CFF est applicable à tous types de matériaux et permet de modéliser tous les scénarios de fin de vie (ex. boucle de recyclage fermée et ouverte, valorisation énergétique). La réutilisation de composants n'est pas explicitement traitée mais peut probablement être modélisée de la même façon. L'application du facteur A en parallèle de Qs/Qp peut être compris comme reflétant une logique conséquentielle ou comme exprimant une offre partiellement élastique des matériaux primaires et secondaires. Dans une perspective attributionnelle, ce facteur serait redondant à l'interprétation par défaut du facteur Qs/Qp qui est le ratio du prix du marché des matériaux primaires et secondaires, qui reflète également la situation du marché que le facteur A est censé représenter.
		Surmonter les limitations des méthodes d'allocations existantes concernant la multifonctionnalité des systèmes de traitement des déchets	La CFF permet de lever certaines limites des méthodes couramment utilisées. Par exemple : la comptabilisation des impacts et des bénéfices environnementaux du recyclage, de l'utilisation de matériaux recyclés et la valorisation énergétique, ainsi que le « downcycling » des matériaux.
	La méthode permet-elle de bien comptabiliser les changements de qualité du matériau (c'est-à-dire la perte – ou le gain- de qualité entre matériau primaire et contenu en recyclé en entrée et matériau secondaire obtenu en sortie) ?		La Circular Footprint Formula (CFF) considère les différences de qualité entre les matériaux primaires et secondaires en introduisant un facteur de correction de la qualité (Qs/Qp). La correction de la qualité est appliquée à la fois au matériau recyclé entrant (contenu recyclé) en remplacement du matériau primaire dans le produit analysé et au matériau secondaire obtenu par recyclage du produit analysé en fin de vie et rendu disponible à l'utilisation ultérieure dans un autre produit (« recyclé »). Par contre ce facteur de correction de la qualité est considéré comme étant redondant avec le facteur d'allocation (1-A) qui est aussi utilisé dans la méthode. En raison de la combinaison des deux facteurs, le « downcycling » est exagéré (ou en d'autres termes : la formule favorise plutôt l'utilisation de matériau recyclé que le recyclage en fin de vie)

Critère RACER	Sous-critère	Information additionnelle pour l'analyse	Evaluation / commentaire
	La méthode prend-elle en compte les situations suivantes : boucles de recyclage ouvertes et fermées, réutilisation, réemploi, récupération d'énergie ?		Applicable à toutes les situations. A noter que pour une boucle ouverte de recyclage, une variante de la formule est utilisée, où le facteur de correction de la qualité est fixé à 1 (il est écrit que « Qs/Qp n'est pas inclus dans la formule ») mais le texte signale que cela revient à un facteur égal à 1.
	La méthode tient-elle compte des spécificités du produit, par exemple du niveau de séparabilité élevé ou non des matériaux du produit ?		La méthode s'applique au niveau matériau donc elle ne tient pas directement compte des spécificités des produits, telles que la séparabilité des matériaux. Néanmoins, comme cela a été décrit précédemment, elle utilise parallèlement deux facteurs de corrections (Qs/Qp et A) qui s'amplifient l'un et l'autre, et qui semblent redondants. Cela implique que l'utilisation de matériau recyclé en entrée est favorisée par rapport au recyclage en fin de vie.
	La méthode s'applique de façon générale et cohérente à tous les matériaux/toutes les formes d'énergie ?		La Circular Footprint Formula (CFF) est généralement applicable à tous type de matériaux et formes d'énergie. La méthode se réfère toujours à un seul matériau, par conséquent pour des produits multi-matériaux, la formule doit être appliquée séparément pour chaque matériau contenu dans le produit ¹¹ . Les résultats doivent ensuite être mis à l'échelle en fonction de la quantité spécifique de chaque matériau dans le produit.
	La méthode capture-t-elle tous les impacts environnementaux et aspects pertinents (aspects matériaux, eaux, ressources énergétiques, utilisation des sols, émissions, ...) ?		La méthode couvre tous les aspects (matériaux, eau, énergie, ressource) et impacts environnementaux pertinents, dans la mesure où l'inventaire des données utilisé couvre tous ces aspects. Donc cela dépend en partie des choix faits par les praticiens concernant les sources des données (certains aspects comme par exemple le périmètre des émissions couvertes ou la prise en compte d'aspects environnementaux, tel que l'utilisation des terres, dépendent du périmètre des inventaires de cycle de vie des procédés). La CFF ne considère pas explicitement l'effet de l'utilisation de contenu en recyclé sur la fabrication (par exemple la modification de

¹¹ La recyclabilité du produit/du matériau se reflète dans la dans le paramètre R2 « taux de recyclage » : dans les recommandations pour la détermination de R2, la Commission précise que R2 doit être spécifique à un matériau ET à une application donnée de ce matériau. Dans l'annexe C, si l'on considère le cas de l'acier, les valeurs de R2 proposées à l'échelle EU varient en fonction de l'application dans laquelle intervient l'acier (ex : acier panneaux photovoltaïques : R2 = 0% ; acier packaging : R2 = 74%°)

Critère RACER	Sous-critère	Information additionnelle pour l'analyse	Evaluation / commentaire
			consommation d'énergie et d'émission de CO2 pour le verre vierge par rapport à la fonte du calcin, changement des temps de procédé pour le moulage par injection et donc de la consommation électrique, etc.). Elle ne considère pas l'utilisation d'énergie secondaire en entrée, c'est-à-dire qu'elle ne compense pas le crédit avec un débit. Cela conduit, en plus de favoriser la valorisation énergétique par rapport à la valorisation matière – à une lacune dans les frontières du système due à l'absence de modélisation de l'utilisation de l'énergie secondaire avec un débit. Théoriquement, dans certains cas les systèmes de produits pourraient avoir des impacts totaux négatifs..
Acceptation			
	La méthode est-elle acceptée par les diverses parties prenantes ?	Degré de reconnaissance de la méthode : - Approbation officielle de la méthode - Méthode connue et reconnue par les parties prenantes - Aucune reconnaissance par les parties prenantes	La Commission Européenne recommande d'utiliser cette méthode dans la PEF/CR Guidance version 6.0 dans le cadre de la phase d'implémentation initiale des PEF/OEF de 2017 à 2020. Cette méthode n'a pas encore reçu l'aval des autres parties prenantes. D'après les caractéristiques propres à la formule, une opposition pourrait être attendue de la part de plusieurs parties prenantes, les ONG environnementales et les fédérations des producteurs de matériaux qui ne peuvent pas être incinérés en fin de vie mais en concurrence avec des matériaux pouvant l'être, dû au fait que la CFF favorise la valorisation énergétique par rapport au recyclage (via le bénéfice de 100% donné à la valorisation énergétique (facteur B=0) et un maximum de 80% pour le recyclage du matériaux (facteur A ≥ 0.2)). De plus, les ONG environnementales pourraient s'opposer au fait qu'il y a une lacune dans les frontières du système, correspondant au fait de ne pas avoir de débit correspondant aux bénéfices de la valorisation énergétique liées à l'incinération des déchets. Cela amène donc à une non prise en compte de toutes les émissions des cycles de vies connectés On pourrait également s'attendre à ce que les fédérations des producteurs de métal, de verre et d'autres matériaux avec un recyclage de haute qualité, reprochent à la méthode de donner seulement 80% de bénéfice au recyclage, même si 100% du matériau est recyclé.

Critère RACER	Sous-critère	Information additionnelle pour l'analyse	Evaluation / commentaire
2		Acceptation par le milieu académique : la méthode a-t-elle récemment été décrite/citée dans une ou plusieurs publications avec revue par tierce partie indépendante ?	Non
		Acceptation dans le cadre du développement de politique publique : la méthode (ou les résultats d'une application de la méthode) a-t-elle été testée/appliquée dans le développement ou l'évaluation de politiques nationales/régionales ? Quelles ont été les expérimentations effectuées ?	A ce jour, aucune étude ACV ou PEF n'a été réalisée avec la formule CFF. Seuls des exemples de calculs via la formule précédente "alternative 2c" ont été réalisés dans le cadre des travaux du 3 ^{ème} atelier sur la fin de vie de septembre 2016, sur un nombre limité de données, avec des données réelles et des données hypothétiques, ont été développés. A noter que depuis fin 2016, la Commission Européenne a lancé un projet de développement de 80 modèles de « produits représentatifs » dans lesquels la CFF devrait être implémentée.
	La méthode est-elle conforme aux exigences de l'ISO 14 044 ?		Oui, mais avec un point d'attention doit lors de sa mise en œuvre par le praticien au sujet de la lacune mentionnée concernant les frontières du système pour l'énergie secondaire et la modélisation du recyclage.
	La méthode permet-elle de différencier les cas de types « comptabilisation » et conséquentiel (au sens de l'ILCD Handbook) ?		La méthode est destinée à être applicable dans le cadre PEF/OEF, qui correspond à la situation A de l'ILCD (décisions à l'échelle micro). La définition spécifique du facteur d'allocation A (avec des valeurs de 0,2, 0,5 et 0,8) ajoute un aspect conséquentiel à la logique de la formule
	La méthode présente-t-elle un biais entre produits ou matériaux concurrents en considérant leur performance/équivalence technique, et entre des situations telles que le recyclage, la récupération d'énergie la réutilisation, etc. ?		La formule favorise l'utilisation de contenu en recyclé par rapport au recyclage, La valorisation énergétique reçoit un bénéfice de 100%, tandis que le recyclage des matériaux en boucle fermée reçoit un bénéfice maximum de 80% (même si 100% du matériau est recyclé). Les matériaux produits avec une forte proportion d'énergie secondaire sont également relativement favorisés (car l'apport d'énergie secondaire n'est pas modélisé avec un débit de production primaire, tel que réalisé pour le contenu en matériau recyclé, mais est défini sans dommage associé)
	La méthode est-elle un bon outil d'aide à la décision, en assignant à la fois les impacts et		La méthode attribue les impacts et les bénéfices des efforts liés au recyclage au même cycle de vie.

Critère RACER	Sous-critère	Information additionnelle pour l'analyse	Evaluation / commentaire
	les bénéfices du recyclage conjointement au même cycle de vie ?		
	La méthode est-elle applicable et non biaisée quel que soit la boucle (exemple : première et dernière boucle pour les bouteilles ; usages primaire et secondaires répétés d'un matériau) ?		Applicable pour le recyclage et la réutilisation, le « downcycling » étant pris en compte.
	Est-elle en lien avec les objectifs environnementaux stratégiques de l'UE (tout en étant par ailleurs politiquement neutre) ?		Conflit potentiel avec la législation européenne : la méthode pourrait être interprétée comme étant en contradiction avec la hiérarchie des déchets, en raison du biais concernant la valorisation énergétique par rapport au recyclage du matériau (100% de crédit pour l'énergie contre 80% de crédit pour une boucle de recyclage fermée d'un matériau). La hiérarchie des déchets autorise des écarts si cela est justifié, mais l'écart est ici un choix de valeur, manquant de justification..
	La méthode et les résultats obtenus peuvent-ils être communiqués facilement aux consommateurs/non-experts ?		La communication à des non-experts n'est pas facile car la méthode ne repose pas sur un seul concept mais sur une combinaison de plusieurs concepts sur les différentes parties de la formule, avec certaines parties divergentes (par exemple, pour simplification). Ce peut être de nature à diminuer l'acceptabilité de la méthode. Il est également possible d'exprimer la formule CFF sous une forme modulaire, ce qui la rend structurellement compatible avec d'autres approches telles que la norme EN 15 804, alors qu'elle semble contredire d'autres exigences (principe pollueur-payeur) de la norme EN15804. La communication à des non-experts n'est pas suffisamment facilitée de cette façon.
Crédibilité			
	Les paramètres et les variables de la méthode / formule sont-ils non ambigus ?		Oui, chaque paramètre est clairement identifié et défini. Néanmoins, des recommandations manquent pour choisir la meilleure métrique pour quantifier des facteurs de correction de la qualité (même si les auteurs fournissent quelques exemples de métriques possibles pour le facteur de correction). Il est envisagé que l'approche spécifique doit être définie dans chaque PEFCR.
	Reproductibilité et cohérence : les résultats sont-ils suffisamment similaires si la méthode est mise en œuvre par différents experts et pour différents produits et matériaux ?		Inconnues, mais les variations des résultats peuvent être observées d'un expert à l'autre, étant donné la différence des sources de données (inventaires du cycle de vie, taux de contenu recyclé, taux de recyclage, choix du facteur de correction de la qualité, etc.)

Critère RACER	Sous-critère	Information additionnelle pour l'analyse	Evaluation / commentaire
	Documentation des hypothèses et des limites : Les données sous-jacentes, méthodes de calcul et les hypothèses sont-elles pleinement divulguées, interprétables et reproductibles afin d'assurer une application uniforme de la méthode ?		Oui, mais les limites mentionnées ne sont pas traitées, ainsi des explications sont manquantes.
	La traçabilité/vérification de toutes les données est-elle bonne ?		Bonne
Simplicité			
	Quel donnée d'entrée/information est requise et à quel degré la disponibilité des données est-elle satisfaisante, incluant la facilité d'accès / de mesure des données, pour les données / information d'avant-plan» - si applicable – pour les données d'arrière-plan ?		L'accès aux données nécessaires pour la Circular Footprint Formula (CFF) peut être considéré comme bon, plus particulièrement si les valeurs des paramètres sont données sous forme tabulaire. Les conditions spécifiques aux PEFCRs pour définir Qs et Qp peuvent néanmoins nécessiter des efforts supplémentaires pour déterminer ces paramètres •Il semble que l'identification du facteur de correction de la qualité le plus approprié pour un matériau donné sera décidée au niveau de chaque PEFCR, ainsi la facilité d'obtention de la donnée spécifique n'est pas claire.
	Est-il possible de mettre à jour les données facilement ?		Oui
	A quel point le coût d'implémentation de la méthode est bas ?		L'acquisition de facteurs de correction de qualité ne semble pas ajouter de coûts si la nature du facteur est connue. La formule CFF semble être d'une complexité et donc d'un coût de mise en œuvre similaire (légèrement plus élevé) aux autres approches de fin de vie ; cela étant il est noté que dû au besoin de toujours modéliser à la fois le recyclage pour le contenu en recyclé et le recyclage du produit en fin de vie, la méthode est plus complexe que d'autres formules qui considèrent seulement un des côtés.
	A quel point la complexité de la méthode est-elle limitée et le niveau d'expertise nécessaire pour l'implémentation de la méthode ?		Un certain niveau d'expertise ACV est requis mais équivalent à celui qui serait requis pour l'implémentation des approches plus classiques de fin de vie.

Critère RACER	Sous-critère	Information additionnelle pour l'analyse	Evaluation / commentaire
	L'implémentation dans les logiciels est-elle globalement possible ?		L'implémentation de la CFF dans les logiciels ACV semble assez simple.
	Y a-t-il des potentiels liens/aspects complémentaires entre la méthode en question et d'autres méthodes analysées dans le cadre de ce projet ? Y a-t-il une potentielle intégration plus avancée de la méthode avec (une ou) les autres ?		Non connues
Robustesse			
	Théorie défendable : la méthodologie est-elle fondée sur une théorie solide ?		Non, Il n'y a pas de théorie ou de concept généraux derrière la formule, mais les matériaux et l'énergie sont traités différemment et l'apparente redondance des facteurs Qs/Qp et A n'est pas expliquée.
	Comptabilise (environ) 100% des impacts sur le cycle de vie du matériau et plus globalement (c'est-à-dire aucune lacune ou double-comptage sur les cycles de vie dans lesquels le matériau est utilisé jusqu'à ce qu'il soit complètement dissolu)		Oui pour les matériaux, pas pour l'énergie, en considérant la lacune concernant les frontières du système pour l'utilisation d'énergie secondaire, déjà mentionnée.
	A quel degré la subjectivité d'implémentation est-elle limitée/minimisée ? Une bonne reproductibilité est-elle assurée, potentiellement via la fourniture de valeurs par défaut ?		Assez limitée, excepté pour le manque de règles spécifiques pour déterminer le facteur de correction de la qualité pour chaque matériau au niveau de la CFF. Il est envisagé de fixer ce facteur dans chaque PEFCR. Pour les produits sans PEFCR, les options réduisent la reproductibilité, et les experts peuvent choisir l'option la plus correspondante (de façon similaire à l'ISO 14044)
	Bonne robustesse (c'est-à-dire une faible incertitude sur les résultats et sur l'aide à la décision)		Oui
	A quel degré les résultats sont-ils plausibles (c'est-à-dire des changements dans le paramétrage tel que la qualité et la quantité du contenu en recyclé et du matériau recyclé en fin de vie etc. ou encore les émissions, ... aboutissent à des changements appropriés		Oui avec deux exceptions : étant donnée la lacune dans les frontières du système pour l'utilisation d'énergie secondaire, les systèmes de produits, il est possible d'avoir des systèmes de produits avec un impact total négatif. De plus, les produits qui sont 100% recyclés sans perte de qualité peuvent obtenir seulement 80% de crédits de recyclage, ce qui est peu probable lors d'une approche attributionnelle.

METHODES INNOVANTES D'EVALUATION DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES DECHETS

Critère RACER	Sous-critère	Information additionnelle pour l'analyse	Evaluation / commentaire
	des résultats d'impact en regard de la direction et de l'étendue du changement) ?		

**FICHE METHODE N°8 : ICV DE LA GESTION EN FIN DE VIE DES MATERIAUX CONSTITUTIFS
DES EEE DANS LE CADRE DE LA FILIERE AGREEE DES DEEE**
**PART A FICHE METHODE N°8 : ETABLISSEMENT D'ICV DE GESTION
DES DEEE**
1. CARTE D'IDENTITE DE LA METHODE

Développeur(s) :	Commanditaires : - Eco-systèmes - Récylum - ADEME Réalisateurs : - Bleu Safran - Hélène Cruypenninck	
Organisation(s) d'appartenance :		
Date de première diffusion :	2016	
Date de dernière mise à jour :	NA	
Référence :	Eco-systèmes, Récylum, ADEME, Bleu Safran, <i>ICV de la gestion en fin de vie des matériaux constitutifs des équipements électriques et électroniques dans le cadre de la filière agréée des DEEE - Synthèse méthodologique</i> , version 0.1 , janvier 2017	
Utilisateur(s) connu(s) :	En dehors d'Eco-systèmes et de Récylum, il n'y a pas encore d'utilisateur connu, en raison d'une publication récente des résultats de la démarche.	
Développée pour un (des) secteur(s) spécifiques ?	Développée principalement pour les producteurs d'EEE adhérents aux éco-organismes Eco-systèmes et Récylum, et plus largement aux praticiens ACV concernés par la gestion des DEEE	
Type de méthode :	☒ ACV : ☒ ICV ☐ AICV ☒ Attributionnelle ☐ Conséquentielle	☐ Autre (ex : couplage ACV/autres méthodes)) :
Catégorie(s) d'impact évaluée(s) :	☒ Pas de restriction (par ex. dans le cas de méthodes de calcul de l'inventaire) ☐ Avec restriction:	Monocritère : ☐ GES ☐ Energie ☐ Autre (préciser) : Multicritères (préciser les catégories d'impact couvertes) :

Type(s) de gestion des déchets couvert(s) :	☐ Prévention ☐ Réemploi ☒ Réutilisation ☒ Récupération d'énergie	Recyclage : ☒ Boucle ouverte ☒ Boucle fermée
Données nécessaires :	Répartition des tonnages entre opérateurs de rang 1. Composition des fractions produites à l'issue du traitement par les opérateurs de rang 1, tonnage des fractions produites à l'issue du traitement par les opérateurs de rang 1. Pour les opérateurs de traitement de rang 2 et suivant : performance d'extraction/captage et répartition des volumes de fractions traitées. Des taux de pertes ont été pris en compte à chacune des opérations de traitement/massification. Données d'activité des opérateurs de traitement : consommations d'énergie et nature de l'intrant énergétique (électricité, fuel, gasoil non routier, propane, ...), intrants matériels (consommation d'huile, d'azote et de charbons actifs), données d'émissions fugitives (poussières dans le cas de traitement non confiné, mercure). Ces données sont nécessaires pour les traitements de rang 1 mais également pour les traitements conduits par les opérateurs suivants. Données d'activité des étapes de collecte/transport : distances de transport, mode de transport, gabarit des PL, taux de charge, taux de retour à vide.	
Périmètre géographique des données :	France	
Préconisée par une norme, un standard, un référentiel méthodologique ?	Non	

2. INTRODUCTION

En préambule, il est important de rappeler quelques éléments présentés dans l'encadré introductif de la Fiche n°6 sur le couplage MFA/ACV :

- Le couplage MFA/ACV n'est pas une méthode en soi (type CFF ou MRA) mais plutôt un cadre méthodologique ;
- Les études ACV consacrées à la gestion des déchets relèvent, sans nécessairement le revendiquer ni peut-être même le savoir, d'un couplage MFA&LCA ;
- La dimension ACV apporte très certainement une valeur ajoutée à une étude purement MFA ;
- La dimension MFA est, selon nous, un passage obligé dans une étude ACV déchets.

Les travaux réalisés par Bleu Safran pour Réylum, Eco-systèmes et l'ADEME constituent un autre exemple d'application du couplage MFA/ACV dont l'application consiste ici en la production d'inventaires de cycle de vie (ICV) représentatifs de la gestion en fin de vie via la filière REP française des matériaux constitutifs des EEE actuellement mis sur le marché.

Les travaux menés découlent du constat suivant : les bases de données ACV les plus couramment utilisées ne mettent pas à disposition des praticiens ACV d'inventaires de cycle de vie (ICV) qui permettraient une modélisation suffisamment robuste, fiable et représentative de la réalité de la gestion en fin de vie des produits électriques ou électroniques (DEEE). Or le gisement des DEEE est l'un des flux de déchets qui connaît une des plus fortes croissances au sein de l'Union Européenne.

En raison des calendriers respectifs de l'étude commanditée par Réylum, Eco-systèmes et l'ADEME et de la présente étude et des contraintes en découlant, seule la synthèse méthodologique de la première a été transmise au Consortium.

Il est donc important de noter que la présente fiche a été établie sur la base de cette synthèse méthodologique. Toutefois, le niveau de détail présenté dans cette synthèse a été jugé suffisant pour pouvoir réaliser une analyse objective et complète de la méthode mise en œuvre.

3. ENJEUX / OBJECTIFS

Encourager et faciliter les démarches d'éco-conception

Etant donné l'intérêt croissant des producteurs adhérents concernant l'utilisation efficace des ressources, l'objectif principal des travaux est de fournir des ICV pouvant être différenciés par la prise en compte de critères d'éco-conception (exemple : taux de charge dans les plastiques) lorsque cela s'avère pertinent afin de favoriser des démarches d'écoconception.

Les données d'ICV produites sont diffusées publiquement, via des outils et des bases de données ACV publiques, au niveau européen sur le Life Cycle Data Network du JRC (Joint Research Center) (<http://weee-lci.eco-systemes.com> et <http://weee-lci.recylum.com>) et ultérieurement au niveau français via la base IMPACTS® et l'outil de calcul Bilan Produit de l'ADEME.

PART B Mettre à disposition des données d'ICV permettant de modéliser la fin de vie des produits EEE mis sur le marché français

Pour encourager et faciliter les démarche d'éco-conception, Réylum, Eco-systèmes et l'ADEME ont choisi de mettre à la disposition des producteurs d'EEE, adhérents des éco-organismes, et plus largement aux praticiens ACV concernés par l'évaluation environnementale de la gestion des DEEE, des données d'ICV clés en main à l'échelle de chaque matériau permettant de modéliser la gestion en fin de vie des EEE mis sur le marché en France afin de combler les lacunes des bases de données ACV existantes dans ce domaine.

PART C Mettre à disposition des utilisateurs des ICV basés sur une méthodologie robuste, reproductible et évolutive et répondant aux exigences normatives.

Les données d'ICV ont été produites avec, comme prérequis de base, une méthodologie répondant aux exigences des normes ISO 14 040 et 14 044 ainsi qu'aux exigences de l'ILCD « entry level » (les travaux ont fait l'objet d'un processus de revue critique au fil de l'eau).

De plus, afin de répondre aux attentes des adhérents des éco-organismes, les réalisateurs ont également tenu compte d'exigences supplémentaires dans l'élaboration de la méthodologie, à savoir :

- L'intégration de règles et exigences méthodologiques du référentiel PEP Ecopassport ;
- Une conception des jeux de données d'ICV telle qu'elle permet aux utilisateurs d'optimiser le temps de modélisation des produits en fin de vie malgré une couverture et un niveau de détails importants;
- Une compatibilité du format (format ILCD) des jeux de données avec les principaux outils d'ACV du marché (SIMAPRO, GABI, EIME, ...) ou des outils sectoriels (ELODIE, COCOON)

Des enjeux relatifs à la reproductibilité de la démarche et à la maintenabilité de la base de données dans le temps, celle-ci intégrant les actualisations à venir, ont été intégrés dès le démarrage de la démarche par Bleu Safran : ceci se traduit dans la structuration de la modélisation des ACV permettant d'obtenir les ICV, la mise en place d'une traçabilité de la documentation de la base de données et des rapports spécifiques sur chacun des flux de DEEE.

1. DESCRIPTION

1.1. Principes

Dans cette section, il nous a paru nécessaire de décrire les grands principes de la méthodologie générale mise en œuvre par Bleu Safran pour la production des données d'ICV. Un rappel des principaux éléments méthodologiques est donc fourni ci-dessous :

- **Périmètre :**
 - Seule la **gestion des déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) dans le cadre de filière agréée** telle que mise en œuvre par les éco-organismes Eco-systèmes et Récylum est prise en compte. La fin de vie des EEE hors filière agréée est exclue du périmètre ;
 - **7 catégories** différentes de DEEE sont couvertes : 5 flux de DEEE ménagers (tubes et lampes, gros électroménager froid, petits appareils électriques en mélange, gros électroménager hors froid, écrans plats) et 2 flux de DEEE professionnels (blocs autonomes d'éclairage de sécurité, petits équipements professionnels des secteurs du bâtiment, du médical, de l'industrie et de la recherche). Les auteurs de la synthèse précisent que d'autres flux de DEEE professionnels seront inclus en 2017-2018 (gros équipements professionnels, luminaires, onduleurs, moteurs, climatisation RoofTop, petites pompes à chaleur, froid commercial, fontaines à eau).
- **Frontières :** les frontières du système-type modélisé incluent la totalité des opérations de transport et de traitement, du site d'enlèvement du DEEE jusqu'à l'ensemble des destinations finales du matériau en fonction des modes de traitement du flux de DEEE. La figure 1 ci-dessous donne un aperçu des processus inclus dans le périmètre des ICV :

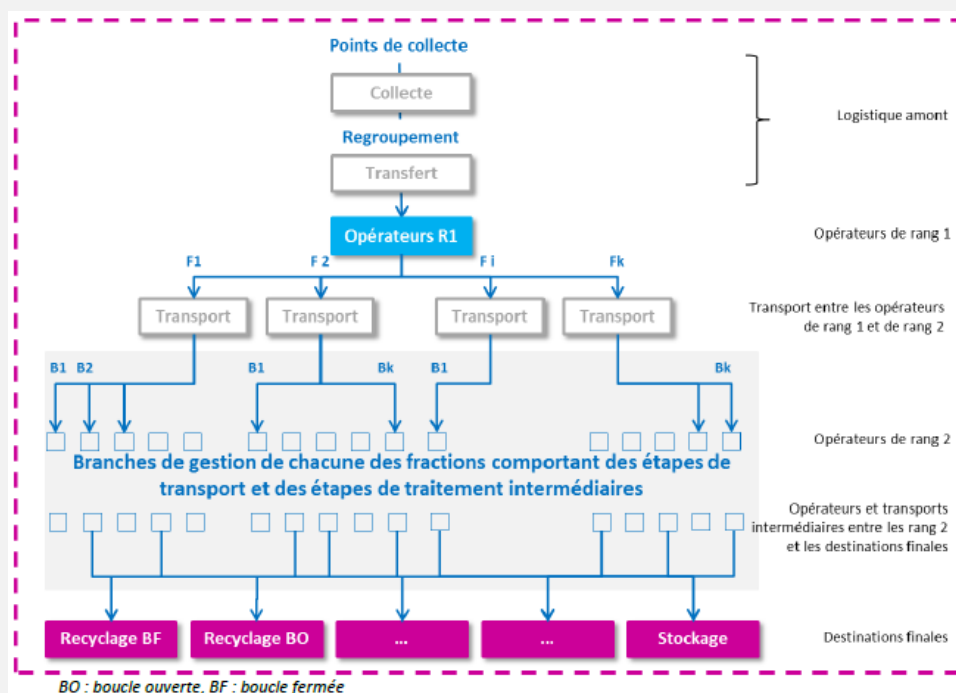


Figure 7 – Frontières du système-type modélisé

Remarque : dans certains cas spécifiques, le périmètre d'étude prend en compte les pertes en amont de la collecte : émissions de gaz de réfrigération et d'huile qui sont dues aux GEMF endommagés ou aux GEMF dont le compresseur est absent, émissions de mercure qui sont dues aux Tubes et Lampes brisés dans les conteneurs de collecte.

- **Granularité objet :** les ICV sont établis pour un **couple matériau/flux de DEEE** : les ICV produits l'ont été à l'échelle du couple matériau/flux de DEEE. En effet, la solution alternative, c'est-à-dire l'ICV moyen représentant la gestion en fin de vie de chacun des flux de DEEE étudié, présente plusieurs limites précisées par Bleu Safran :
 - Faible représentativité des ICV ainsi produits car non prise en compte de la diversité des produits et donc de la diversité des compositions qui peuvent être rencontrées dans certains flux (ex : grille-pain vs. téléphone portable pour le flux PAM) ;
 - Ne permet pas d'identifier avec précision les contributions des différents composants/matériaux ;

- Limite l'utilisation des ICV dans des démarches d'écoconception ;
- **Méthode** : pour chaque couple de matériau/DEEE deux ICV :
 - Un ICV avec intégration des bénéfices
 - Un ICV sans intégration des bénéfices
- **Unité fonctionnelle** : « Assurer la gestion en fin de vie dans le cadre de la filière d'un kilogramme du matériau étudié appartenant à la catégorie de DEEE étudiée depuis les points d'enlèvement mis en place par les éco-organismes français en charge de cette catégorie de DEEE jusqu'aux destinations finales qui sont atteintes par ce matériau », et le flux de référence est « 1kg de matériau appartenant à la catégorie de DEEE étudiée, ce kilogramme est mesuré aux points d'enlèvements mis en place par les éco-organismes français en charge de cette catégorie de DEEE ».

1.2. Points clés de la démarche de couplage MFA/ACV mise en œuvre dans le cadre des travaux

L'un des enjeux principaux pour la construction des données d'ICV est de tenir compte des procédés de traitement et donc de la complexité des « fractions » sortantes des sites des opérateurs de dépollution/traitement des flux de DEEE. Pour traiter cet enjeu, Bleu Safran a mis en œuvre une démarche de couplage MFA/ACV. Les étapes clés de la mise en œuvre de cette démarche sont les suivants :

Etape 1 - Etablir la liste des matériaux étudiés :

Pour chaque catégorie d'équipements, la première étape a consisté en l'identification des matériaux permettant de couvrir 95 % de la composition moyenne d'un flux de DEEE et des matériaux ayant une pertinence environnementale particulière (ex : certains métaux précieux tels que l'or ou l'argent, certains métaux lourds).

Etape 2 - Définition de la granularité objet :

Les travaux sont conduits à l'échelle de chaque couple matériau/flux de DEEE (ex : verre des tubes et lampes, polystyrène des GEMF, cuivre des câbles des GEMHF, or des PAM, ...).

Etape 3 - Construction de la matrice matériaux/fractions sortantes :

Cette étape a pour but de quantifier la distribution de chaque matériau étudié dans les fractions produites en sortie de traitement de rang 1. La figure ci-dessous donne une illustration de la résultante de cette étape :

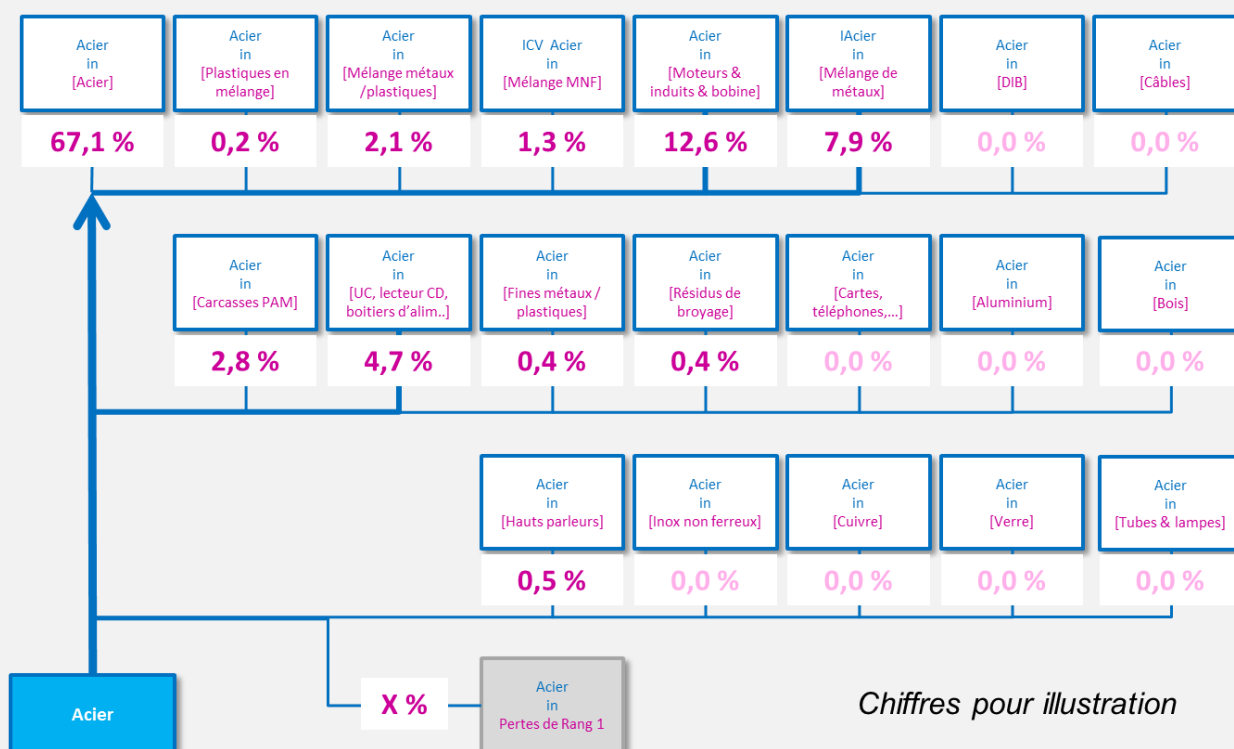


Figure 2 – Illustration de principe de la distribution de l'acier des PAM dans les différentes fractions obtenues à l'issue du traitement de rang 1

Etape 4 - Identification de la gestion des fractions sortantes :

Il est ensuite nécessaire d'établir le schéma de gestion de chacune des fractions jusqu'aux destinations finales en intégrant toutes les opérations intermédiaires de traitement et de transport. La figure ci-dessous donne un exemple de cartographie de la gestion des fractions sortantes pour l'acier contenu dans les PAM :

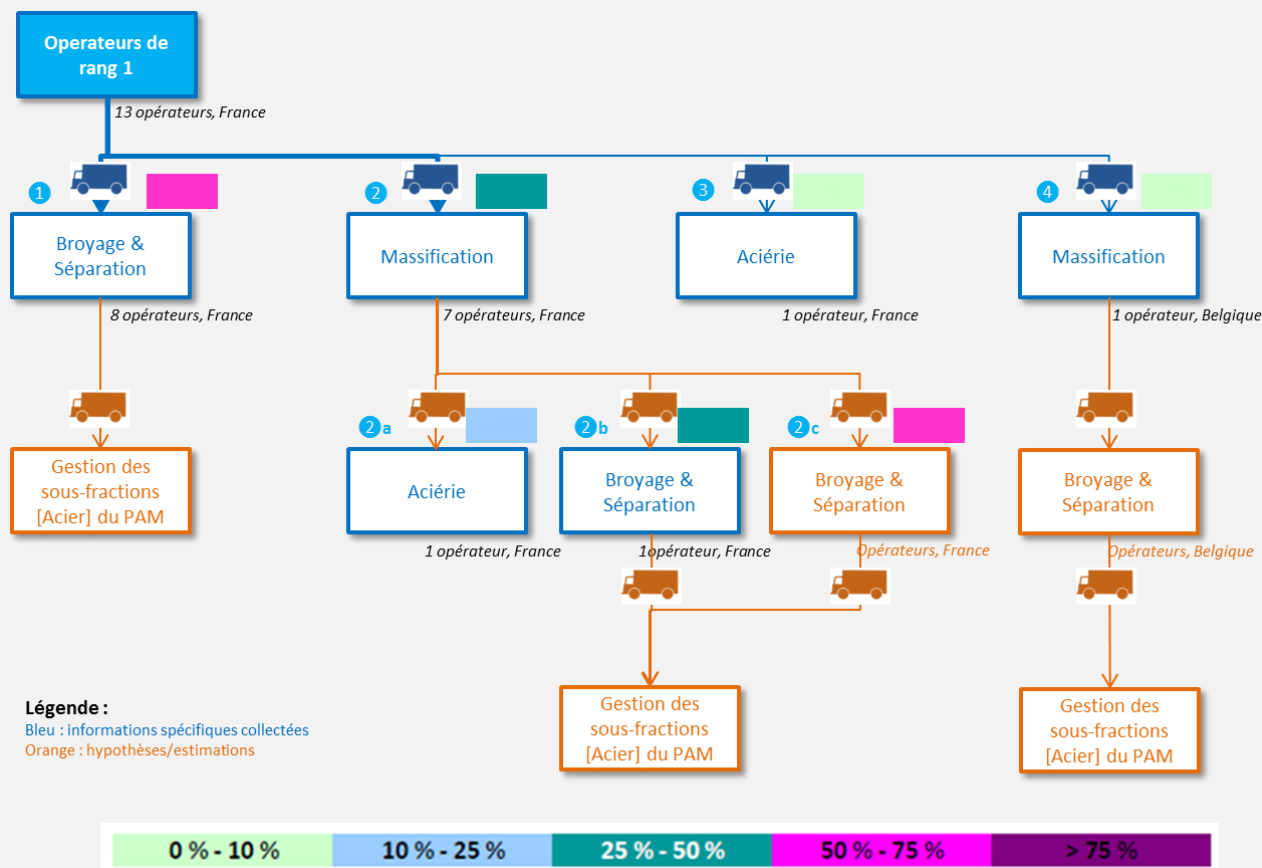


Figure 3 – Cartographie de la gestion de la fraction Acier issue du traitement de rang 1 des PAM

Si l'on considère plus particulièrement la fraction « Acier » des PAM : cette fraction contient en majorité de l'acier mais également d'autres matériaux tels que de l'inox ferreux, de l'aluminium, des plastiques, des fractions de cartes électroniques, etc. Si cette fraction est orientée en destination finale vers une aciérie, il faut alors tenir compte du devenir de ces matériaux résiduels dans la destination finale cible (i.e. l'aciérie dans ce cas).

Etape 5 - Modéliser le comportement des matériaux/composants dans les différentes destinations finales :

L'objectif de cette étape est d'analyser le comportement de chaque matériau dans chacune des destinations finales effectivement atteintes : une modélisation spécifique du comportement de chaque matériau dans chaque destination qui le concerne a donc été faite, permettant ainsi de qualifier et quantifier les impacts d'un matériau donné dans une destination finale en déterminant le comportement effectif de ce matériau dans la destination cible. Une des conséquences de ce choix méthodologique est qu'il devient nécessaire de construire autant d'ICV que de couple matériau/destination finale.

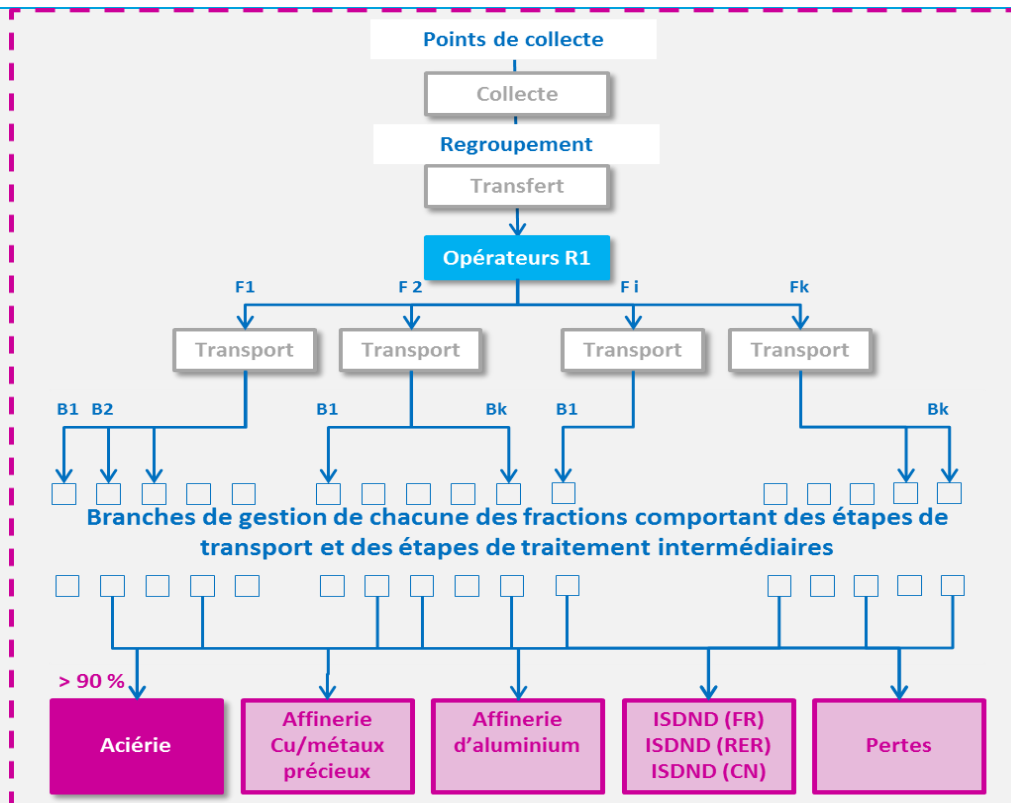


Figure 4 – Eventail des destinations finales : exemple du matériau acier des PAM

Etape 6 – Collecte des données complémentaires pour alimenter le volet ACV de la démarche

En plus des données collectées et traitées lors des étapes 1 à 5 du volet « MFA » de l'approche, d'autres données nécessaires à la mise en œuvre du volet « ACV » du couplage doivent être collectées. Ces données comprennent en particulier les intrants énergétiques et matériels, les émissions spécifiques associées aux différentes opérations conduites par les opérateurs de rang 1 ainsi que les données d'inventaires d'arrière-plan associées.

1.3. Données nécessaires

Le tableau ci-dessous présente des exemples de données alimentant le volet ACV et le volet MFA de l'approche de couplage MFA/ACV ainsi que les sources de ces données. La liste des données présentée n'est pas exhaustive.

	Exemples de données nécessaires	Sources utilisées dans le cadre de l'étude
Volet « ACV »	Données d'activité : - Consommations d'énergie et nature de l'intrant énergétique (électricité, fuel, gasoil non routier, propane, ...) - Intrants matériels : consommation d'huile, d'azote et de charbons actifs - Données d'émissions fugitives : - Poussières dans le cas de traitement non confiné (GEMHF, PAM, BAES et PEP) - Mercure (flux tubes et lampes)	Données collectées auprès des opérateurs Représentativité : période 2014-2016
	Données d'inventaire Ex : mix électrique, infrastructures, etc.	ecoinvent V3.2 –allocation, recycled content
Volet « MFA »	- Composition des fractions produites à l'issue du traitement par les opérateurs de rang 1 - Tonnage des fractions produites à l'issue du traitement par les opérateurs de rang 1	Données spécifiques collectées auprès des opérateurs Représentativité : période 2014-2016

2. CAS D'APPLICATION

A notre connaissance, la démarche de couplage décrite dans le document consulté n'a été déployée que dans le cadre spécifique du projet de construction des ICV de gestion de fin de vie des DEEE dans la filière agréée mené par Récylum, et Eco-systèmes. On note cependant dans ces travaux une logique similaire à celle de [Van Eygen, 2016], présentée dans la fiche consacrée au couplage MFA/ACV.

3. ANALYSE DETAILLEE

Les travaux réalisés par Bleu Safran pour Récylum, Eco-systèmes et l'ADEME constituent un autre exemple d'application du couplage MFA/ACV : l'application consiste ici en la production des inventaires de cycle de vie (ICV) représentatifs de la gestion en fin de vie via la filière REP française des matériaux constitutifs des EEE actuellement mis sur le marché. Comme cela avait été préalablement établi, il convient de rappeler que les études ACV consacrées à la gestion des déchets relèvent intrinsèquement d'un couplage entre MFA et ACV : le volet MFA (bien que plus ou moins poussé selon les objectifs des études, et présenté explicitement ou non en tant que tel comme démarche MFA selon les auteurs) est une approche pleinement intégrée à la mise en œuvre de l'ACV de gestion des déchets. Dans le cadre des travaux menés par Bleu Safran, le volet MFA est présenté par les auteurs comme une étape absolument nécessaire afin de modéliser la complexité des procédés de traitement et donc des « fractions » sortantes des sites des opérateurs de dépollution/traitement des flux de DEEE.

Remarques sur la mise en œuvre du couplage MFA/ACV

Si l'on se place du point de vue de l'utilisateur de la méthode (couplage MFA/ACV), les remarques suivantes peuvent être formulées :

- La mise en œuvre du volet MFA nécessite d'avoir accès à de nombreuses données pour être suffisamment robuste et représentative des différentes situations de gestion des matériaux contenus dans les DEEE. Même dans le cas d'une application de la méthode à d'autres systèmes potentiellement moins complexes que les EEE, la collecte de données constitue le point critique de la mise en œuvre de la démarche dans la mesure où l'utilisateur doit disposer d'une connaissance fine des processus mis en œuvre et des acteurs impliqués aux différentes étapes et doit manipuler un volume assez conséquent de données ;
- Selon la complexité des systèmes modélisés, une attention particulière doit être portée sur la structuration des jeux de données et leur modélisation dans les outils ACV afin de garantir la reproductibilité, la transparence et la maintenance des jeux de données. Même si ce point reste valable de façon générale lorsqu'on met en œuvre l'ACV, il reste d'autant plus indispensable quand une démarche de MFA poussée est mise en œuvre.

Si l'on se place du point de vue de l'utilisateur des données d'inventaires produites, les points suivants méritent d'être soulevés :

Articulation des travaux avec la Circular Footprint Formula (CFF)

Dans la synthèse méthodologique, les auteurs explicitent très clairement l'articulation des travaux menés par rapport à la CFF. Comme le montre la Figure 5 ci-dessous, le périmètre des ICV construits concernant uniquement la partie « fin de vie » de la CFF. Les termes relatifs à la production des matériaux en sont donc exclus :

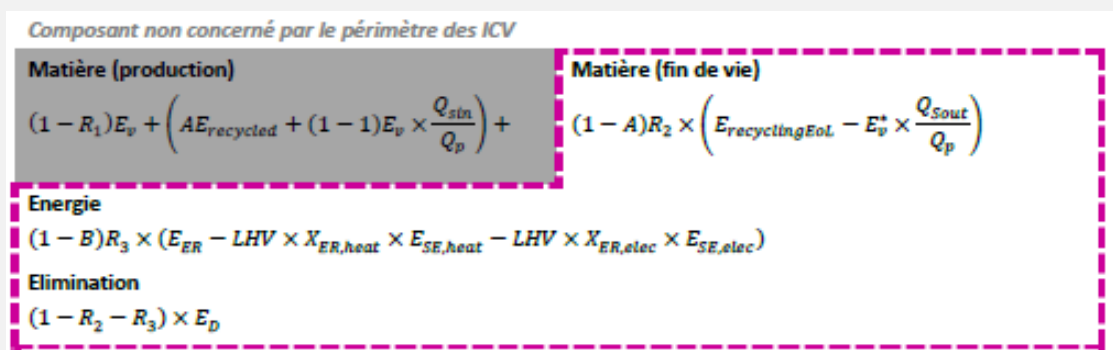


Figure 5 – Articulation entre la CFF et les ICV de gestion de fin de vie des EEE

Les inventaires ainsi calculés sont déclinés selon deux alternatives en fonction de la prise en compte ou non des bénéfices environnementaux (termes en **vert**) en considérant une valeur de $A = 0$ dans la formule.

- Avec bénéfices :**

Composant non concerné par le périmètre des ICV

Matière (production)

$$(1 - R_1)E_v + \left(AE_{recycled} + (1 - 1)E_v \times \frac{Q_{sin}}{Q_p} \right) +$$

Matière (fin de vie)

$$(1 - A)R_2 \times \left(E_{recyclingEoL} - E_v^* \times \frac{Q_{sout}}{Q_p} \right)$$

Energie

$$(1 - B)R_3 \times (E_{ER} - LHV \times X_{ER,heat} \times E_{SE,heat} - LHV \times X_{ER,elec} \times E_{SE,elec})$$

Elimination

$$(1 - R_2 - R_3) \times E_D$$

On note que dans ce cas et avec $A = 0$, la formule correspond aux ICV avec bénéfices correspond à une extension des frontières du système.

- Sans bénéfice :**

Composant non concerné par le périmètre des ICV

Matière (production)

$$(1 - R_1)E_v + \left(AE_{recycled} + (1 - 1)E_v \times \frac{Q_{sin}}{Q_p} \right) +$$

Matière (fin de vie)

$$(1 - A)R_2 \times (E_{recyclingEoL} - 0)$$

Energie

$$(1 - B)R_3 \times (E_{ER} - 0)$$

Elimination

$$(1 - R_2 - R_3) \times E_D$$

Les auteurs relèvent par ailleurs que la CFF propose une vision quelque peu simpliste de la fin de vie, celle-ci se déclinant, pour un matériau donné, à travers un procédé unique de recyclage (gouverné par R_2 dans la formule), un procédé unique de valorisation énergétique (gouverné par R_3 dans la formule) et un procédé unique d'élimination (gouverné par $(1 - R_2 - R_3)$ dans la formule).

Or l'étude de la gestion des DEEE a pu montrer que cette configuration correspond au cas d'exception et que dans la réalité la gestion en fin de vie d'un matériau repose sur la combinaison de différents procédés de recyclage, de valorisation énergétique et d'élimination.

Dans cette perspective, et en reprenant le formalisme de la CFF, une formule plus générique de la fin de vie serait la suivante :

Composant non concerné par le périmètre des ICV

Matière (production)

$$(1 - R_1)E_v + \left(AE_{recycled} + (1 - 1)E_v \times \frac{Q_{sin}}{Q_p} \right) +$$

Matière (fin de vie)

$$\sum_{i=1}^m (1 - A)R_{2i} \times \left(E_{recyclingEoLi} - E_{vi}^* \times \frac{Q_{souti}}{Q_{pt}} \right)$$

Energie

$$\sum_{j=1}^n (1 - B)R_{3j} \times (E_{ERj} - LHV \times X_{ER,heatj} \times E_{SE,heatj} - LHV \times X_{ER,elecj} \times E_{SE,elecj})$$

Elimination

$$(1 - \sum_{i=1}^m R_{2i} - \sum_{j=1}^n R_{3j}) \times (\sum_{k=1}^p D_k E_{Dk})$$

- $i=1$ à m La formule laisse la possibilité de combiner m procédés de recyclage différents
- $j=1$ à n La formule laisse la possibilité de combiner n procédés de valorisation énergétique différents
- $k=1$ à p La formule laisse la possibilité de combiner p procédés d'élimination différents

A la lumière de ces éléments, plusieurs observations peuvent être faites.

Les commanditaires ont fait le choix de mettre à disposition de l'utilisateur « standard », c'est-à-dire un producteur d'EEE ou un praticien réalisant une ACV pour le compte d'un producteur d'EEE, des données ICV au format « system », donc agrégées : l'utilisateur ne peut donc modifier aucun paramètre clé du modèle ni les paramètres de calcul propres à la CFF (A, R₂, R₁, etc.). Il est important de préciser que ce choix à date est lié à l'absence de cadre d'application stable de la CFF. De plus, les commanditaires distinguent certains paramètres de la CFF qui sont propres à l'activité des filières (R₂, R₃, Qs/Qp, etc.) et qui ne sont pas destinés à être manipulés par les utilisateurs finaux, de ceux qui relèvent plutôt de choix (partiellement au moins) plus larges, comme les facteurs d'allocation.

Ces éléments explicatifs de l'approche choisie par les commanditaires étant posés, dans la configuration actuelle des ICV mis à disposition :

- L'utilisateur est contraint par les règles méthodologiques implémentées dans la formule des ICV avec et sans bénéfice : il ne peut donc pas utiliser les données dans un cadre qui nécessiterait la mise en œuvre d'autres règles méthodologiques (allocation 50/50 par exemple). Toutefois, si dans le futur les utilisateurs expriment un intérêt pour se conformer au référentiel PEF et que celui-ci établissait des facteurs d'allocations différents de ceux appliqués actuellement, les commanditaires pourraient mettre à disposition des ICV recalculés avec ces facteurs. La contrainte n'est pas générée par les règles mises en œuvre dans les ICV, mais de l'absence de règles stables et consensuelles sur certains paramètres au niveau du PEF.
- L'utilisateur doit veiller à garder une cohérence entre la modélisation de la fin de vie et celle de la production : l'implémentation de la partie « production » doit être faite en utilisant la même valeur pour le paramètre A que celle qui est utilisée dans l'inventaire de fin de vie. La nomenclature des ICV doit donc être suffisamment transparente et accessible pour que l'utilisateur dispose de toutes les informations nécessaires.

Autres remarques :

Les commanditaires ont fait le choix de mettre à disposition des données ICV au format « system », donc agrégées : l'utilisateur final n'a donc pas accès directement aux paramètres clés du modèle. Ce choix des commanditaires est justifié à la fois pour des raisons de confidentialité ainsi que par le fait d'assurer une homogénéité dans la modélisation le calcul des impacts et bénéfices de la gestion des EEE en fin de vie malgré la complexité de la gestion des DEEE et d'éviter ainsi toute utilisation non pertinente des jeux de données.

Si ce parti pris est tout à fait compréhensible, ses implications en termes de limites d'utilisation doivent être clairement exposées :

- L'aspect agrégé ne permet pas de faire des adaptations des inventaires à un contexte d'étude particulier, par exemple un contexte géographique spécifique. A noter que cette utilisation constituerait une utilisation détournée des ICV qui ne serait pas conforme aux conditions d'utilisation définies par les commanditaires.
- Le périmètre des ICV produits ne tient pas compte de l'orientation éventuelle des DEEE en dehors de la filière agréée. Dans le cadre de la réalisation d'ACV produits, le praticien pourrait souhaiter modéliser la fin de vie des équipements qui ne sont pas orientés vers les filières agréées, à savoir une orientation des DEEE vers le « hors filière » celui-ci pouvant intégrer une part de DEEE gérée dans le flux OMR mais pas seulement.

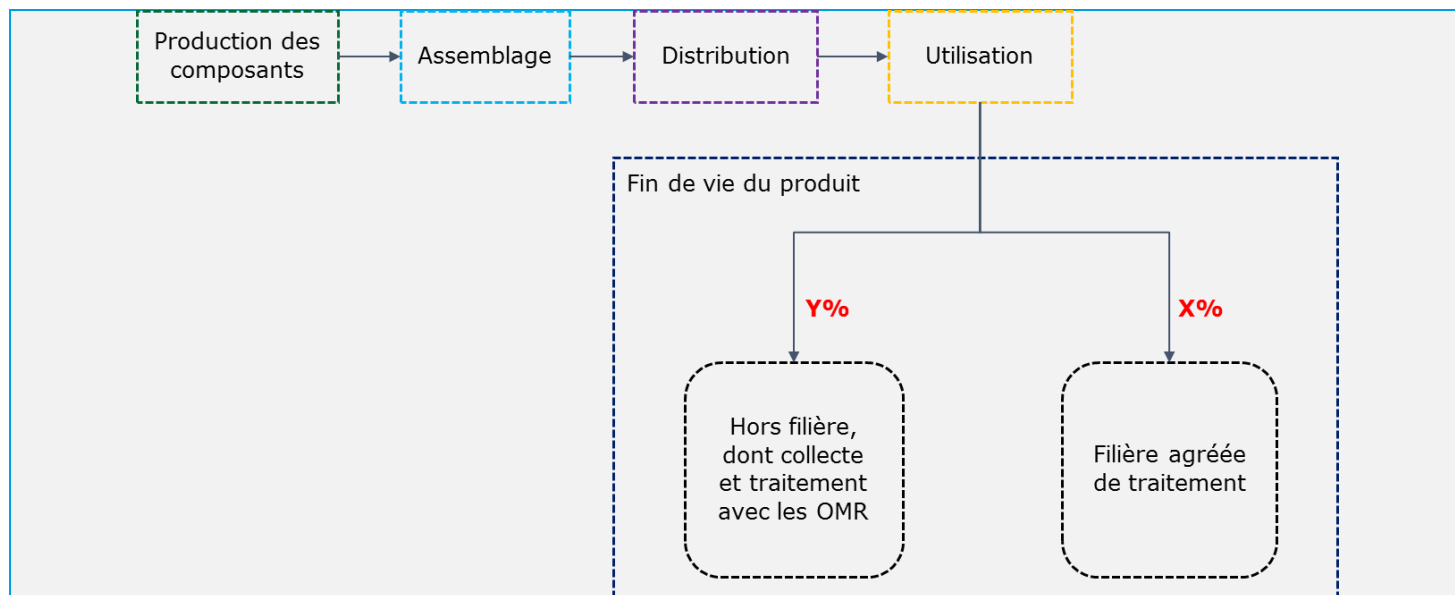


Figure 6 – Articulation entre la CFF et les ICV de gestion de fin de vie des EEE

Notes sur la gestion « hors filière » des DEEE : le hors filière est par nature même complexe, mal connu et couvre potentiellement des pratiques très disparates (recyclage dans des conditions/des installations non conformes, exports légal ou illégal, gestion avec les ordures ménagères...). L'acquisition des connaissances nécessaires à la modélisation de ce devenir est une gageure dans la mesure où elle peut impliquer des compétences, policières par exemple¹², qui ne relèvent pas des expertises conventionnellement mobilisées dans des travaux d'ICV.

En particulier :

- Le hors filière n'exclut pas nécessairement le recyclage, notamment des métaux courants et des métaux précieux. Mais la gestion des DEEE « hors filière » n'apporte aucune garantie d'optimisation de la valorisation matière et énergétique notamment pour les matériaux présentant un intérêt économique nul ou marginal : plastiques, béton, bois... ;
- De plus, les traitements des DEEE « hors filière » n'offre aucune garantie sur la mise en œuvre des étapes de dépollution et sur la gestion adéquate des polluants.

4. CONCLUSIONS / AVIS SUR LA METHODE

En conclusion, les points suivants sur la mise en œuvre du couplage MFA/ACV sont rappelés :

- Dans le cadre des ACV déchets, la dimension MFA est une étape intrinsèque à la mise en œuvre de la démarche : cette étape semble en effet incontournable pour rendre compte du traitement effectif des déchets et du devenir des fractions issues des différentes étapes de traitement successives ;
- Pour des systèmes dont la composition est complexe, la mise en œuvre du couplage MFA/ACV induit rapidement une charge de travail conséquente qui doit être anticipée par les utilisateurs. Toutefois, comme évoqué précédemment, ce travail de MFA est, selon nous, une étape nécessaire dans une étude ACV déchets afin d'obtenir un modèle suffisamment robuste garantissant ainsi la fiabilité des résultats obtenus.

Concernant les données d'inventaires produites dans le cadre spécifique de ce projet, les commanditaires ont fait le choix de mettre à disposition les jeux de données dans un format agrégé permettant de transposer la connaissance fine des éco-organismes des filières de traitement des flux de déchet d'EEE à des jeux de données indispensables et facilement utilisables à une échelle « produits » par les utilisateurs finaux. A noter que le caractère agrégé des données ne permet

¹² Voir par exemple les travaux européens CWIT dans lesquels Interpol était un des acteurs principaux <http://www.cwitproject.eu/project-overview/>

pas aux utilisateurs finaux d'adapter les inventaires à un contexte d'étude donné comme cela est souvent pratiqué. Toutefois, ce type d'utilisation détournée par rapport aux objectifs initiaux ne permettrait en aucun cas de garantir et conservée la bonne représentativité des jeux de données : une filière de traitement d'un flux de déchet donné en France n'est pas transposable à un autre contexte géographique par exemple.

5. DOCUMENTS DE REFERENCE / CONTACTS-CLES

N/A

2.4. Echanges avec les auteurs des méthodes

Des échanges ont été menés auprès des auteurs des méthodes sélectionnées, afin d'accorder un « droit de réponse » à l'analyse détaillée des méthodes. Les réponses et commentaires des auteurs sont retranscrits dans le rapport final de l'étude.

Ces échanges ont pour objectif de compléter le cas échéant la description pédagogique, de lever les points de questionnement résiduels, de s'informer sur les éventuels développements en cours et enfin de recueillir l'avis des auteurs sur l'analyse de leur méthode.

Les retours des développeurs des méthodes sur les fiches méthodes et les grilles d'analyse détaillée et les réponses apportées par le consortium aux questions des développeurs sont consignés dans l'Annexe 1.

2.5. Conclusions et perspectives

Cette section présente les principales conclusions et perspectives issus des travaux menés dans cette étude. En guise de conclusion, deux axes d'analyse des méthodes sont proposés :

- Un premier axe visant à conduire une analyse des méthodes vis-à-vis des enjeux identifiés de l'évaluation environnementale des déchets ;
- Un second axe visant à analyser les méthodes selon le contexte et les objectifs des études dans lesquelles elles pourraient être mises en œuvre : dans les ACV orientées « produit » et les ACV orientées « déchets » d'une part et les applications potentielles des résultats obtenus d'autre part.

Des perspectives sont également discutées dans une dernière partie afin de s'interroger sur le traitement des enjeux identifiés non couverts actuellement par les méthodes, d'identifier des pistes d'amélioration pour chaque méthode et d'identifier d'éventuels travaux complémentaires ou veille à réaliser par SCORELCA.

2.5.1. Analyse des méthodes vis-à-vis des enjeux identifiés de la gestion des déchets

L'objectif de cette section est de proposer une mise en perspective des méthodes analysées en regard des enjeux identifiés de la gestion des déchets et de son évaluation. En d'autres termes, cette partie vise plus précisément à répondre à la question suivante : ***les enjeux de l'évaluation environnementale de la gestion des déchets sont-ils traités par les méthodes innovantes identifiées dans la Phase 1 de cette étude ?***

Les enjeux liés aux méthodes d'évaluation environnementale de la gestion des déchets sont potentiellement très nombreux en considérant les spécificités de toute la gamme de méthodes qui peut être déployée pour traiter ce sujet. Les enjeux considérés ici se limitent principalement à quelques-uns des enjeux de l'ACV appliquée à la gestion des déchets, les méthodes analysées dans le cadre de l'étude étant toutes des méthodes basées sur l'ACV. Il est également important de rappeler que la sélection des méthodes analysées dans le cadre de cette étude ne donne pas un panorama exhaustif des méthodes innovantes que l'on peut trouver dans la littérature, mais ne tient compte que d'un échantillon restreint de huit méthodes.

Tableau 12 - Rappels des enjeux identifiés de l'évaluation environnementale de la gestion des déchets

#	Enjeux identifiés
Enjeu 1	Enjeu d'allocation des bénéfices et des impacts environnementaux des matériaux ou de l'énergie récupérée entre deux cycles de vie successifs
Enjeu 2	Représentativité temporelle des opérations de traitement des déchets pour des produits à longue durée de vie (ex: bâtiments)
Enjeu 3	Complexité de cartographier la structure des filières de gestion des déchets (ex: complexité d'identification de tous les acteurs impliqués dans une filière de traitement, complexité de cartographier la chaîne de procédés intervenant dans les systèmes de gestion des déchets, ...)
Enjeu 4	Caractérisation des déchets tout au long de la chaîne de traitement (capacité d'identifier et d'évaluer les différentes impuretés et la qualité des fractions de matériaux recyclés issues des opérations de traitement)
Enjeu 5	Disponibilité d'inventaires de cycle de vie (ICV) robustes et représentatifs des opérations de traitement (ex : émissions fugitives dans l'air et émissions dans les sols dues au lixiviats dans les centres d'enfouissement de déchets)
Enjeu 6	Disponibilité d'inventaires de cycle de vie (ICV) robustes et représentatifs pour capturer les bénéfices liés au recyclage et à la valorisation énergétique des matériaux
Enjeu 7	Disponibilité de méthodes de caractérisation pour évaluer les impacts toxiques des lixiviats de centres d'enfouissement de déchets
Enjeu 8	Prise en compte du déchet comme une véritable ressource et non comme une ressource « fatale » gratuite du point de vue environnemental. Ex : prise en compte d'une « valeur » intrinsèque des déchets/remise en cause de l'approche « <i>zero burden</i> » communément admise où le déchet en entrée du système de traitement est considéré comme ne portant pas d'impact, l'impact des étapes en amont de la collecte étant alloués à la fonction primaire de la matière constituant le déchet, etc.

Les Tableau 13 et Tableau 14 donnent, pour chaque méthode analysée, une synthèse du traitement des enjeux de l'évaluation environnementale de la gestion des déchets.

Tableau 13 – Synthèse du traitement des enjeux de l'évaluation environnementale de la gestion des déchets par les méthodes analysées (1/2)

Méthode analysée	Enjeu 1 - Enjeu d'allocation des bénéfices/des impacts environnementaux entre deux cycles de vie successifs	Enjeu 2 - Représentativité temporelle des opérations de traitement	Enjeu 3 – Complexité à cartographier la structure des filières de gestion des déchets	Enjeu 4 - Caractérisation des déchets tout au long de la chaîne de traitement
Approche intégrée	Oui, la méthode proposée permet d'allouer les bénéfices/impacts environnementaux entre le cycle de vie du produit analysé et le cycle de vie du produit « amont » et « aval ».	<i>Enjeu non couvert spécifiquement par la méthode</i>	<i>Enjeu non couvert spécifiquement par la méthode</i>	Oui mais partiellement, dans la mesure où la méthode prend en compte dans son principe la perte de qualité du matériau secondaire mais ne donne pas de recommandation précise sur la manière de déterminer le facteur de correction de la qualité pour chaque famille de matériau. Les auteurs précisent que ce sujet doit faire l'objet d'une réflexion à part entière.
Approche « multi-recycling » (MRA)	Oui, la méthode proposée couvre l'enjeu dans la mesure où selon les développeurs, l'approche proposée permet de ne plus avoir à procéder à une allocation	<i>Enjeu non couvert spécifiquement par la méthode</i>	<i>Enjeu non couvert spécifiquement par la méthode</i>	Oui mais partiellement : la méthode de calcul intègre tous les types de pertes (interne, externe, physique, pertes lors du transport ou de la transformation...) mais elle ne vise pas spécifiquement à établir les règles ou méthodes qui permettent de quantifier précisément ces pertes. Il s'agit plus d'une conséquence que d'un enjeu spécifique de la méthode.
Comptabilisation de la valeur résiduelle du déchet	<i>Enjeu non couvert spécifiquement par la méthode</i>	<i>Enjeu non couvert spécifiquement par la méthode</i>	<i>Enjeu non couvert spécifiquement par la méthode</i>	<i>Enjeu non couvert spécifiquement par la méthode</i>

Méthode analysée	Enjeu 1 - Enjeu d'allocation des bénéfices/des impacts environnementaux entre deux cycles de vie successifs	Enjeu 2 - Représentativité temporelle des opérations de traitement	Enjeu 3 – Complexité à cartographier la structure des filières de gestion des déchets	Enjeu 4 - Caractérisation des déchets tout au long de la chaîne de traitement
Inclusion de la prévention dans les ACV de gestion des déchets	<i>Enjeu non couvert spécifiquement par la méthode</i>	<i>Enjeu non couvert spécifiquement par la méthode</i>	Oui, dans la mesure où la méthode permet aux praticiens d'intégrer les procédés amont de gestion des déchets, étendant la frontière du système de l'étude ACV pour intégrer les activités de prévention depuis l'extraction des matières premières du produit étudié.	<i>Enjeu non couvert spécifiquement par la méthode</i>
Approche « multi-input » et « multi-output »	<i>Enjeu non couvert spécifiquement par la méthode</i>	<i>Enjeu non couvert spécifiquement par la méthode</i>	<i>Enjeu non couvert spécifiquement par la méthode</i>	<i>Enjeu non couvert spécifiquement par la méthode</i>
Couplage MFA/ACV	<i>Enjeu non couvert spécifiquement par la méthode</i>	<i>Enjeu non couvert spécifiquement par la méthode</i>	<i>Enjeu non couvert spécifiquement par la méthode</i>	Oui, l'approche vise, entre autres, à cartographier certains flux de déchets spécifiques en jeu à chaque étape de leur gestion via le volet MFA en particulier
« Circular Footprint Formula » (CFF)	Oui, la méthode proposée permet d'allouer les bénéfices/impacts environnementaux entre le cycle de vie du produit analysé et le cycle de vie du produit « amont » et « aval ».	<i>Enjeu non couvert spécifiquement par la méthode</i>	<i>Enjeu non couvert spécifiquement par la méthode</i>	Oui mais partiellement, dans la mesure où la méthode prend en compte dans son principe la perte de qualité du matériau secondaire mais ne donne pas de règles claires pour déterminer le facteur de correction de la qualité pour chaque famille de matériau.

Tableau 14 – Synthèse du traitement des enjeux de l'évaluation environnementale de la gestion des déchets par les méthodes analysées (2/2)

Méthode analysée	Enjeu 5 - Disponibilité d'ICV robustes et représentatifs des opérations de traitement	Enjeu 6 - Disponibilité d'ICV robustes et représentatifs pour capturer les bénéfices liés au recyclage et à la valorisation énergétique des matériaux	Enjeu 7 - Disponibilité de méthodes de caractérisation pour évaluer les impacts toxiques des lixiviats de centres d'enfouissement de déchets	Enjeu 8 - Prise en compte du déchet comme une véritable ressource et non comme une ressource « fatale » gratuite
Approche intégrée	<i>Enjeu non couvert spécifiquement par la méthode</i>	Oui, dans la mesure où la méthode permet de calculer l'inventaire associés à la production et à la fin de vie d'un matériau contenu dans le produit analysé	<i>Enjeu non couvert spécifiquement par la méthode</i>	
Approche « multi-recycling » (MRA)	<i>Enjeu non couvert spécifiquement par la méthode</i>	Oui mais partiellement : une conséquence directe de la méthode MRA est l'établissement pour chaque matériau (acier, aluminium, plastiques, caoutchouc...) un ICV moyen par unité de masse et par cycle de vie, cet ICV étant indépendant des produits dans lesquels les matériaux sont effectivement utilisés. Dans cette perspective, la méthode ouvre plus de questions qu'elle n'apporte de réponses.	<i>Enjeu non couvert spécifiquement par la méthode</i>	
Comptabilisation de la valeur résiduelle du déchet	<i>Enjeu non couvert spécifiquement par la méthode</i>	<i>Enjeu non couvert spécifiquement par la méthode</i>	<i>Enjeu non couvert spécifiquement par la méthode</i>	Oui, dans la mesure où la méthode propose que l'énergie contenue dans les déchets (appelée « énergie résiduelle ») soit prise en compte dans la quantification de la consommation d'énergie primaire totale afin d'améliorer

Méthode analysée	Enjeu 5 - Disponibilité d'ICV robustes et représentatifs des opérations de traitement	Enjeu 6 - Disponibilité d'ICV robustes et représentatifs pour capturer les bénéfices liés au recyclage et à la valorisation énergétique des matériaux	Enjeu 7 - Disponibilité de méthodes de caractérisation pour évaluer les impacts toxiques des lixiviats de centres d'enfouissement de déchets	Enjeu 8 - Prise en compte du déchet comme une véritable ressource et non comme une ressource « fatale » gratuite
				l'évaluation et la comparaison de la performance énergétique des filières de traitement des déchets
Inclusion de la prévention dans les ACV de gestion des déchets	<i>Enjeu non couvert spécifiquement par la méthode</i>	<i>Enjeu non couvert spécifiquement par la méthode</i>	<i>Enjeu non couvert spécifiquement par la méthode</i>	<i>Enjeu non couvert spécifiquement par la méthode</i>
Approche « multi-input » et « multi-output »	<i>Enjeu non couvert spécifiquement par la méthode</i>	<i>Enjeu non couvert spécifiquement par la méthode</i>	<i>Enjeu non couvert spécifiquement par la méthode</i>	Dans l'approche « multi-sorties », les filières de gestion des déchets sont considérées comme productrices de ressource et d'énergie : elle considère la gestion des déchets comme des procédés producteurs d'autres biens (secondaires en l'occurrence).
Couplage MFA/ACV	<i>Enjeu non couvert spécifiquement par la méthode</i>	<i>Enjeu non couvert spécifiquement par la méthode</i>	<i>Enjeu non couvert spécifiquement par la méthode</i>	<i>Enjeu non couvert spécifiquement par la méthode</i>
« Circular Footprint Formula » (CFF)	<i>Enjeu non couvert spécifiquement par la méthode</i>	Oui, dans la mesure où la méthode permet de calculer l'inventaire associés à la production et à la fin de vie d'un matériau contenu dans le produit analysé	<i>Enjeu non couvert spécifiquement par la méthode</i>	<i>Enjeu non couvert spécifiquement par la méthode</i>

Il ressort de cette analyse les principaux points suivants.

❖ **Bilan des méthodes analysées par rapport au cadre méthodologique général de l'ACV :**

Si l'on considère les méthodes sous l'angle de leur apport et de leur articulation par rapport au cadre méthodologique général de l'ACV (voir Figure 8 ci-dessous), tel que défini dans la norme ISO 14 044, les éléments suivants peuvent être constatés :

- Des méthodes telles que le couplage MFA/ACV vont présenter un intérêt se situant plutôt « en amont » de la mise en œuvre de l'ACV en tant que tel : ces méthodes permettent principalement **d'alimenter l'étape d'établissement de l'inventaire de cycle de vie** du système étudié en données plus robustes, notamment en permettant une meilleure traçabilité des différents flux de matériaux ou de substances.
- D'autres méthodes vont intervenir au cœur de l'ACV, notamment dans le **calcul de l'inventaire de cycle de vie** : on compte parmi ces méthodes toutes celles qui permettent d'allouer les bénéfices/impacts environnementaux entre plusieurs cycles de vie successifs : l'approche intégrée, l'approche « multi-recycling » et la Circular Footprint Formula.
- La mise en œuvre de certaines méthodes s'inscrit de manière beaucoup plus **transversale par rapport au cadre général de l'ACV** : c'est le cas de la méthode « Multi-input/multi-output ». Les principes spécifiques de la méthode touchent les différentes étapes de la mise en œuvre de l'ACV, de la définition des objectifs et du champ de l'étude à l'interprétation des résultats.
- Enfin certaines méthodes telles que la méthode de prise en compte de la valeur résiduelle des déchets vont apporter un éclairage complémentaire plutôt en « **aval** » de l'ACV, en proposant des méthodes alternatives à la comptabilisation « traditionnelle » de certains impacts environnementaux (de la consommation d'énergie primaire dans le cas de la méthode de prise en compte de la valeur résiduelle des déchets).

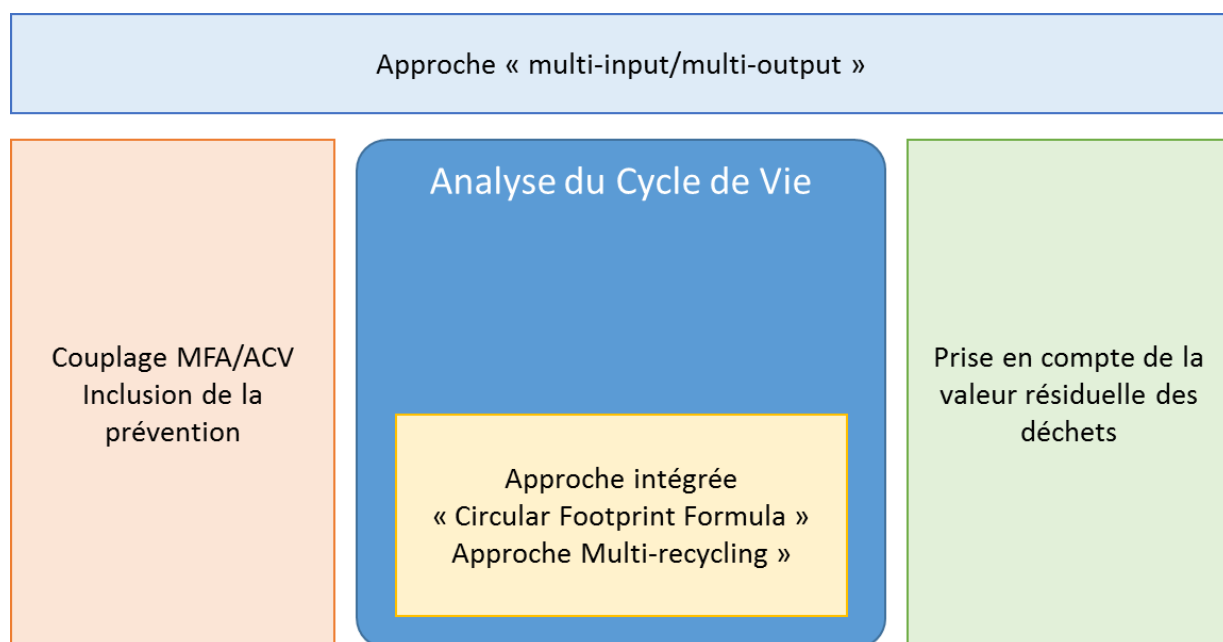


Figure 8 - Bilan des méthodes analysées par rapport au cadre méthodologique général de l'ACV

❖ **Bilan sur la couverture des enjeux identifiés par les méthodes :**

Avec l'avènement du concept d'économie circulaire et la hiérarchie des modes de gestion établie dans la Directive 2008/98/EC, le déchet tend à être de plus en plus considéré comme une ressource. Parmi les méthodes analysées ; deux méthodes prennent en compte plus particulièrement ce point de vue : la méthode visant à prendre en compte la valeur résiduelle des déchets et l'approche « multi-input » et « multi-output ».

Toutefois, en considérant une revue plus large de la littérature sur l'évaluation environnementale des déchets, il apparaît que d'autres enjeux-clés de l'économie circulaire comme la prévention des déchets ne sont que

partiellement couverts. La plupart des études consultées lors de la revue de la bibliographie portent sur les filières de traitement « classiques » (recyclage, valorisation énergétique, enfouissement) et paradoxalement très peu d'études s'intéressent aux modes de gestion considérés comme prioritaires dans la hiérarchie des modes de gestion (voir Figure 9).

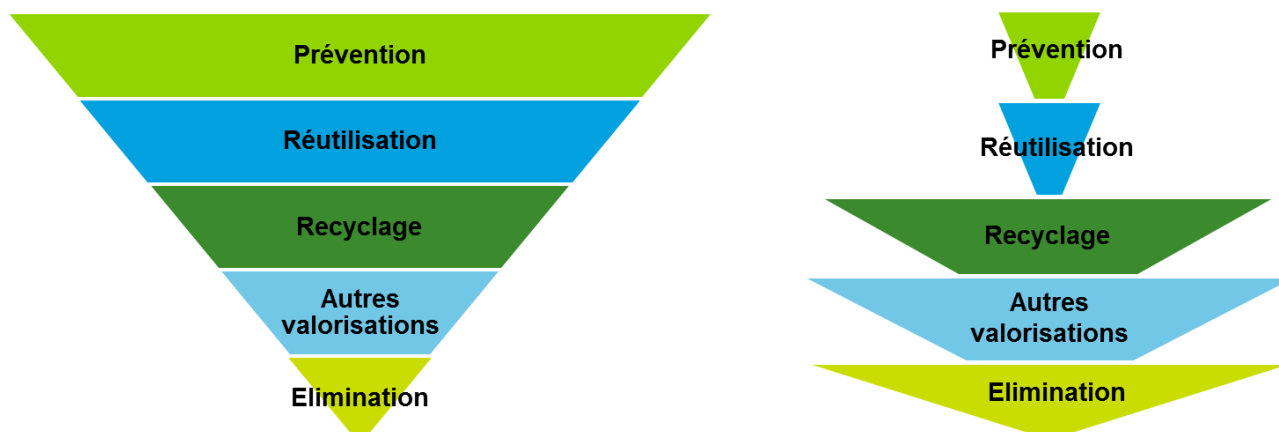


Figure 9 – Bilan de la prise en compte relative des différentes voies de gestion des déchets dans la littérature

Bien que la revue de la littérature de laquelle est issue l'échantillon des huit méthodes analysées dans le cadre de cette étude ne soit pas exhaustive, on peut classer les méthodes en deux groupes distincts, selon le caractère plus ou moins innovant du sujet traité. Ces deux principaux groupes sont :

- Les méthodes traitant de **sujets « traditionnels »** ou « **historiques** » dans le cadre de l'application de l'ACV à la gestion des déchets :
 - L'allocation des impacts/bénéfices entre des cycles de vie successifs (Approche intégrée, « Circular Footprint Formula », Approche « multi-recycling »).
 - Couplage MFA/ACV visant à améliorer la comptabilisation des flux de déchets pour l'établissement d'ICV représentatifs et robustes des procédés de traitement des déchets.
- Les méthodes traitant de sujets relativement « **nouveaux** » telles que :
 - La méthode de comptabilisation de la valeur résiduelle du déchet ;
 - L'inclusion de la prévention dans les ACV de gestion des déchets ;
 - L'approche « multi-input » et « multi-output ».

2.5.2. Analyse des méthodes en regard du contexte et des objectifs de l'étude

2.5.2.1. ACV « produit » versus ACV « déchet »

Parmi les méthodes d'évaluation de l'impact environnemental de la gestion des déchets basées sur la méthode d'analyse de cycle de vie, deux approches peuvent être distinguées selon l'objectif global de l'étude et la nature du système étudié :

- Les **ACV orientées « produit »** : cette approche regroupe les ACV portant sur des produits, dites « *cradle to grave* » dont le périmètre intègre l'ensemble des étapes du cycle de vie du produit étudié. La gestion des déchets générés en fin de vie du produit est alors intégrée aux frontières du système comme une étape du cycle parmi d'autres, et les impacts qui y sont liés sont ramenés à l'unité fonctionnelle définie en amont. Cette approche est largement utilisée au sein de la communauté ACV : on peut citer par exemple les empreintes environnementales de produit réalisées dans le cadre de la démarche PEF de la Commission européenne, les évaluations environnementales des produits de grande consommation réalisées dans le cadre de la mise en place de l'affichage environnemental en France, ainsi que les très nombreuses études publiées dans les revues spécialisées. Dans cette catégorie d'ACV, l'objectif est donc de quantifier la contribution de l'étape de fin de vie à l'impact environnemental du produit analysé.

- Les **ACV orientées « déchet »** : les ACV portent uniquement sur la gestion d'un ou de plusieurs flux de déchets. Cette approche permet de comparer les filières de traitement des déchets entre elles, afin d'identifier par exemples le traitement le moins impactant sur l'environnement. Cette approche ne s'intéresse pas à la fonction d'un produit mais s'intéresse en revanche à la fonction d'un système. L'objectif ici est de déterminer l'impact environnemental du système de gestion du ou des flux de déchets considérés, voire de comparer différentes filières de traitement pour déterminer la filière la plus efficiente du point de vue environnemental.

La figure ci-dessous schématise la complémentarité des deux approches mentionnées ci-dessus :

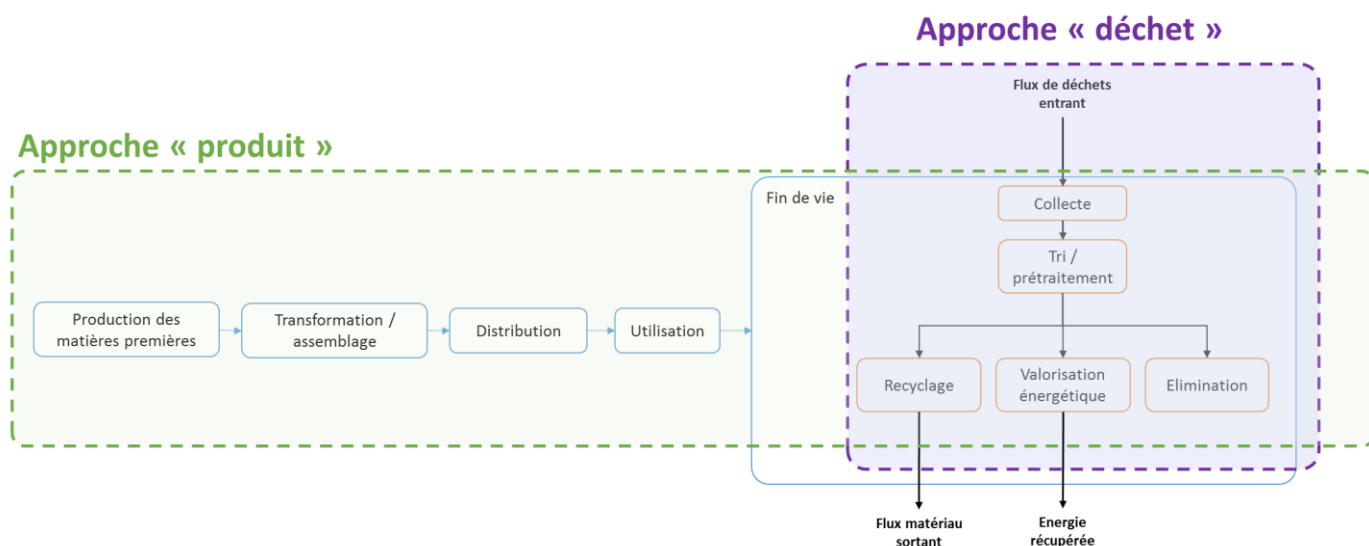


Figure 10 – ACV orientées « produit » et ACV orientées « déchet »

Une catégorisation des huit méthodes analysées dans le cadre de cette étude est proposée en regard de ces deux grandes catégories d'approche.

Tableau 15 – Catégorisation des méthodes d'évaluation environnementale de la gestion des déchets analysées dans le cadre de l'étude

	ACV « PRODUIT »	ACV « DECHET »
Objectif global par rapport à la gestion des déchets	Analyser la contribution de la fin de vie du produit à l'impact du cycle de vie complet du produit analysé	Mesure et/ou comparer la performance environnementale d'une ou plusieurs filières de traitement des déchets
Exemple d'unité fonctionnelle type	Exemple pour un produit de grande consommation : « Consommer X unité(s) de produit » Exemple pour des emballages : « Protéger 1kg de produit depuis l'étape de conditionnement jusqu'à la consommation du produit »	« Collecte et traiter/valoriser 1 tonne de déchets »
Classement des méthodes couvertes par la présente étude	Approche intégrée « Circular Footprint Formula » Approche « Multi-recycling »	Comptabilisation de la valeur résiduelle du déchet Inclusion de la prévention dans les ACV de gestion des déchets Approche « multi-input » et « multi-output » Couplage MFA/ACV

De manière générale, toutes les méthodes ayant pour enjeu l'allocation des bénéfices et des impacts environnementaux des matériaux ou de l'énergie récupérée entre deux cycles de vie successifs, ou sur plusieurs cycles de vie successifs, sont intrinsèquement mises en œuvre dans le cadre d'ACV « produit ». En effet, tout l'enjeu de l'Approche intégrée, la « Circular Footprint Formula » et l'Approche « Multi-recycling » est de répartir les bénéfices/impacts environnementaux entre des systèmes de produits (identiques ou non).

Dans le cas des ACV « déchet », la question de l'allocation des bénéfices/impacts environnementaux entre différents cycles de vie n'a plus lieu d'être, l'objectif poursuivi étant de mesurer et/ou de comparer la performance environnementale des systèmes de gestion des déchets. Dans ce type d'étude, les bénéfices liés à la valorisation matière ou énergétique des déchets sont en général alloués en totalité au procédé de traitement des déchets considéré via la méthode de substitution. Certains enjeux de l'évaluation environnementale de la gestion des déchets identifiés dans le cadre de cette étude (voir Tableau 13 page 128) recoupent assez naturellement ceux de l'ACV « déchets ». Ces enjeux sont les suivants :

- Représentativité temporelle des opérations de traitement des déchets pour des produits à longue durée de vie (ex: bâtiments) ;
- Complexité de cartographier la structure des filières de gestion des déchets (ex: complexité d'identification tous les acteurs impliqués dans une filière de traitement, complexité de cartographier la chaîne de procédés intervenant dans les systèmes de gestion des déchets, ...) ;
- Caractérisation des déchets tout au long de la chaîne de traitement (capacité d'identifier et d'évaluer les différentes impuretés et la qualité des fractions de matériaux recyclés issues des opérations de traitement) ;
- Disponibilité d'inventaires de cycle de vie (ICV) robustes et représentatifs des opérations de traitement (ex : émissions fugitives dans l'air et émissions dans les sols dues au lixiviats dans les centres d'enfouissement de déchets) ;
- Disponibilité d'inventaires de cycle de vie (ICV) robustes et représentatifs pour capturer les bénéfices liés au recyclage et à la valorisation énergétique des matériaux ;

Comme cela a déjà été souligné précédemment, le panel très restreint de méthodes innovantes sélectionnées dans le cadre de cette étude n'est pas exhaustif. Il n'est dès lors pas représentatif de tous les sujets traités et travaux qui pourraient être menés actuellement sur l'évaluation environnementale de la gestion des déchets. Toutefois, on peut raisonnablement conclure ce qui suit :

- **L'enjeu d'allocation des impacts ou des bénéfices entre différents cycles de vie de produits dans le cadre d'ACV orientées « produit »** est un sujet qui reste débattu. De nouvelles méthodes d'allocation sont proposées afin de lever les limites des méthodes d'allocation traditionnellement utilisées (ex : méthodes « 100-0 », « 0-100 », « 50-50 », etc.) ;
- **Des enjeux beaucoup plus variés sont traités dans le cadre d'ACV orientée « Déchet »**, du fait du caractère beaucoup plus hétérogène des problématiques qui peuvent être abordées dans ce type d'études.

Afin d'illustrer l'évolution des formules d'allocation des impacts et des bénéfices en fin de vie, une synthèse des approches les plus courantes est proposée dans le focus ci-contre :

FOCUS SUR LES FORMULES DE FIN DE VIE

Le tableau ci-dessous présente les principales formules d'allocation des impacts et des bénéfices en fin de vie recommandées dans certains référentiels méthodologiques suivants : BPX 30 323-0, PEFCR provisoire pour les tôles métalliques et la dernière version du Guide pour le développement des PEFCR (version 6, novembre 2016).

Afin de présenter les différentes formules de façon homogène, la formule boucle ouverte du BPX 30 323-0 a été exprimée sous une forme légèrement différente de celle qui est décrite dans le document. Le même formalisme que la Formule intégrée et la CFF a été utilisé afin d'harmoniser les formules. De plus, les termes ont été réarrangés : la formule initiale a été réexprimée en cherchant à retomber sur le terme « $(1 - R_1) E_v$ » d'une part, et en exprimer tous les termes comportant le facteur A en « $(1 - A)$ » comme dans la CFF.

La formule initiale :

$$E = E_v + A R_1 (E_{\text{recycled}} / \rho_1 - \sigma_1 E_v) + (1 - A) R_2 (E_{\text{recyclingEoL}} - \rho_2 \sigma_2 E_v^*) + R_3 (...) + (1 - R_2 - R_3) E_D$$

Devient alors :

$$E = (1 - R_1 \sigma_1) E_v + R_1 \sigma_1 E_v - (1 - A) R_1 (E_{\text{recycled}} / \rho_1 - \sigma_1 E_v) + R_1 (E_{\text{recycled}} / \rho_1 - \sigma_1 E_v) + (1 - A) R_2 (E_{\text{recyclingEoL}} - \rho_2 \sigma_2 E_v^*) + R_3 (...) + (1 - R_2 - R_3) E_D$$

Soit, après simplification des termes, la formule boucle ouverte du BPX devient :

$$E = (1 - R_1 \sigma_1) E_v + R_1 E_{\text{recycled}} / \rho_1 - (1 - A) R_1 (E_{\text{recycled}} / \rho_1 - \sigma_1 E_v) + (1 - A) R_2 (E_{\text{recyclingEoL}} - \rho_2 \sigma_2 E_v^*) + R_3 (...) + (1 - R_2 - R_3) E_D$$

Avec (...) = $E_{ER} - LHV \times X_{ER, \text{heat}} \times E_{SE, \text{heat}} - LHV \times X_{ER, \text{elec}} \times E_{SE, \text{elec}}$

Approche	Production du matériau primaire	Production du matériau secondaire	Production de la matière primaire évitée par l'intégration de recyclé	Charge et bénéfice liés au recyclage en fin de vie	Valorisation énergétique	Elimination Fin de vie aval
BPX –Boucle ouverte générique (2016)	$(1 - R_1 \sigma_1) E_v$	$R_1 E_{\text{recycled}} / \rho_1$	$-(1-A) R_1 (E_{\text{recycled}} / \rho_1 - \sigma_1 E_v)$	$(1-A) R_2 (E_{\text{recyclingEoL}} - \rho_2 \sigma_2 E_v^*)$	$R_3 (...)$	$(1 - R_2 - R_3) E_D$
BPX –Boucle ouverte, a = 0, approche « 100 :0 » (2016)	E_v			$R_2 (E_{\text{recyclingEoL}} - \rho_2 \sigma_2 E_v^*)$	$R_3 (...)$	$(1 - R_2 - R_3) E_D$
BPX –Boucle ouverte, a = 0,5 (2016)	$(1 - R_1/2 \sigma_1) E_v$	$R_1/2 E_{\text{recycled}} / \rho_1$		$R_2/2 (E_{\text{recyclingEoL}} - \rho_2 \sigma_2 E_v^*)$	$R_3 (...)$	$(1 - R_2/2 - R_3) E_D$
BPX –Boucle ouverte, a = 1, approche « 0 :100 » (2016)	$(1 - R_1 \sigma_1) E_v$	$R_1 E_{\text{recycled}} / \rho_1$			$R_3 (...)$	$(1 - R_2 - R_3) E_D$
PEFCR « tôle métallique » - Formule intégrée	$(1 - R_1) \times E_v$	$R_1 \times E_{\text{recycled}}$	$- R_1 (E_{\text{recycled}} - Q_{\text{Sin}} / Q_{\text{Pin}} E_{\text{Sv}})$	$R_2 (E_{\text{recyclingEoL}} - E_v^* Q_{\text{S}} / Q_{\text{P}})$	$R_3 (...)$	$(1 - R_2 - R_3) E_D$
PEF Guidance - CFF	$(1 - R_1) \times E_v$	$R_1 \times E_{\text{recycled}}$	$-(1-A) R_1 (E_{\text{recycled}} - E_v Q_{\text{Sin}} / Q_{\text{Pin}})$	$(1-A) R_2 (E_{\text{recyclingEoL}} - E_v^* Q_{\text{S}} / Q_{\text{P}})$	$(1 - B) R_3 (...)$	$(1 - R_2 - R_3) E_D$

Note : dans la formule boucle ouverte du BPX, les termes σ_1 et σ_2 désignent les taux de substitution entre la matière recyclée entrant ou sortant respectivement et la matière vierge. Les termes p_1 et p_2 représentent respectivement le rendement de recyclage produisant la matière recyclée entrant dans le système et le rendement de recyclage produisant la matière orientée en recyclage en fin de vie. Ces termes n'apparaissent pas dans la CFF et la Formule intégrée : on suppose que le taux de substitution et le rendement de recyclage sont « intégrés » dans E_v et E^*v .

Dans l'ensemble, on constate une cohérence entre les différentes approches. Le terme A de la formule boucle ouverte du BPX est équivalent du point de vue calculatoire à celui de la CFF, c'est-à-dire qu'il intervient de la même façon dans les deux formules, d'une part au niveau de la production de la matière primaire évitée par l'intégration de recyclé et d'autre part au niveau de la charge et bénéfice liés au recyclage en fin de vie. Seules diffèrent les valeurs prises par ce paramètre selon les règles propres à chaque référentiel : dans le BPX, A peut prendre les valeurs 0, 0,5 ou 1 en fonction de la situation de marché du matériau considéré. Dans la CFF, A est toujours compris entre 0,2 et 0,8 selon le couple matériau/application considéré. Dans ces conditions, il n'est donc pas possible de retomber sur une approche « 100 :0 » ou « 0 :100 » avec la CFF, à l'inverse de la formule générique du BPX.

Enfin on peut constater que seules la CFF et la Formule intégrée tiennent compte de la perte de qualité du matériau : la notion de downcycling ne transparait pas directement dans la formule du BPX.

2.5.2.2. Analyse des méthodes selon les applications potentielles visées

Dans cette section, une analyse des forces, faiblesses, opportunités et menaces (FFOM) des méthodes innovantes sélectionnées est proposée en regard de différents groupes d'applications potentielles au sens de l'ILCD.

Les groupes d'applications considérés dans cette analyse sont :

- **Groupe 1 :**
 - identification d'indicateurs-clés de la performance environnementale (KEPI) pour une catégorie de produit dans le cadre d'une démarche d'écoconception / d'une ACV simplifiée,
 - analyse des points faibles d'un produit donné (« weak point analysis »)
 - démarches poussées d'écoconception/de conception favorisant le recyclage, la réalisation d'étude ACV simplifiée/ de type « KEPI »
- **Groupe 2 :**
 - Comparaison de biens ou services spécifiques,
 - Benchmark de produits par rapport à la moyenne de la catégorie à laquelle ils appartiennent
- **Groupe 6 :** politiques publiques – analyses prospectives sur la pénétration de technologies, ou les stratégies matériaux
- **Groupe 8 :** déclaration environnementale institutionnelle ou de site, incluant les calculs des effets indirects d'un système de management environnemental (EMS)

D'autres applications ou groupes d'applications sont suggérés dans l'ILCD mais n'ont pas été retenus dans le cadre de cette analyse car jugés moins pertinents.

Les matrices FFOM de la méthode « multi-recycling » et de la CFF sont présentées dans la section 3.1 de ce rapport.

Tableau 16 – Matrice FFOM de l'approche intégrée (AI)

Groupe d'applications	F- Forces	F- Faiblesses	O- opportunités	M- Menaces
Groupe 1 : - Identification des indicateurs clés de la performance environnementale (KEPI) d'un groupe de produits pour l'écoconception / ACV simplifiée - Analyse des points faibles d'un produit spécifique - Ecoconception détaillée / conception pour le recyclage - Réalisation d'une étude ACV / écoconception type KEPI	- Applicable à la Situation A (aide à la décision au niveau micro) et C1 (comptabilisation) de l'ILCD Handbook - Prend en compte les boucles de recyclage ouvertes et fermées, la réutilisation, le réemploi, la récupération d'énergie - Prend en compte le « downcycling » - Applicable à tout type de matériau ou forme d'énergie, aux produits multi matériaux (par matériau) - Favorise un taux de recyclage élevé : peut motiver les acteurs à opter pour des mesures d'écoconception	- Ne prend pas directement en compte les spécificités au niveau « produit » comme la séparabilité des matériaux - Incertitude sur la possibilité de tenir compte de la situation de marché où l'offre et la demande en matériau secondaire sont élastiques (cas de la plupart des plastiques), lorsque le facteur de correction de la qualité est basé sur le prix du marché	- Assez facile à implémenter par les praticiens, similaire à d'autres approches de fin de vie. - A noter que la méthode réfère toujours à un seul matériau et donc pour des produits multi-matière, la formule doit être appliquée séparément pour chaque matériau contenu dans le produit (cela est typiquement le cas pour les autres méthodes de fin de vie). - Accès aux données nécessaires pour l'AI peut être considéré comme bon, même si les règles du choix du ratio Q restent à clarifier/compléter - Forme modulaire compatible avec d'autres approches comme la norme EN 15804 (facilite la communication des résultats) - Coût de mise en œuvre faible a priori	- Acceptation par les parties prenantes : les utilisateurs rejettent intuitivement l'idée de modéliser le contenu en recyclé avec l'impact du matériau primaire (terme « CR x QIN x I\$PV »). Cette limite pourrait être atténuée via l'utilisation de la forme modulaire compatible avec l'EN 15 804 de la formule intégrée. - Lacune au niveau des règles de sélection de la meilleure grandeur pour quantifier les changements de qualité (bien que les auteurs fournissent quelques exemples de mesures possibles pour le facteur de correction de la qualité)
Groupe 2 : - Comparaison de biens ou de services spécifiques - Comparaison de produits spécifiques par rapport à la moyenne du groupe de produits	Idem Groupe 1	Idem Groupe 1	Idem Groupe 1	Idem Groupe 1
Groupe 6 : Politique publique : Prévision et analyse de l'impact environnemental de technologie dominante, stratégies pour les matières premières, etc. et les politiques de développement associées.	Idem Groupe 1	Idem Groupe 1	Idem Groupe 1	Idem Groupe 1

METHODES INNOVANTES D'EVALUATION DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES DECHETS

Groupe d'applications	F- Forces	F- Faiblesses	O- opportunités	M- Menaces
Groupe 8 : Déclaration environnementale institutionnelle ou de site, incluant les calculs des effets indirects d'un système de management environnemental (EMS)	Idem Groupe 1	Idem Groupe 1	Idem Groupe 1	Idem Groupe 1

Tableau 17 – Matrice FFOM de la méthode de comptabilisation de la valeur résiduelle du déchet

Groupe d'applications	F- Forces	F- Faiblesses	O- opportunités	M- Menaces
Groupe 1 : - Identification des indicateurs clés de la performance environnementale (KEPI) d'un groupe de produits pour l'écoconception / ACV simplifiée - Analyse des points faibles d'un produit spécifique - Ecoconception détaillée / conception pour le recyclage - Réalisation d'une étude ACV / écoconception type KEPI	- Capture de façon adéquate l'utilisation destructive ou non du déchet par les filières de traitement - Applicable à toutes les formes de traitement en fin de vie y compris aux boucles de recyclage ouvertes ou fermées - Compatible avec la prise en compte de la plus ou moins bonne séparabilité des matériaux	Applicable au cas spécifique de l'ACV de filières déchets, mais ne présente pas d'intérêt particulier pour des ACV produits : usage limité dans une optique d'écoconception de produits	- Si généralisable à d'autres indicateurs (ressources) : pourrait potentiellement s'appliquer à tous les matériaux - Accueil favorable par ONG et acteurs de la valorisation CSR - Change la perception des résultats pour chaque filière - Peu coûteuse à mettre en œuvre et facile à implémenter	- Ne change pas le positionnement relatif des filières entre elles : peu limiter son intérêt en comparatif - Exclus les matériaux inertes si le seul indicateur étudié est la consommation d'énergie primaire.
Groupe 2 : - Comparaison de biens ou de services spécifiques - Comparaison de produits spécifiques par rapport à la moyenne du groupe de produits	Idem Groupe 1	Plus pertinente dans une logique de comparaison des filières de traitement mais limitée car ne change pas la hiérarchie des filières entre elles (lorsqu'appliquée à la seule consommation d'énergie)	Idem Groupe 1	Idem Groupe 1
Groupe 6 : Politique publique : Prévision et analyse de l'impact environnemental de technologie dominante, stratégies pour les matières premières, etc. et les politiques de développement associées.	Idem Groupe 1	Idem Groupe 2	- Idem Groupe 1 - Méthode met en exergue la valeur résiduelle des déchets (en ligne avec l'esprit des directives européennes sur les déchets)	Idem Groupe 1
Groupe 8 : Déclaration environnementale institutionnelle ou de site, incluant les calculs des effets indirects d'un système de management environnemental (EMS)	Idem Groupe 1	Idem Groupe 1	Idem Groupe 1	Idem Groupe 1

Tableau 18 – Matrice FFOM de la méthode d'inclusion de la prévention dans les ACV de gestion des déchets

Groupe d'applications	F- Forces	F- Faiblesses	O- opportunités	M- Menaces
Groupe 1 : • Identification des indicateurs clés de la performance environnementale (KEPI) d'un groupe de produits pour l'écoconception / ACV simplifiée • Analyse des points faibles d'un produit spécifique • Ecoconception détaillée / conception pour le recyclage • Réalisation d'une étude ACV / écoconception type KEPI	• Permet d'étendre les frontières du système pour inclure les procédés en amont alors qu'ils sont habituellement exclus • S'agissant d'une méthode de calcul de l'inventaire, la publication n'identifie pas de catégories d'impact en particulier mais en utilise quelques-unes à titre d'exemple. Cependant, tous les aspects et impacts environnementaux peuvent considérés.	• Méthode assez complexe à mettre en œuvre : expertise ACV ET connaissance des technologies spécifiques requises • Incertitude assez élevée : dépend beaucoup de la qualité des données utilisées et des hypothèses réalisées (par exemple sur l'efficacité des actions de prévention), mais la méthode peut être utilisée comme complément d'information pour une meilleure prise de décision, conjointement avec d'autres méthodes.	• Le principe de la méthode est assez simple à comprendre et facilement communicable. • Mise en œuvre dans un logiciel ACV assez simple : le modèle est similaire à un modèle pour une ACV produit ou multi-produits.	• La reproductibilité de cette méthode est potentiellement faible car elle repose sur de nombreuses hypothèses (par exemple sur l'efficacité des actions de prévention). De plus, il n'y a pas d'information sur la sélection des données secondaires. Cela dépend donc du choix du praticien ou de l'expert. • Coût de mise en œuvre : assez important car nécessite plus de données que les études conventionnelles. Mais : coût comparable à celui des ACV produit, qui peut être assez élevé, si les flux de déchets en mélange demandent de modéliser un grand nombre de produits en amont.

Groupe d'applications	F- Forces	F- Faiblesses	O- opportunités	M- Menaces
				La méthode est assez complexe ; une expertise est requise. Afin d'être capable d'obtenir un résultat satisfaisant, ce n'est pas seulement une expertise ACV qui est requise mais aussi une connaissance des technologies spécifiques.
Groupe 2 : - Comparaison de biens ou de services spécifiques - Comparaison de produits spécifiques par rapport à la moyenne du groupe de produits	Idem groupe 1	Idem groupe 1	Idem groupe 1	Idem groupe 1
Groupe 6 : Politique publique : Prévision et analyse de l'impact environnemental de technologie dominante, stratégies pour les matières premières, etc. et les politiques de développement associées.	Idem groupe 1	Idem groupe 1	Idem groupe 1	- Idem groupe 1 - Méthode qui peut devenir assez subjective dans la mesure où sa mise en œuvre se fonde sur un certain nombre d'hypothèses (aussi lorsque la méthode est utilisée pour tester des hypothèses, par exemple avant qu'une autorité politique fasse un choix de politique de prévention des déchets, pour tester la ou les actions les plus appropriées dans un contexte national ou local).

Groupe d'applications	F- Forces	F- Faiblesses	O- opportunités	M- Menaces
Groupe 8 : Déclaration environnementale institutionnelle ou de site, incluant les calculs des effets indirects d'un système de management environnemental (EMS)	Idem groupe 1	Idem groupe 1	Idem groupe 1	Idem groupe 1

Tableau 19 – Matrice FFOM de la méthode « multi-input » et « multi-output »

Groupe d'applications	F- Forces	F- Faiblesses	O- opportunités	M- Menaces
Groupe 1 : • Identification des indicateurs clés de la performance environnementale (KEPI) d'un groupe de produits pour l'écoconception / ACV simplifiée • Analyse des points faibles d'un produit spécifique • Ecoconception détaillée / conception pour le recyclage • Réalisation d'une étude ACV / écoconception type KEPI	• Applicable à toutes les formes de traitement en fin de vie, à l'exception de la réutilisation, pour laquelle la méthode n'est implicitement pas adaptée, dans la mesure où la réutilisation (par exemple le nettoyage et remplissage d'une bouteille consignée) n'est pas une situation de fin de vie, et donc modélisée au sein de la phase d'utilisation • L'approche "multi-entrées" fournit des résultats facilement communicables	• Applicable au cas spécifique de l'ACV de filières déchets, mais ne présente pas d'intérêt particulier pour des ACV produits : usage limité dans une optique d'écoconception de produits • La méthode a un large champ d'application, mais est biaisée en raison du fait qu'elle ne tient compte que de l'exergie par unité d'impact net (impacts du traitement moins les impacts évités) et d'aucune autre propriété, ou de la demande du marché (notamment s'il y a ne serait-ce qu'un marché pour les biens secondaires produits). • La méthode suppose implicitement qu'un contenu exergétique des co-produits élevé est une bonne approximation de la qualité des co-produits issus du système de gestion des déchets, et utilise l'exergie comme unité fonctionnelle. Cependant, l'exergie n'est pas une unité fonctionnelle. L'approche « multi-sorties » ne permet pas de comparer correctement des combinaisons de différentes formes d'énergie, métaux et autres qui sont récupérés lors du procédé de gestion des déchets.	• La méthode ne nécessite pas une expertise particulière, comparativement aux méthodes traditionnelles. Toutefois, L'évaluation des exergies des co-produits nécessite de bien maîtriser ce concept • Implémentation facile : pas de difficulté particulière par rapport aux méthodes classiques d'évaluation de la gestion des déchets	• L'approche "multi-sorties" est complexe à appréhender, en raison de l'utilisation de la notion d'exergie, et fournit donc des résultats difficiles à expliquer et donc difficilement communicables (le caractère partiellement justifié de l'utilisation de l'exergie comme unité fonctionnelle rend les résultats de l'approche « multi-sorties » également difficilement communicables). • Plutôt peu coûteuse à mettre en œuvre, dans la mesure où la méthode se fonde largement sur les méthodes de modélisation et données utilisées classiquement, mis à part pour le calcul des données d'exergie à partir de la littérature.
Groupe 2 : • Comparaison de biens ou de services spécifiques	• Idem groupe 1	• Idem groupe 1	• Idem groupe 1	• Idem groupe 1

METHODES INNOVANTES D'EVALUATION DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES DECHETS

Groupe d'applications	F- Forces	F- Faiblesses	O- opportunités	M- Menaces
• Comparaison de produits spécifiques par rapport à la moyenne du groupe de produits				
Groupe 6 : Politique publique : Prévion et analyse de l'impact environnemental de technologie dominante, stratégies pour les matières premières, etc. et les politiques de développement associées.	• Idem groupe 1	• Idem groupe 1	• Idem groupe 1	• Idem groupe 1
Groupe 8 : Déclaration environnementale institutionnelle ou de site, incluant les calculs des effets indirects d'un système de management environnemental (EMS)	• Idem groupe 1	• Idem groupe 1	• Idem groupe 1	• Idem groupe 1

Tableau 20 – Matrice FFOM de la méthode de couplage MFA/ACV

Groupe d'applications	F- Forces	F- Faiblesses	O- opportunités	M- Menaces
Groupe 1 : - Identification des indicateurs clés de la performance environnementale (KEPI) d'un groupe de produits pour l'écoconception / ACV simplifiée - Analyse des points faibles d'un produit spécifique - Ecoconception détaillée / conception pour le recyclage - Réalisation d'une étude ACV / écoconception type KEPI	- Application particulièrement intéressante aux ACV de filières déchets, mais pourrait s'appliquer théoriquement à des ACV produits - Couplage MFA/ACV présenté comme un outil d'aide à la décision pour la gestion des déchets (permet d'étudier et d'évaluer différents scénarios de gestion des déchets étudiés et/ou d'analyser les points forts et les points faibles d'un scénario donné)	Les différents articles consultés n'ont pas permis de relever de particularité transversale qui distinguerait véritablement une étude ACV consacrée à la gestion des déchets et une étude couplant MFA et ACV	Dans l'application proposée dans [Van Eygen 2016] : intégration, via le volet MFA du couplage MFA/ACV, d'une analyse conduite à une échelle micro d'évaluation des performances des procédés de traitement	Dans l'application proposée dans [Van Eygen 2016] : le couplage MFA/LCA, lorsqu'il est conduit à une échelle d'analyse micro qui distingue le comportement de chacun des matériaux étudiés nécessite des données d'ICV plus fines que celles habituellement manipulées dans les ACV.
Groupe 2 : - Comparaison de biens ou de services spécifiques - Comparaison de produits spécifiques par rapport à la moyenne du groupe de produits	Idem groupe 1	Idem groupe 1	Idem groupe 1	Idem groupe 1
Groupe 6 : Politique publique : Prévision et analyse de l'impact environnemental de technologie dominante, stratégies pour les matières premières, etc. et les politiques de développement associées.	Dans l'application proposée dans [Sevi 2014a] : tentative d'intégrer des mécanismes de marché dans les évaluations environnementales, notamment pour déterminer si l'augmentation du taux de collecte d'un déchet donné, se traduit bien par une augmentation proportionnelle de son taux de recyclage et des bénéfices environnementaux liés à ce recyclage	Dans l'application proposée dans [Sevi 2014a] : intégration des mécanismes de marché reste relativement partielle car fondée sur des mécanismes qui auraient mérités un approfondissement beaucoup plus important : d'autres mécanismes de rééquilibrage (facteurs conditionnant les capacités intérieures de recyclage, concurrence entre pâte vierge et pâte recyclée...) auraient pu être explorés dans une analyse à plus long terme	Dans l'application proposée dans [Sevi 2014a], le volet MFA apparaît comme un point de départ intéressant pour permettre d'identifier les mécanismes de marché et surtout pour représenter l'effet de ces mécanismes sur la gestion des déchets	Idem groupe 1
Groupe 8 : Déclaration environnementale institutionnelle ou de site, incluant les calculs des effets indirects d'un système de management environnemental (EMS)	Idem groupes 1 et 6	Idem groupes 1 et 6	Idem groupe 6	Idem groupe 1

2.5.3. Perspectives

L'analyse des méthode et la mise en perspective des résultats des analyses ont permis de dégager les principaux axes d'amélioration suivants :

- Le besoin de **généraliser les concepts ou les principes** sur lesquels se basent les méthodes ;
- Le besoin de **lever certains biais méthodologiques** présents dans les méthodes afin d'en améliorer la robustesse ;
- Le besoin **d'améliorer l'opérationnalité des méthodes** afin d'en faciliter la mise en œuvre par les praticiens.

Le Tableau 21 ci-dessous résume les principaux axes d'amélioration des méthodes analysées ainsi que des pistes de réflexion permettant une amélioration des méthodes.

Tableau 21 – Synthèse des perspectives d'amélioration des méthodes et des pistes potentielles d'amélioration identifiées

Axe d'amélioration potentiel des méthodes	Méthode concernée	Point nécessitant une amélioration	Piste(s) de réflexion pour l'amélioration de la méthode (lorsqu'identifiée(s))
Besoin de généraliser les concepts/principes des méthodes	Comptabilisation de la valeur résiduelle du déchet	La méthode considère uniquement la valeur énergétique résiduelle du déchet et n'a pas été construite pour appréhender d'autres valeurs résiduelles du déchet, notamment au regard de la problématique générale des ressources intégrant les aspects énergétiques et minéraux.	Possible extension de la méthode à d'autres indicateurs ou enjeux environnementaux, en premier lieu desquels l'enjeu de consommation des ressources ➔ Ce point est traité plus loin dans le focus B
	Coupage MFA/ACV	L'application qui vise à intégrer des mécanismes de marché (étude [Sevi 2014a]) reste relativement partielle car fondée sur des mécanismes qui auraient mérités un approfondissement beaucoup plus important	D'autres mécanismes de rééquilibrage comme les facteurs conditionnant les capacités intérieures de recyclage, la concurrence entre pâte vierge et pâte recyclée... pourraient être explorés dans une analyse à plus long terme
Besoin de lever certains biais des méthodes	Méthode « Multi-input/multi-output »	L'intégration de l'exergie pour fournir une base commune de comparaison des différents scénarios de gestion des déchets tend à fausser les résultats fournis par l'approche classique « multi-entrées » : inclure l'exergie comme base de comparaison n'est pas vraiment adapté dans la mesure où l'exergie n'est pas une réelle unité fonctionnelle (par exemple, cela n'a guère de sens de combiner ou comparer des quantités de métaux récupérés et des quantités d'énergie récupérée)	La méthode pourrait être plus utile à la prise de décision avec l'utilisation de la valeur/du prix des sortants à la place de l'exergie comme flux de référence par défaut. A noter que l'on « retomberait » alors sur une méthode de type éco-efficacité comme il en existe déjà sous des formes similaires.

	« Circular Footprint Formula »	La valorisation énergétique reçoit un bénéfice de 100%, tandis que le recyclage des matériaux en boucle fermée reçoit un bénéfice maximum de 80% (même si 100% du matériau est recyclé). Les matériaux produits avec une forte proportion d'énergie secondaire sont également relativement favorisés (car l'apport d'énergie secondaire n'est pas modélisé avec un débit de production primaire, tel que réalisé pour le contenu en matériau recyclé, mais est défini sans dommage associé)	Remettre en cohérence l'approche mise en œuvre pour la valorisation matière et celle de la valorisation énergétique ➔ Ce point est abordé dans le Focus A
	« Circular Footprint Formula »	L'application du facteur A en parallèle de Q_s/Q_p peut être compris comme reflétant une logique conséquentielle ou comme exprimant une offre partiellement élastique des matériaux primaires et secondaires. Dans une perspective attributionnelle, ce facteur serait redondant à l'interprétation par défaut du facteur Q_s/Q_p qui est le ratio du prix du marché des matériaux primaires et secondaires, qui reflète également la situation du marché que le facteur A est censé représenter	Clarifier la cohérence entre le facteur A et le ratio Q_s/Q_p lorsque ce dernier est basé sur les prix du marché.
Besoin d'améliorer l'opérationnalité des méthodes	Approche intégrée	Lacune au niveau des règles de sélection de la meilleure grandeur pour quantifier les changements de qualité (bien que les auteurs fournissent quelques exemples de mesures possibles pour le facteur de correction de la qualité)	Fournir des recommandations par catégorie de matériau sur la grandeur à sélectionner pour calculer le ratio Q Fournir des valeurs par défaut pour les facteurs Q_s et Q_p , par matériau
	« Circular Footprint Formula »	Il semble que l'identification du facteur de correction de la qualité le plus approprié pour un matériau donné sera décidée au niveau de chaque PEFCR, ainsi la facilité d'obtention de la donnée spécifique n'est pas claire	Fournir des recommandations par catégorie de matériau sur la grandeur à sélectionner pour calculer le facteur de correction de la qualité, ainsi que des valeurs par défaut de facteur de correction de la qualité, par matériau (a priori fourni dans les versions finales approuvées des PEFCRs fin 2017)

3. Phase 2 - Sujets d'approfondissement

3.1. Sujet d'approfondissement A : Allocation multi-cycle de vie

3.1.1. Introduction

L'objectif de cette tâche est d'analyser les méthodes d'allocation des impacts du traitement des déchets et des procédés de valorisation (et plus généralement les procédés de production et de traitement des matériaux) ainsi que des bénéfices liés au recyclage et à la valorisation attribués à des cycles de vie de produits autres que ceux où ces procédés interviennent physiquement : on parle de méthodes d'allocations « multi-cycle de vie ».

Une telle allocation peut être réalisée sur le premier cycle de vie du matériau étudié (sa première utilisation après sa production comme matériau primaire), sur le cycle de vie suivant (c'est-à-dire le cycle de vie suivant le cycle de vie étudié) ou précédent pour le contenu en recyclé, la consommation d'énergie secondaire ou de composants réparés. Enfin, elle peut également être appliquée sur l'ensemble des cycles de vie des produits dans lesquels le matériau est utilisé avant d'être entièrement mis au rebut ou dispersé. Ainsi, nous distinguons les méthodes multi-cycles de vie qui allouent entre 2, 3 ou n cycles de vie.

De plus, afin de mieux refléter les différents objectifs de l'analyse, nous pouvons distinguer trois façons de considérer la fin de vie en ACV, à savoir l'approche matériau, l'approche produit (ou « ACV produit ») et l'approche traitement des déchets (ou « ACV déchet ») :

Approche matériau : ce type d'approche se concentre sur l'impact moyen d'un matériau tout au long de sa durée de vie. Les impacts sont ramenés par kg de matériau. Cette méthode couvre les approches de fin de vie qui considèrent uniquement les aspects liés aux matériaux (par exemple l'extraction, la production de matériau et les procédés de valorisation). La fabrication de produits et leurs spécificités, comme le taux de collecte et de recyclage, ne sont pas considérées dans cette approche, et la qualité du matériau se dégrade à un taux constant tout au long des différents cycles de vie des produits dans lesquels le matériau est utilisé. Les approches matériau peuvent avoir de 1 à (théoriquement) une infinité de cycles de vie, selon les matériaux spécifiques, du taux de recyclage et de la façon d'utiliser ces éléments dans le calcul¹³. Des exemples d'approches sont l'« approche purement attributionnelle » de l'ILCD Handbook [ILCD 2010], chapitre 14.4.1.2, et la Multi recycling approach (MRA) développée par l'Université technique de Berlin (TU Berlin).

Approche produit (ou « ACV produit ») : ce type d'approche tient compte des taux spécifiques aux produits pour recyclage et valorisation et considère 2 à 3 cycles de vie (cycles de vie de produits) : en plus du cycle de vie analysé, les cycles de vies précédent et/ou suivant. Les calculs se font par unité de produit analysé. Ce type d'approche pour la fin de vie considère non seulement l'extraction du matériau, sa production et les procédés de valorisation, mais également les taux de collecte, de recyclage, de valorisation et/ou de reconditionnement du produit analysé. En théorie, les différences dans la fabrication et potentiellement dans l'utilisation qui résultent de l'utilisation de contenu recyclé et d'énergie secondaire doivent être incluses dans le calcul (par exemple les impacts plus importants ou plus faibles du traitement du matériau secondaire en comparaison du traitement du matériau primaire). Les impacts liés à la production du produit et son étape d'utilisation ne sont néanmoins pas considérés comme faisant partie des approches de fin de vie. Des exemples d'approches produit sont la Circular Footprint Formula (CFF) développée par la Commission européenne, l'Integrated formula (IF) développée par Wolf et al. et l'approche hybride actuellement en discussion dans le cadre de la norme EN15084 sur les produits de construction (Leroy 2014-2016¹⁴) ; qui est une variation mathématique de l'approche IF.

Approche traitement des déchets (ou « ACV déchet ») : ce type d'approche se concentre sur les dommages et bénéfices liés aux procédés de traitement des déchets. L'unité de référence typique est la masse

¹³ Parfois, ces méthodes sont appliquées aux produits, en prenant l'hypothèse simplificatrice que les taux de recyclage, valorisation etc. du produit analysé sont également applicables à tous les futurs cycles de vie. Nous l'interprétons ici comme un scénario spécifique et hypothétique d'une approche matériau / multi-cycle de vie, plutôt qu'une approche clairement produit.

¹⁴ Leroy, C. (2014-2016): CENTC350 – Notes techniques sur le développement d'un module d'équation concernant l'acquisition, la réutilisation, recyclage, valorisation énergétique dans la EN15804. Non publié.

ou le volume des déchets qui entrent dans le système de gestion des déchets. Tandis que l'analyse peut être faite sur un seul flux de matériaux, les approches sont également faites pour appréhender des flux de déchets mixtes, qui sont potentiellement composés de centaines ou milliers de matériaux et de millions de produits (en se plaçant dans le cas d'une analyse moyenne à l'échelle nationale). Le focus de l'analyse derrière ces méthodes est le traitement des déchets en tant que tel, ces approches n'ont pas de logique multi-cycle de vie, et n'ont donc pas d'intérêt pour notre sujet d'approfondissement. Par conséquent, nous allons nous intéresser dans la suite uniquement aux approches « matériau » ou « produit ».

Clarification concernant le recyclage vs. l'entretien : Une distinction importante doit être faite entre ce qui semble uniquement être du recyclage, mais qui en réalité fait partie du cycle de vie habituel, et ce qu'est actuellement le recyclage. Par exemple, laver et re-remplir des bouteilles consignées, réutiliser des palettes et autres procédés similaires ne sont pas du recyclage, mais font partie de l'entretien d'un produit lors de son utilisation habituelle, tel que le produit a été conçu. Pour donner un exemple clair : utiliser un nouveau camion de transport de produits chimiques lors d'un deuxième voyage longue distance, après avoir refait le plein et nettoyé le container n'est pas un recyclage du camion, mais une utilisation continue conformément à la conception du camion, avec une maintenance habituelle et de l'entretien. Cela est applicable à n'importe quel produit conçu pour plusieurs utilisations (ou mieux, plusieurs cycles d'utilisations). Ces cas ne sont ainsi pas modélisés par une approche de fin de vie, simplement parce que le produit n'a pas atteint sa fin de vie. Seulement si le produit atteint effectivement sa fin de vie et est recyclé ou reconditionné, les approches de fin de vie sont applicables. Par exemple, si une palette est mise au rebut car ses propriétés se sont détériorées, ou des parties se sont cassées, et qu'elle est utilisée pour un autre usage (avec ou sans reconditionnement), est envoyée à l'incinération ou à l'enfouissement, les approches de fin de vie peuvent être appliquées.

3.1.2. Analyse des méthodes

Les méthodes suivantes ont été sélectionnées en vue d'une analyse, en se fondant sur le résultat de l'analyse approfondie réalisée en phase 1, de l'enquête réalisée et du caractère innovant des méthodes.

- Méthode de fin de vie « approche matériaux » :
 - L'approche multi-recyclage (**MRA**, multi-recycling approach), qui alloue sur « n » cycles de vies d'utilisations pendant « m » années ; les auteurs recommandent d'allouer sur une période de 100 ans.
- Méthode de fin de vie « approche produit » :
 - La Circular Footprint Formula (CFF), qui alloue sur 3 cycles de vie (actuel/analysé, précédent et suivant).

D'autres méthodes "approche produit" qui ont été considérées sont : la méthode de l'agence environnementale allemande UBA [Plinke et al. 2000 and Schonert et al. 2002], ainsi que la formule modulaire améliorée de l'Integrated Formula (mIF+) [Wolf&Wolf 2016], qui est une version avancée de l'Integrated Formula (IF). La méthode UBA existe depuis 14 ans et est moins développée que la mIF+ et la CFF, elle est donc moins novatrice et n'a pas donc été sélectionnée. La méthode mIF+ étant développée par les auteurs de cette étude, elle n'a pas été retenue pour l'analyse afin d'éviter de potentiels conflits d'intérêts.

Avant d'aborder l'analyse de comportement des méthodes et l'analyse SWOT des méthodes sélectionnées, le chapitre suivant étudie quelles sont les conséquences et les limites soulevées par l'utilisation d'allocations multi-cycles de vie en comparaison des approches sans allocation des impacts et/ou des bénéfices sur l'ensemble des cycles de vie (ou plusieurs cycles de vie) des systèmes de produits.

3.1.3. Allocation multi-cycle de vie – conséquences et limites

3.1.3.1. Introduction

Un grand nombre d'arguments ont déjà été mis en avant sur pourquoi il est plus approprié, pour la plupart des applications en ACV de, par exemple, partager les impacts et bénéfices du recyclage sur d'autres cycles de vie que celui qui est analysé, d'une manière qui diffère d'une simple délimitation des frontières du système (c'est-à-dire qui va au-delà de la simple définition de la frontière entre le cycle de vie analysé et le suivant). Toutefois, il doit être souligné que cela implique un ensemble de conséquences en terme d'interprétation et de communication, d'accès aux données, d'incertitudes et dans certains cas de robustesse théorique des résultats et des incitations que les méthodes entraînent. Tandis que les conséquences spécifiques et, par

exemple, les enjeux de communication sont typiquement spécifiques à l'approche de fin de vie choisie, il existe des aspects communs qui sont analysés ici.

3.1.3.2. Donner des bénéfices pour le recyclage des matériaux, la valorisation énergétique ou le reconditionnement des composants

Attribuer un bénéfice aux matériaux recyclés, à l'énergie valorisée, ou aux composants reconditionnés nécessite de compenser ce bénéfice par un débit en entrée au niveau du produit. Cela requiert des précautions particulières lors de la communication des résultats obtenus car l'impact environnemental alloué au contenu en recyclé est plus élevé qu'attendu.

Combiner le bénéfice et l'allocation sur plusieurs cycles de vie, comme cela est fait dans la Circular Footprint Formula avec des facteurs d'allocation différents de 1, implique de considérer des effets de marché et les élasticités-prix, ce qui rend ces approches de plus en plus conséquentes, tandis qu'actuellement, les échanges au sein des initiatives gouvernementales ou d'entreprise principales, incluant le PEF/OEF, sont explicitement en faveur d'une modélisation uniquement attributionnelle. Allouer des bénéfices sur la base des évitements de production de matière vierge peut aboutir à l'obtention d'impacts environnementaux globalement négatifs (par exemple si l'on défalque le mix réseau pour de l'électricité produite à partir de la combustion de déchets en bois), ce qui nécessite également de prendre des précautions lors de la communication des résultats de l'étude.

3.1.3.3. Allouer les impacts réels ou évités de l'enfouissement sur plusieurs cycles de vie

Allouer les impacts de l'enfouissement (ou les impacts évités de l'enfouissement grâce au recyclage) sur plusieurs cycles de vie entraîne des enjeux de communication avec le grand public mais aussi avec les experts. Si un produit est recyclé à 100% (par exemple un profilé U en acier de construction) l'approche 50/50 initiale du PEF (EC, 2013), pour citer un exemple, modélisera quand même 50% de cet acier allant en enfouissement. Du fait qu'il n'y a pas d'enfouissement d'un point de vue physique, les enjeux de communication étaient tels que cela a abouti à son rejet par la plupart des experts et non-experts.

De plus, allouer les impacts sur plusieurs cycles de vie signifie que le fabricant du produit qui génère l'impact (par exemple via une conception qui aboutit à un produit non-recyclable) n'a pas à porter tous les impacts associés, et le fabricant d'un produit, qui lui, peut tout à fait être recyclable, doit porter cet impact.

On peut conclure de ces quelques exemples que ce type d'allocation peut donner lieu à une aide à la décision incohérente, et/ou une violation du principe de pollueur-payeur. Pour éviter de tels problèmes, il est nécessaire de s'assurer que les impacts et les bénéfices liés à des décisions au niveau produit (en particulier le contenu en recyclé, le taux de recyclage, le taux de valorisation spécifiques à un produit) sont intégrés de façon appropriée et proportionnée lors de l'allocation sur plusieurs cycles de vie.

3.1.3.4. Approches matériau, c'est à dire au-delà des cycles de vie précédent et suivant

Les approches matériau ne peuvent pas considérer les spécificités produit ou de la conception tels que la recyclabilité/séparabilité, la prévention des déchets, les techniques de recyclage/valorisation particulières, etc. qui sont spécifiques aux produits et dépendent de la présence d'autres matériaux.

Ces méthodes ne considèrent pas non plus le downcycling spécifique à tel ou tel produit, mais le downcycling moyen du matériau (sur l'ensemble des cycles de vie produit dans lequel le matériau est utilisé).

Pour un grand nombre de cycles de vie produit (et pour des produits avec une durée de vie plus longue – voir également ci-dessous), l'incertitude liées aux futures utilisations, l'augmentation des taux des technologies de recyclage et autres, peut rendre l'analyse spéculative.

Pour les mêmes raisons, les approches matériau peuvent difficilement être utilisées pour des politiques publiques fiables, y compris les politiques publiques concernant les matériaux, car les forces et les faiblesses spécifiques à un matériau entrent en jeu dans des contextes d'utilisation produit spécifiques : un matériau peut être très approprié pour un type de produit (par ex. le cadmium dans les panneaux solaires CdTe), mais pas dans d'autres (par ex. le cadmium en pigment dans les peintures). Le même raisonnement est applicable pour

des matériaux dont la production est énergivore, tels que l'aluminium ou le titane, qui pourraient être visés par des politiques publiques fondées uniquement sur les résultats de ces approches matériau (qui ne considéreraient pas les spécificités de l'utilisation de ces matériaux dans les produits, comme par exemple le gain en phase d'usage dû à une masse plus faible du matériau) qui viseraient à réduire la consommation d'énergie. En effet, ces matériaux ont des qualités spécifiques pour certaines applications, par exemple dans le cas de l'aluminium et du titane qui sont légers, résistants à la corrosion et qui ont d'autres caractéristiques aboutissant dans l'ensemble à une meilleure performance environnementale des produits à l'échelle du cycle de vie, si l'on prend soin de considérer toutes les étapes du cycle de vie.

Au final les études visant à considérer les cycles de vie précédents sont confrontées à des problèmes de disponibilité des données, et nécessitent des hypothèses supplémentaires.

3.1.3.5. Produits à durée de vie longue

Pour des produits à plus longue durée de vie, les incertitudes liées aux utilisations futures, aux technologies de recyclage disponibles dans le futur (et leur système d'approvisionnement en énergie, etc.), aux taux de recyclage propres aux produits ou moyennés pour un matériau, dans des dizaines voire des centaines d'années, augmentent substantiellement.

De plus, lorsqu'un grand nombre de boucles est considéré, l'ensemble des résultats et l'analyse elle-même pourrait être considérés comme spéculatifs.

3.1.4. Approche multi-recyclage (MRA)

3.1.4.1. Champ d'application

Une description détaillée de la méthode est fournie dans la fiche dédiée à cette méthode, section 2.3 page 13. La méthode s'applique à un niveau matériaux. Comme cela est décrit dans la fiche dédiée à la méthode, cette méthode suppose explicitement que la qualité du matériau n'est pas détériorée au cours des différents cycles de vie du produit, ce qui limite son utilisation à une liste limitée de matériaux (par exemple les métaux et les verres), bien qu'en pratique on puisse être en downcycling pour ces matériaux, c'est-à-dire qu'il y a une perte de qualité entre l'utilisation avant et l'utilisation après recyclage (particulièrement dans le cas des éléments d'alliage / impuretés dans les métaux, et des céramiques réfractaires dans le verre). Cette méthode s'applique au cas des boucles de recyclage fermées et au cas des boucles ouvertes (c'est-à-dire lorsque le matériau recyclé est réutilisé dans un autre système de produit mais qu'il remplace néanmoins le même matériau primaire).

3.1.4.1. Analyse des Forces, Faiblesses, Opportunités et Menaces de la MRA

3.1.4.1.1. Aspects considérés

L'analyse des Forces, Faiblesse, Opportunités et Menaces (FFOM) de la méthode a été menée en considérant les aspects dont les principaux sont décrits dans le tableau suivant. A noter que certains thèmes sont similaires à ceux de l'analyse RACER proposée dans les fiches méthodes.

Tableau 22 - Evaluation des aspects pour l'analyse FFOM

Aspects internes	Aspects externes
Usage potentiel en innovation	Acceptabilité par les parties prenantes
Applicabilité pour l'application	Facilité d'implémentation par les praticiens
Lacunes dues à l'approche de calcul	Conflit potentiel avec la législation Européenne
Biais potentiels entre les matériaux concurrents	Communicable facilement aux experts/consommateurs
Plausibilité des résultats	Autres
Pertinence de l'aide à la prise de décisions spécifiques	
Enjeux techniques de la méthode	
Autres	

3.1.4.1.2. Résultats

L'analyse FFOM a été faite successivement pour l'approche elle-même et par type d'application retenu par SCORELCA comme d'intérêt parmi les différents types d'applications définis dans l'ILCD Handbook. Pour l'approche générale, les résultats du FFOM sont présentés dans le tableau ci-dessous. Chaque élément est numéroté pour être utilisé dans le tableau de présentation de l'analyse par groupe d'application (Tableau 24 page 156).

Tableau 23 – Analyse FFOM de l'approche multi-recyclage, niveau global

F- Forces	F- Faiblesses	O- Opportunités	M - Menaces
S1 : Très facile à mettre en œuvre par les praticiens, lorsque les paramètres clefs sont disponibles	W1 : Outil d'aide à la décision contestable en particulier en écoconception dans la mesure où la méthode ne permet pas de capturer les améliorations apportées sur une application spécifique (amélioration de la recyclabilité du produit par exemple).	O1 : Forte appétence pour les méthodes simples à mettre en œuvre	T1 : Conflit potentiel avec la législation Européenne dans la mesure où : • La méthode ne permet pas de refléter les résultats d'une amélioration sur une application spécifique • La méthode ne considère qu'un seul type de valorisation en fin de vie, i.e. le recyclage, et ne permet pas de tenir compte de la valorisation énergétique ou de la réutilisation.
S2 : Pas de lacunes liées à l'approche calculatoire.	W2 : Nombreux enjeux techniques : • Quantification complexe du nombre de cycles (issu de la durée de vie moyenne estimée des produits) et des pertes par cycle, et davantage lorsque cette approche est appliquée dans des situations de boucles ouvertes. • Les incertitudes sont élevées, car les hypothèses principales doivent être faites sur la durée de vie moyenne, le taux de recyclage, les procédés de recyclage et leur efficacité etc. des futurs produits qui seront présents dans les 100 années à venir.	O2 : Communication facile, étant donné que la méthode est simple et peut donc être attrayante pour un public non-expert. Ceci peut être accentué par la vulgarisation actuelle du concept d'EC.	T2 : L'augmentation des taux de collecte et de recyclage de plusieurs catégories de produits est au cœur de la feuille de route Economie Circulaire ; c'est également un enjeu essentiel de la politique européenne. La méthode ne permet pas de rendre compte des améliorations qui seraient apportées à un produit, une catégorie de produits du fait de l'amélioration de sa recyclabilité ou de l'augmentation de son taux de recyclage.
			T3: Les performances environnementales constituant un enjeu en termes d'image des produits/des entreprises/des marques, les parties prenantes (dont les concurrents) attendent des méthodes exemptes de biais. La MRA ne semble pas pouvoir le garantir (mode de détermination des facteurs clefs, prise en compte de l'incinération/décharge pour le plastique seulement...). Par conséquent, opposition potentielle des parties prenantes
			T4 : Pas applicable pour les comparaisons entre matériaux concurrents sans considérer la phase d'utilisation du produit. Autrement dit il existe un biais potentiel car les matériaux qui aboutissent à une meilleure

F- Forces	F- Faiblesses	O- Opportunités	M - Menaces
			performance environnementale dans plusieurs applications de par une meilleure qualité d'usage (matériau plus léger par exemple) ou d'autres aspects liés à l'utilisation peuvent paraître moins performants que d'autres matériaux s'ils sont comparés seulement du point de vue « matériau » (optique retenue par la MRA). Cette utilisation abusive de la méthode et de ses résultats est un risque.

Le tableau 4 présente les résultats par (groupe de) application telles que définies dans l'ILCD handbook [ILCD2010]. Les forces, faiblesses, opportunités et menaces numérotées (S1, W1 etc.) sont celles identifiées dans le tableau ci-dessus. Des commentaires supplémentaires sont ajoutés afin de mettre en avant certains aspects pertinents pour certains groupes d'application.

Tableau 24 - Analyse FFOM de l'approche multi-recyclage (MRA) par (groupe de) application, voir la numérotation des éléments dans le tableau 12, ainsi que les commentaires additionnels. Compilation des applications de l'ILCD Handbook 2010 [EC, 2010] rassemblées en groupe d'applications ayant les mêmes prérequis en termes de modélisation de la gestion en fin de vie

Groupe	Application	F- Forces	F- Faiblesses	O- Opportunités	M- Menaces
1	• Identification des Indicateurs clés de performance environnementale (KEPI) d'un groupe de produits pour l'écoconception / ACV simplifiée • Analyse des points faibles d'un produit spécifique • Ecoconception/ conception pour le recyclage détaillée • Réalisation d'une étude ACV / étude d'écoconception type KEPI	• S1, S2	• W1 • Commentaire supplémentaire : pas adaptée notamment en matière d'éco-conception dans la mesure où toutes les actions concernant l'amélioration de la gestion en fin de vie d'un produit ne pourront pas être reflétées par la méthode	• O1, O2	T1, T2, T3 • Commentaire supplémentaire : Plusieurs hypothèses-clés doivent être faites pour calculer les résultats. • Commentaire supplémentaire : La méthode n'est pas applicable pour les comparaisons ➔ La méthode est susceptible d'entraîner l'opposition des parties prenantes.
2	• Comparaison de biens particuliers ou de services	• S1, S2	• W1, W2 • Commentaire supplémentaire : pas adaptée pour cette application, car l'application se situe à un niveau produit sauf s'il	• O1, O2	T3, T4 • Commentaire supplémentaire : Plusieurs hypothèses-clés doivent être faites pour calculer les résultats.

METHODES INNOVANTES D'EVALUATION DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES DECHETS

Groupe	Application	F- Forces	F- Faiblesses	O- Opportunités	M- Menaces
	•Benchmark de produits spécifiques par rapport à la moyenne du groupe de produits		y a un programme spécifique pour appuyer la stratégie d'utilisation de matériaux.		•Commentaire supplémentaire : La méthode n'est pas applicable pour les comparaisons ➔ La méthode est susceptible d'entraîner l'opposition des parties prenantes
3	•Achats durables (yc GPP)	•S1, S2	•W1, W2 •Commentaire supplémentaire : pas adaptée à cette application qui se situe à un niveau produit, à moins qu'il existe un nouveau programme spécifique pour appuyer une stratégie d'utilisation de matériaux.	•O1, O2	T3, T4 •Commentaire supplémentaire : La méthode n'est pas applicable pour les comparaisons ➔ La méthode est susceptible d'entraîner l'opposition des parties prenantes
4	•Développement de règles de catégories de produits (PCR) ou un guide similaire spécifique à un groupe de produits	•S1, S2	•W1, W2	•O1, O2	•T3, T4
5	•Développement d'une déclaration environnementale Type III pour un produit particulier •Développement de « l'empreinte carbone », et « consommation d'énergie primaire » ou un autre indicateur similaire pour un produit particulier.	•S1, S2	•W1, W2	•O1, O2	•T3, T4
6	•Politique de développement : Prévision et analyse de l'impact environnemental de technologie dominante, stratégies pour les matières premières, etc. et les politiques de développement associées.	S1, S2	•W1, W2	•O1, O2	•T3, T4
7	•Surveillance des impacts environnementaux d'une nation, d'un secteur d'industrie, groupe de produit, ou produit	•S1, S2	•W1, W2 •Commentaire supplémentaire : Pas adaptée en ce qui concerne le produit ou le niveau national Méthode potentiellement	•O1, O2	•T3, T4

METHODES INNOVANTES D'EVALUATION DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES DECHETS

Groupe	Application	F- Forces	F- Faiblesses	O- Opportunités	M- Menaces
			adaptée pour l'identification des points forts/points faibles d'un secteur « pool matériau ». Dans ce cas l'intérêt de la méthode réside surtout dans la construction, l'analyse et le suivi dans le temps des paramètres clefs ML et PL.		
8	•Déclaration environnementale institutionnelle ou de site, incluant les calculs des effets indirect d'un système de management environnemental.	•S1, S2	•W1, W2 •Commentaire supplémentaire : Pas adaptée car ne concerne pas le niveau entreprise ou site.	•O1, O2	•T3, T4
9	•Développement d'une unité de procédé générique moyenne spécifique aux procédés, ou des résultats de base de données ICV pour une utilisation dans des types spécifiques d'applications ACV.	•S1, S2 •Commentaire supplémentaire : Applicable/ adaptée pour cette application, en fonction de l'objectif de l'application	•W1, W2 •Commentaire supplémentaire : Les jeux de données ainsi développés sont susceptibles de ne pas être utilisables pour d'autres applications.	•O1, O2	•T3, T4

3.1.5. La Circular Footprint Formula (CFF)

3.1.5.1. Présentation

La méthode a été développée par le Joint Research Centre de la Commission Européenne. C'est une « approche produit », mais le calcul est défini par matériau, c'est à dire que les calculs sont réalisés pour tous les matériaux d'un produit et doivent être sommés pour obtenir la masse totale du produit en fin de vie ou du déchet considéré.

Une description détaillée de la méthode est disponible dans la fiche n°7 (voir section 2.3).

3.1.5.2. Exemple de calculs pour différents matériaux et comportement de la formule lors de la variation de certains paramètres

Les résultats sont ici calculés pour trois catégories d'impacts de quatre matériaux : l'acier inoxydable, l'aluminium, le polypropylène et le verre, tels que présenté dans le Tableau 25 et la Figure 11.

Les ICV utilisés pour le modèle est le même que l'ensemble utilisé pour les calculs de MRA. Les ICV additionnels sont les suivants :

- Polypropylene granulate mix DE
- Waste incineration (municipal waste) DE

Les hypothèses sur le contenu en recyclé, le taux de recyclage, le taux de valorisation énergétique et d'enfouissement sous indiquées dans le Tableau 26. Le ratio Qs/Qp des quatre matériaux est supposé égal à 1. Le facteur A est fixé par les développeurs de la méthode à 0,2 pour l'acier inoxydable, l'aluminium et le verre, et 0,5 pour le polypropylène et le facteur B est de 0 pour toutes les formes de valorisation énergétique et tous les types de matériaux.

Tableau 25 - Paramètres R1, R2, R3 et taux d'enfouissement utilisé dans les exemples de calculs

Matériau	R1	R2	R3	Taux d'enfouissement
Acier inoxydable	0.6 ¹⁵	0.95 ¹⁶	0	0.05
Polypropylène	0.05 ¹⁵	0	0.05 ¹⁷	0.95 ¹⁸
Aluminium	0.3 ¹⁹	0.9 ²⁰	0	0.1
Verre	0.2 ¹⁶	0	0.05 ²¹	0.95

¹⁵ Steel Recycling Institute (2012) Steel takes LEED® with recycled content modern steel production technologies. www.recycle-steel.org

¹⁶ Glass for Europe (2012) Europe's flat glass industry in a competitive low carbon economy

¹⁷ PlasticsEurope (2015) ISSUU—plastics—the facts 2014/2015 by PlasticsEurope. 1–34

¹⁸ Velis CA (2014) Global recycling markets—plastic waste: a story for one player—China. Rapport prepare par FUELogy and mis en forme par Dwayne pour l'International Solid Waste Association—Globalisation and Waste Management Task Force

¹⁹ Buxmann K, Furrer P, Gerber J, et al. (2006) Aluminium recycling in Europe. In: Eur. Alum. Assoc

²⁰ Taux de recyclage moyen http://www.world-aluminium.org/media/filer_public/2013/01/15/f10000181.pdf

²¹ Ardente F, Wolf M (2011) Integration of resource efficiency and waste management criteria in the implementing measures under the ecodesign directive. Final Exec Summ. doi:10.2788/72577

Tableau 26- Résultats pour les quatre matériaux en utilisant l'équation CFF

Impacts du matériau	Primaire	Secondaire		Valorisation en fin de vie		Enfouisse- ment	TOTAL
		Procédé de recyclage	Évitement primaire	Recyclage matière	Valorisation énergétique		
Acier inoxydable							
Acidification, accumulated exceedance [Mole de H+ eq.]	1.32E-02	2.21E-03	1.41E-02	-2.23E-02	0.00E+00	3.14E-06	7.21E-03
IPCC réchauffement climatique, incluant carbone biogénique [kg CO2-Equiv.]	1.96E+00	9.30E-01	1.61E+00	-2.55E+00	0.00E+00	5.10E-04	1.95E+00
Epuisement des ressources, fossiles et minérales. CML2002 [kg Sb-Equiv.]	2.68E-05	1.70E-05	1.85E-05	-2.93E-05	0.00E+00	1.47E-10	3.30E-05
Polypropylène							
Acidification, accumulated exceedance [Mole de H+ eq.]	3.91E-03	0.00E+00	2.06E-05	0.00E+00	-3.62E-04	1.04E-03	4.61E-03
IPCC réchauffement climatique, incluant carbone biogénique [kg CO2-Equiv.]	1.64E+00	0.00E+00	8.65E-03	0.00E+00	-1.09E-01	8.93E-01	2.43E+00
Epuisement des ressources, fossiles et minérales. CML2002 [kg Sb-Equiv.]	1.16E-06	0.00E+00	6.10E-09	0.00E+00	-3.03E-07	1.04E-07	9.67E-07
Aluminium							
Acidification, accumulated exceedance [Mole de H+ eq.]	3.27E-02	1.99E-04	1.10E-02	-3.31E-02	0.00E+00	1.09E-05	1.08E-02
IPCC réchauffement climatique, incluant carbone biogénique [kg CO2-Equiv.]	6.35E+00	1.27E-01	2.08E+00	-6.23E+00	0.00E+00	1.35E-03	2.33E+00
Epuisement des ressources, fossiles et minérales. CML2002 [kg Sb-Equiv.]	8.82E-05	6.36E-07	2.97E-05	-8.92E-05	0.00E+00	5.27E-10	2.93E-05
Verre							
Acidification, accumulated exceedance [Mole de H+ eq.]	9.44E-03	1.29E-03	8.56E-04	0.00E+00	2.34E-05	1.04E-03	1.26E-02
IPCC réchauffement climatique, incluant carbone biogénique [kg CO2-Equiv.]	9.12E-01	2.26E-01	1.60E-03	0.00E+00	4.03E-02	8.93E-01	2.07E+00
Epuisement des ressources, fossiles et minérales. CML2002 [kg Sb-Equiv.]	1.21E-06	3.72E-07	-5.65E-08	0.00E+00	-5.15E-08	1.04E-07	1.58E-06

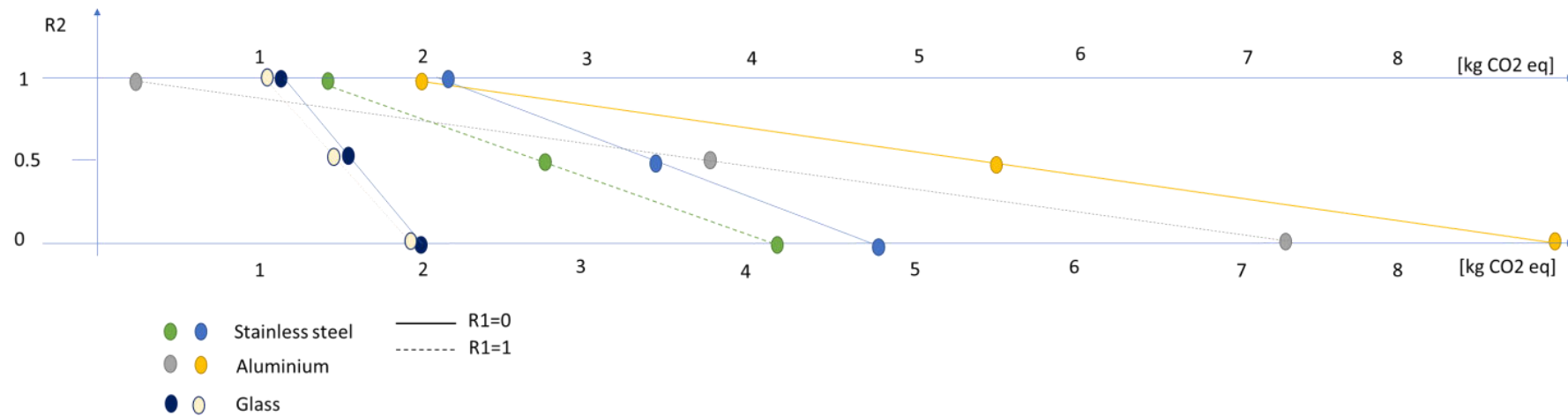


Figure 11 - Comportement de la formule appliquée aux quatre matériaux pour des résultats de changement climatique en kg éq. CO2 (axe des abscisses) ; calculé pour R1=0 (lignes continues), pour R1=1 (ligne en pointillé) et en faisant varier R2 entre 0 et 1 (axe des ordonnées)

3.1.5.3. Analyse des Forces, Faiblesses, Opportunités et Menaces de la CFF

3.1.5.3.1. Aspects considérés

Comme pour la MRA, l'analyse des Forces, Faiblesse, Opportunités et Menaces (FFOM) de la méthode a été menée en considérant les aspects dont les principaux sont décrits au Tableau 22 page 154.

3.1.5.3.2. Résultats

L'analyse FFOM a été faite successivement pour l'approche elle-même et par type d'application retenu par SCORELCA comme d'intérêt parmi les différents types d'applications définis dans l'ILCD Handbook. Pour l'approche générale, les résultats du FFOM sont présentés dans le Tableau 27.

Chaque élément est numéroté pour être utilisé dans le tableau de présentation de l'analyse par groupe d'application (Tableau 28).

Tableau 27 - Analyse FFOM de la Circular Footprint Formula (CFF) au niveau global

F- Forces	F- Faiblesses	O- Opportunités	M- Menaces
S1: Applicable/adaptée pour toutes les applications définies dans les situations de l'ILCD Handbook A, C1 et partiellement B.	W1: Biais potentiel entre matériaux concurrents, car : • La formule favorise l'utilisation de contenu en recyclé par rapport au recyclage, • La valorisation énergétique reçoit un bénéfice de 100%, tandis que le recyclage des matériaux en boucle fermée reçoit un bénéfice maximum de 80% (même si 100% du matériau est recyclé). Les matériaux produits avec une forte proportion d'énergie secondaire sont également relativement favorisés (car l'apport d'énergie secondaire n'est pas modélisé avec un débit de production primaire, tel que réalisé pour le contenu en matériau recyclé, mais est défini sans dommage associé)	O1: Assez facile à implémenter par les praticiens, similaire à d'autres approches de fin de vie. A noter que la méthode réfère toujours à un seul matériau et donc pour des produits multi-matière, la formule doit être appliquée séparément pour chaque matériau contenu dans le produit (cela est typiquement le cas pour les autres méthodes de fin de vie).	T1: Acceptabilité par les parties prenantes : d'après les caractéristiques propres à la formule, une opposition pourrait être attendue de la part de plusieurs parties prenantes, les ONG environnementales et les fédérations des producteurs de matériaux qui ne peuvent pas être incinérés en fin de vie mais en concurrence avec des matériaux pouvant l'être, dû au fait que la CFF favorise la valorisation énergétique par rapport au recyclage (via le bénéfice de 100% donné à la valorisation énergétique (facteur B=0) et un maximum de 80% pour le recyclage du matériaux (facteur A ≥ 0.2)). De plus, les ONG environnementales pourraient s'opposer au fait qu'il y a une lacune dans les frontières du système, correspondant au fait de ne pas avoir de débit correspondant aux bénéfices de la valorisation énergétique liées à l'incinération des déchets. Cela amène donc à une non prise en compte de toutes les émissions des cycles de vies connectés. On pourrait également s'attendre à ce que les fédérations des producteurs de métal, de verre et d'autres matériaux avec un recyclage de haute qualité, reprochent à la méthode de donner seulement 80% de bénéfice au recyclage, même si 100% du matériau est recyclé.
S2: Support de la Commission Européenne	W2: Biais potentiel entre matériaux concurrents et traitements de fin de vie concurrents (les impacts liés à la valorisation énergétique étant biaisés, et donc systématiquement plus faibles par rapport au recyclage du matériau)	O2: L'accès aux données nécessaires pour la Circular Footprint Formula (CFF) peut être considéré comme bon, plus particulièrement si les valeurs des paramètres sont données sous forme tabulaire. Les conditions spécifiques aux PEFCRs pour définir Qs et Qp peuvent néanmoins nécessiter des efforts supplémentaires pour déterminer ces paramètres.	T2: Conflit potentiel avec la législation européenne : la méthode pourrait être interprétée comme étant en contradiction avec la hiérarchie des déchets, en raison du biais concernant la valorisation énergétique par rapport au recyclage du matériau (100% de crédit pour l'énergie contre 80% de crédit pour une boucle de recyclage fermée d'un matériau). La hiérarchie des déchets autorise des

F- Forces	F- Faiblesses	O- Opportunités	M- Menaces
			écarts si cela est justifié, mais l'écart est ici un choix de valeur, manquant de justification.
S3: Différencie par (sous)type de matériau considère le downcycling et tient compte du contenu recyclé et du recyclage.	W3: Plausibilité des résultats : • Considérant la lacune concernant les frontières du système pour l'utilisation d'énergie secondaire, théoriquement, dans certains cas les systèmes de produits pourraient avoir des impacts totaux négatifs. • De plus, les produits 100% recyclés sans dégradation de leur qualité obtiennent seulement 80% des bénéfices au recyclage, ce qui peut être questionné dans une logique attributionnelle.	O3: Coût de l'application : • L'acquisition de facteurs de correction de qualité ne semble pas ajouter de coûts si la nature du facteur est connue. • La formule CFF semble être d'une complexité et donc d'un coût de mise en œuvre similaire (légèrement plus élevé) aux autres approches de fin de vie ; cela étant il est noté que dû au besoin de toujours modéliser à la fois le recyclage pour le contenu en recyclé et le recyclage du produit en fin de vie, la méthode est plus complexe que d'autres formules qui considèrent seulement un des côtés.	T3: La communication à des non-experts n'est pas facile car la méthode ne repose pas sur un seul concept mais sur une combinaison de plusieurs concepts sur les différentes parties de la formule, avec certaines parties divergentes (par exemple, pour simplification). Ce peut être de nature à diminuer l'acceptabilité de la méthode.
	W4: Défis techniques de la méthode : • La CFF ne considère pas explicitement l'effet de l'utilisation de contenu en recyclé sur la fabrication (par exemple la modification de consommation d'énergie et d'émission de CO2 pour le verre vierge par rapport à la fonte du calcin, changement des temps de procédé pour le moulage par injection et donc de la consommation électrique, etc.). Dans les exemples de calculs pour le verre, cet effet a été considéré, mais en déviation de la formule, et grâce à des bases de données d'ICV spécifiques qui ont été utilisées (c'est-à-dire qu'au lieu d'utiliser correctement les ingrédients primaires du verre, pour créditer et débiter un deuxième calcin, parce que le point de substitution est à l'entrée du four tel que défini par la CFF, on considère le		T4: Autres conflits potentiels avec la norme EN 15804 (le principe pollueur-payeur)

METHODES INNOVANTES D'EVALUATION DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES DECHETS

F- Forces	F- Faiblesses	O- Opportunités	M- Menaces
	verre primaire déjà produit, après le four). • La nécessité d'interpréter le point de substitution peut amener à une reproductibilité limitée pour cet élément. • Il semble que l'identification du facteur de correction de la qualité le plus approprié pour un matériau donné sera décidée au niveau de chaque PEFCR, ainsi la facilité d'obtention de la donnée spécifique n'est pas claire.		
	W5: Ecart lié à l'approche de calcul : l'utilisation d'une énergie secondaire n'est pas traitée (pour des raisons de simplification) ce qui limite l'applicabilité/justesse des résultats dans les cas d'une forte utilisation d'énergie secondaire. Certains produits pourraient avoir un impact environnemental global négatif, dans ce cas plus de production amène une amélioration de l'environnement, ce qui est difficilement justifiable.		

Le Tableau 28 présente les résultats par groupe d'applications telles que définies dans l'ILCD handbook [ILCD 2010]. Les forces, faiblesse, opportunités et menaces numérotées (S1, W1 etc.) sont celles identifiées dans le tableau précédent. Des commentaires supplémentaires sont ajoutés afin de mettre en avant certains aspects pertinents pour ce groupe d'applications.

Tableau 28 - Analyse FFOM de la circular footprint formula (CFF) par (groupe de) application, voir la numérotation des éléments dans la table 16, avec les commentaires additionnels. Une compilation des applications du ILCD Handbook [ILCD2010] groupées par applications déterminées comme ayant les mêmes conditions de modélisation de fin de vie et de formule

Groupe	Applications	F- Forces	F- Faiblesses	O- Opportunités	M- Menaces
1	• Identification des indicateurs clés de la performance environnementale (KEPI) d'un groupe de produits pour l'écoconception / ACV simplifiée • Analyse des points faibles d'un produit spécifique • Ecoconception détaillée / conception pour le recyclage • Réalisation d'une étude ACV / écoconception type KEPI	•S1, S2, S3	•W1, W2, W3, W4, W5	•O1, O2, O3	•T1, T2, T3, T4 •Commentaire supplémentaire : La lacune au niveau des frontières du système pourrait entraîner quelques biais dans l'analyse des points faibles ou l'identification d'options d'amélioration dans le cas de produits utilisant une large part d'énergie secondaire. •Commentaire supplémentaire : T4 applicable uniquement aux produits de construction.
2	• Comparaison de biens ou de services spécifiques • Comparaison de produits spécifiques par rapport à la moyenne du groupe de produits	•S1, S2, S3	•W1, W2, W3, W4, W5	•O1, O2, O3	•T1, T2, T3, T4 •Commentaire supplémentaire : le résultat est moins pertinent lorsque cette approche est utilisée avec des matériaux/produits avec un input d'énergie secondaire significatif. Par conséquent, plus d'attention doit être portée sur la comparaison des résultats ainsi que sur l'interprétation. •Commentaire supplémentaire : T4 applicable uniquement aux produits de construction.
3	• Achats durables publics ou privés (Green Public or Private Procurement, GPP)	•S1, S2, S3	•W1, W2, W3, W4, W5	•O1, O2, O3 •Commentaire supplémentaire : assure l'uniformité entre les moyens d'action car la CFF est utilisée dans le PEF	•T1, T2, T3, T4 •Commentaire supplémentaire : Les impacts globaux peuvent être soit sous- soit sur-estimés. •Commentaire supplémentaire : T4 applicable uniquement aux produits de construction.
4	• Développement de règles de catégories de produits (PCR) ou	•S1, S2, S3	•W1, W2, W3, W4, W5	•O1, O2, O3	•T1, T2, T3, T4

METHODES INNOVANTES D'EVALUATION DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES DECHETS

Groupe	Applications	F- Forces	F- Faiblesses	O- Opportunités	M- Menaces
	un guide similaire spécifique à un groupe de produits			•Commentaire supplémentaire : permet l'harmonisation des PEFCRs dans le cadre du PEF. •Commentaire supplémentaire : adapté pour les produits avec peu ou pas de valorisation énergétique et d'utilisation de combustibles secondaires	•Commentaire supplémentaire : T4 applicable uniquement aux produits de construction.
5	•Développement de déclaration environnementale de Type III pour un bien ou un service spécifique •Développement de « l'empreinte carbone », et de la « consommation d'énergie primaire » ou d'un autre indicateur similaire pour un produit spécifique	•S1, S2, S3	•W1, W2, W3, W4, W5	•O1, O2, O3 •Commentaire supplémentaire : permet l'harmonisation des programmes d'étiquetage des produits.	•T1, T2, T3, T4 •Commentaire supplémentaire : T4 applicable uniquement aux produits de construction.
6	•Politique publique : Prévision et analyse de l'impact environnemental de technologie dominante, stratégies pour les matières premières, etc. et les politiques de développement associées.	•S1, S2, S3	•W1, W2, W3, W4, W5	•O1, O2, O3 •Commentaire supplémentaire : permet l'harmonisation des PEFCRs dans le cadre du PEF.	•T1, T2, T3 •Commentaire supplémentaire : Peut aboutir à de stratégies légèrement biaisées, via la sous-estimation des impacts liés à l'utilisation d'énergie secondaire et la favorisation de la relative valorisation énergétique par rapport au recyclage.
7	•Comptabilisation des impacts environnementaux d'un pays, d'un secteur industriel, d'un groupe de produit, ou d'un produit	•S1, S2, S3	•W1, W2, W3, W4, W5 •Commentaire supplémentaire : W1 et W2 ne sont pas applicables pour la surveillance à un niveau national ou sectoriel.	•O1, O2, O3 •Commentaire supplémentaire : permet l'harmonisation des PEFCRs dans le cadre de l'initiative EC PEF. •Commentaire supplémentaire : peut permettre d'obtenir des résultats désagrégés à un niveau produit.	•T1, T2, T3, T4 •Commentaire supplémentaire : les études pourraient sous-estimer les impacts environnementaux en raison du gap sur les frontières du système. •Commentaire supplémentaire : T4 applicable uniquement aux produits de construction.
8	•Déclaration environnementale institutionnelle ou de site, incluant les calculs des effets indirects d'un	•S1, S2, S3	•W1, W2, W3, W4, W5	•O1, O2, O3	•T1, T2, T3, T4

METHODES INNOVANTES D'EVALUATION DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES DECHETS

Groupe	Applications	F- Forces	F- Faiblesses	O- Opportunités	M- Menaces
	système de management environnemental (EMS)		•Commentaire supplémentaire : W1 et W2 seulement partiellement applicables	•Commentaire supplémentaire : Peut permettre d'obtenir des résultats désagrégés à un niveau produit.	•Commentaire supplémentaire : T4 applicable uniquement aux produits de construction.
9	•Développement jeu de données générique, moyen ou spécifique, ou un ICV pour une utilisation dans des types spécifiques d'applications ACV	•S1, S2, S3	•W1, W2, W3, W4, W5	•O1, O2, O3 •Commentaire supplémentaire: données conformes au PEF, donc les praticiens peuvent utiliser les jeux de données / ICV qui en résultent dans les études PEF.	•T1, T2, T3, T4 •Commentaire supplémentaire : warning : utiliser les jeux de données basés sur la CFF pour des études ACV différentes du PEF peut ne pas être en accord avec le but et le champ de l'étude. •Commentaire supplémentaire : T4 applicable uniquement aux produits de construction.

3.1.6. Conclusions et recommandations

3.1.6.1. Allocations multi-cycles – conclusions générales et recommandations

De manière générale, quelques limites des allocations multi-cycle de vie ont été identifiées. Pour les réduire, il est recommandé de :

- S'assurer que les impacts et les bénéfices répartis sur plusieurs cycles de vie reflètent bien les contributions propres aux produits, c'est-à-dire que le principe du pollueur-payeur est respecté.
- Quand des bénéfices sont alloués au recyclage, à la valorisation énergétique et à la réutilisation de composants, ils doivent être compensés par des débits de taille équivalente pour l'utilisation de ces matériaux secondaires, de cette énergie et de ces composants dans un produit.
- Eviter d'allouer sur plus de trois cycles de vie, c'est-à-dire pas plus que le cycle de vie précédant et le cycle suivant directement le cycle de vie analysé, car la perte de la connexion des systèmes de produits augmente fortement l'incertitude de l'analyse (en particulier pour les produits avec une durée de vie plus longue) et compense clairement les bénéfices.
- Pour les études sur les produits ayant une longue durée de vie (plus particulièrement les bâtiments), il est nécessaire de considérer les incertitudes des données utilisées pour le recyclage/la valorisation en fin de vie.
- S'assurer que toutes les formes de valorisation de fin de vie (c'est-à-dire le recyclage des matériaux, valorisation énergétique, réutilisation de composants) sont explicitement considérées de la même manière.
- S'assurer que l'approche choisie est applicable pour la variante spécifique au modèle ACV consécutif ou attributionnel utilisée.

3.1.6.2. Méthode CFF - conclusions et recommandations

Au vu des deux formules analysées pour des applications en ACV, il est possible de conclure que :

La CFF a certaines limites qui la rendent partiellement inutilisable pour certaines applications et dans certains cas spécifiques, en particulier le déséquilibre entre le recyclage des matériaux et la valorisation énergétique (une logique différente pour les facteurs A et B, un manque de débit pour l'utilisation d'énergie secondaire en production) : ces limites apparaîtront plus particulièrement dans le cas d'une valorisation énergétique significative et/ou dans le cas de l'utilisation significative d'énergie secondaire. Cette méthode a un potentiel d'amélioration sur ces points. D'autres éléments pourraient aussi être révisés ou ajoutés, plus particulièrement :

- Le fait de ne pas considérer les différences dans le traitement des matériaux, entre l'utilisation des matériaux primaires ou secondaires.
- L'application du facteur A en parallèle de Q_s/Q_p . Cela peut être compris comme reflétant une logique consécutif ou comme exprimant une offre partiellement élastique des matériaux primaires et secondaires. Dans une perspective attributionnelle, ce facteur serait redondant à l'interprétation par défaut du facteur Q_s/Q_p qui est le ratio du prix du marché des matériaux primaires et secondaires, qui reflète également la situation du marché que le facteur A est censé représenter.
- La différence entre la manière de modéliser les boucles de recyclage ouvertes et fermées amène à un biais dans les résultats.

Quelques autres limites peuvent être levées en changeant les conventions (c'est-à-dire l'interprétation Q_s/Q_p selon le PEFCR, l'ambiguïté concernant l'identification du point de substitution pour l'utilisation de mélanges de matériaux primaires/secondaires).

3.2.Sujet d'approfondissement B : Prise en compte de la « valeur résiduelle » effective des déchets

3.2.1. Principaux enseignements de l'analyse de la méthode

Pour rappel, la méthode a été proposée dans le cadre de l'étude du bilan environnemental du projet d'extension des consignes de tri à l'ensemble des emballages ménagers plastiques menée par Bleu Safran pour le compte d'Eco-Emballages et de l'ADEME et finalisée en 2014.

On rappelle ci-dessous les principaux enseignements de l'analyse de la méthode faite en phase 1 :

- La méthode modifie les valeurs absolues des résultats de l'indicateur d'énergie primaire totale (par rapport à une méthode d'ACV « traditionnelle », ne comptabilisant pas la valeur résiduelle des déchets), mais en revanche ne modifie pas l'écart relatif entre les filières de traitement des déchets.
 - ✓ L'objectif de la proposition méthodologique est de faire apparaître que le déchet n'est pas « gratuit » dans le sens où il possède une valeur résiduelle intrinsèque, et que l'incinération et l'enfouissement peuvent présenter un coût environnemental au sens où elles font un usage destructif, qui n'est pas nécessairement optimal, de cette valeur résiduelle. Pour refléter cela, la méthode translate les résultats de consommation d'énergie primaire totale de toutes les filières vers le haut en y ajoutant le PCI du déchet en entrée du système considéré, le PCI approximant l'énergie-matière extractible et utilisable en brûlant le déchet (dans l'exemple d'application, il s'agit du PET). Les principes de cette méthode peuvent ainsi être rapprochés de la distinction opérée par certains auteurs entre épuisement effectif et usage compétitif des ressources (voir plus loin) : la production d'une résine plastique consomme une quantité d'énergie donnée qui correspond pour une part à un épuisement effectif et d'autre part à un usage compétitif, celui-ci correspondant à la quantité d'énergie qui reste dans la matière (mesurée par le PCI).
 - ✓ Structurellement, la méthode ne modifie pas les écarts relatifs d'énergie primaire totale entre les filières de gestion de déchets comparées : ça n'est pas son objectif. En revanche, les résultats obtenus (en valeur absolue) modifient la perception d'une filière donnée par rapport aux résultats obtenus avec une mise en œuvre « traditionnelle » des ACV de filières de gestion des déchets : par exemple, l'incinération avec valorisation énergétique apparaît comme consommatrice nette d'énergie en tenant compte de la valeur résiduelle du déchet alors qu'elle restitue de l'énergie lorsque la valeur résiduelle du déchet n'est pas prise en compte.
 - ✓ La question de la perception de résultats d'ACV est cruciale : la communication de résultats d'ACV est de manière générale un enjeu-clé, et c'est d'autant plus le cas avec les résultats d'ACV de filières de gestion de déchets, notamment en raison des valeurs négatives (impacts algébriquement négatifs, correspondant à des bénéfices environnementaux) qui apparaissent souvent. C'est un élément que le praticien ACV peut parfois négliger : il se focalise facilement sur la comparaison, donc une méthode ne changeant pas la hiérarchie des systèmes peut s'avérer de son point de vue limitée. En réalité, il ne faut pas perdre de vue que l'interprétation des résultats par un public non-expert en ACV peut être faite en regardant la valeur absolue des résultats également : ne serait-ce que l'impact visuel d'un graphique avec des valeurs négatives ou positives change la perception des filières. Il est intéressant de noter que la proposition méthodologique de Bleu Safran a été très bien reçue par l'ONG environnementale membre du comité de revue critique de l'étude dans le cadre de laquelle la méthode a été proposée.
- La méthode proposée a été spécifiquement développée pour le cas d'une « ACV déchet » ; elle ne présente pas véritablement d'intérêt pour une « ACV produit » – sauf à faire un focus et une interprétation spécifique de l'étape de gestion des déchets – car dans ce cas le déchet n'est pas un flux qui traverse la frontière du système : la production des matériaux et produits ainsi que leur gestion en fin de vie sont incluses dans la frontière du système. Il n'y a donc pas de flux de matière entrant dans le système dont on ne refléterait pas déjà le coût environnemental associé à sa consommation (à l'exception bien entendu des flux de déchets entrants dans le système qui seraient valorisés sous forme d'énergie ou de matière ou simplement traités par le système étudié, ces déchets étant classiquement supposés être gratuits du point de vue environnemental : on est bien sûr ramené pour ces flux de déchets à une « ACV déchet », cas pour lequel la méthode s'applique).

- La méthode considère uniquement la valeur énergétique résiduelle du déchet et n'a pas été construite pour appréhender d'autres valeurs résiduelles du déchet, notamment au regard de la problématique générale des ressources intégrant les aspects énergétiques et minéraux : dans le cadre particulier des travaux conduits, les auteurs considèrent notamment que les déchets d'emballages plastiques ne peuvent plus être assimilés à du pétrole : si la production de la résine plastique n'a pas véritablement consommé toute l'énergie qu'elle a mobilisée (une partie de l'énergie mobilisée restant disponible via l'énergie matière du plastique pour d'autres usages), elle a bien consommé l'intégralité du pétrole qu'elle a mobilisé. Les usages que l'on peut imaginer faire du plastique ne sont pas du tout les mêmes que les usages que l'on peut imaginer faire du pétrole : c'est en cela que la ressource pétrole est considérée comme effectivement consommée et que le déchet d'emballage plastique n'a pas de valeur relativement à l'indicateur ressources.

Sur ce dernier point, on note ainsi que pour des déchets présentant une valeur en termes de ressources minérales (des déchets métalliques par exemple), la méthode, dans sa forme actuelle (proposée on le rappelle dans le cadre de l'étude de filières de gestion des déchets d'emballages plastiques) n'est pas appropriée, et ce pour deux raisons :

- La valeur en termes de ressources étant non nulle, l'application de la méthode, telle que développée actuellement, entrainerait une distorsion des résultats entre l'indicateur de consommation d'énergie primaire et l'indicateur de consommation de ressources (dans le cadre de l'étude initiale, l'indicateur Abiotic Depletion Potential de CML a été quantifié), puisque cela permettrait de refléter la valeur énergétique des déchets mais pas leur valeur en termes de ressources minérales.
- La valeur énergétique de déchets métalliques étant négligeable, la comptabilisation centrée sur l'indicateur de consommation d'énergie primaire totale n'a pas d'intérêt.

Il est donc intéressant de réfléchir à la possible extension de la méthode à d'autres indicateurs ou enjeux environnementaux, en premier lieu desquels l'enjeu de consommation des ressources.

3.2.2. Discussion sur l'extension potentielle de la méthode et son application aux ressources

On souhaite ici investiguer la possibilité de se fonder sur les indicateurs d'épuisement des ressources disponibles en ACV pour évaluer la valeur résiduelle en termes de ressources du déchet. Par analogie avec ce qui est proposé pour l'indicateur de consommation d'énergie primaire, cela pourrait être fait par exemple en calculant un équivalent d'indicateur ressources pour le flux de déchet considéré.

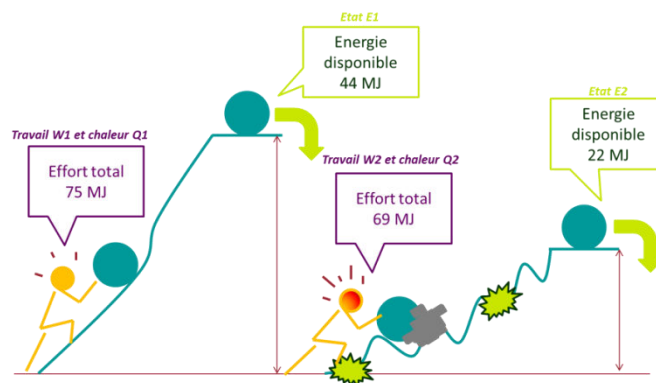
3.2.2.1. Présentation (rappel) des concepts-clés

3.2.2.1.1. La valeur résiduelle du déchet du point de vue des ressources est une variable d'état

Le premier point qu'il nous semble important de souligner quand on cherche à définir la valeur potentielle d'un déchet du point de vue de l'ensemble de ses ressources est le fait que cet exercice revient à tenter de rendre compte d'une variable d'état (au sens thermodynamique du terme), au même titre que par exemple la masse, la température, etc.

Dans le cas de la méthode proposée par Bleu Safran relativement aux aspects énergétiques, on observe que le PCI est un descripteur du contenu énergétique de la matière considérée : celui-ci rend compte de l'état « énergétique » du déchet.

La figure ci-dessous illustre la notion de variable d'état appliquée aux aspects énergétiques et sa différence par rapport à des grandeurs, telles que le travail et la chaleur (elles-mêmes liées aux aspects énergétiques), qui ne sont pas des variables d'état : la production d'une résine plastique donnée peut nécessiter de mobiliser 75 MJ au total, dont 31 MJ sont véritablement consommés (dispersés notamment sous forme de chaleur) et dont 44 MJ reste disponible sous forme matière ; au contraire la production d'une autre résine plastique peut nécessiter de mobiliser 69 MJ au total, dont 47 MJ sont véritablement consommés et dont 22 MJ reste disponible sous forme matière. Les valeurs de 44 MJ et 22 MJ correspondent à une description de l'état des résines plastiques à l'issue de leur processus de production.



Ainsi, si l'on cherche à appréhender la valeur résiduelle des déchets du point de vue des ressources, il est éclairant de garder à l'esprit qu'il s'agit d'établir un descripteur de l'état du déchet du point de vue des ressources.

3.2.2.1.2. Nécessité de définir la taxinomie et le référentiel d'évaluation des ressources

Les réflexions et interrogations qui sont mises en jeu dans la construction d'un descripteur de l'état du déchet du point de vue des ressources seront d'une nature tout à fait comparable aux réflexions et interrogations qui sont mises en jeu lors des travaux de construction d'une méthode ACV de caractérisation de l'épuisement des ressources. En effet de tels travaux, qui visent in fine à établir une liste des flux élémentaires et des facteurs de caractérisation pris en compte dans la méthode (ou des équivalents de flux élémentaires concernant les déchets, qui sont des flux internes à la technosphère), impliquent nécessairement de s'interroger au préalable sur les quantités et les fonctions assurées par les ressources environnementales, ce qui suppose notamment de se prononcer sur :

- La classification des ressources (sa taxinomie) : qu'est-ce qui est considéré comme ressource et qu'est-ce qui n'est pas ressource ? Quelles sont les différentes catégories de ressources et quels sont les critères qui président à leur distinction les unes des autres ?
- Le référentiel d'évaluation des ressources : au regard de quelle valeur, éventuellement de quels usages et de quelles fonctions cherche-t-on à évaluer telle ou telle ressource ?

Ces deux champs d'interrogations fonctionnent nécessairement de manière itérative l'un par rapport à l'autre, le référentiel établi conduisant à reconsidérer la classification et inversement ; les critères qui pilotent la distinction entre des ressources sont notamment étroitement liés au référentiel (de la même manière qu'en ACV, des précisions apportées à la définition d'une Unité Fonctionnelle – UF - peuvent conduire à revoir la liste des produits et/ou services qui satisfont cette UF).

Les travaux de construction d'un descripteur de l'état d'un déchet au regard d'une problématique ressource partagent nécessairement beaucoup avec les travaux de construction d'un descripteur d'état de nos ressources à l'échelle de l'environnement pris dans son ensemble. Toutefois, la différence d'objet placé au centre des réflexions, le déchet d'un côté et l'environnement de l'autre, peut éventuellement induire des interrogations spécifiques.

Les paragraphes suivants rappellent certains questionnements et limites clefs qui traversent les travaux de construction des indicateurs ressources en ACV et examinent les spécificités qui pourraient apparaître dans le cas d'une estimation de la valeur résiduelle des déchets au regard des ressources.

3.2.2.1.3. Référentiel d'évaluation : valeur intrinsèque, valeur d'usage et valeur fonctionnelle

La construction d'un indicateur ressources en ACV nécessite tout d'abord de se positionner sur le type de valeur dont on cherche à rendre compte. Comme précisé dans le rapport de l'étude SCORELCA sur les indicateurs d'épuisement des ressources en ACV [SCORELCA2012], on peut notamment distinguer :

- La valeur intrinsèque des ressources : cette notion consiste à définir les ressources en tant que combinaisons uniques d'éléments présents dans l'environnement. Le seul fait de les extraire de l'environnement détruit cette valeur intrinsèque.

- La valeur fonctionnelle des ressources : cette notion consiste à définir les ressources via les fonctions qu'elles apportent ou qu'elles pourraient apporter à l'avenir à l'humanité. Dans ce cas, seul un usage destructif (exemple : combustion) ou dissipatif (émissions diffuses dans l'environnement) détruit la valeur fonctionnelle, car la ressource n'est plus disponible pour fournir des fonctions potentielles.

Les indicateurs de ressources en ACV cherchent à prendre en compte la **baisse de disponibilité des fonctions assurées par les ressources pour les générations futures** (définition de l'aire de protection « ressources »), adoptant une vision liée à la valeur fonctionnelle des ressources, par opposition à leur valeur intrinsèque (voir à nouveau [SCORELCA2012]).

3.2.2.2. *Problématiques et limites générales des indicateurs ressources utilisés en ACV*

3.2.2.2.1. *Problématique posée par la multifonctionnalité des ressources*

Une première limite des indicateurs ressources exploités en ACV provient du fait que les méthodes évaluent à l'aide d'un même indicateur des ressources qui n'assurent pas les mêmes fonctions : en d'autres termes, elles utilisent un référentiel d'évaluation unique pour rendre compte de qualités/d'aptitudes qui mériteraient d'être appréciées selon des référentiels différents (les usages ou les fonctions qui sont attendues). Un 1^{er} extrait des conclusions de [SCORELCA2012] détaille ce point.

Extrait n°1 des conclusions de l'étude SCORELCA sur les indicateurs d'épuisement des ressources en ACV

« 6.1.1 Prise en compte de la valeur fonctionnelle propre à chaque ressource

Toutes les méthodes analysées dans cette étude abordent les ressources via leur valeur fonctionnelle et considèrent que le dommage causé aux ressources est la baisse de disponibilité des fonctions assurées par les ressources pour les générations futures.

Cependant, comme le souligne Brentrup [Brentrup2002], dans la plupart des méthodes d'évaluation, la consommation des différentes ressources est agrégée au sein d'un ou de deux indicateurs lors de l'étape de caractérisation. Ceci néglige le fait que les ressources sont utilisées à des fins différentes et qu'elles ne sont pas équivalentes les unes aux autres.

Selon les normes ISO, les flux d'un inventaire de cycle de vie doivent être classés par catégorie d'impact et si possible agrégés à l'aide de facteurs de caractérisation de façon à calculer des indicateurs d'impact traduisant des problématiques environnementales spécifiques.

Dans le cas des ressources, le fait d'agréger entre elles des ressources utilisées à des fins différentes n'est donc pas conforme aux recommandations des normes.

En effet, la consommation de ressources ayant des fonctionnalités différentes contribue à des dommages différents. Par exemple, l'épuisement des ressources fossiles a des conséquences sur la production de chaleur et d'électricité alors que l'épuisement des ressources en minerai de phosphate a des conséquences sur l'agriculture. Le fait de préserver une des ressources ne peut compenser le dommage causé sur l'autre. Et, pour poursuivre l'exemple précédent, le fait de disposer de ressources de charbon importantes ne peut pas contribuer à fournir les nutriments nécessaires pour assurer des récoltes suffisantes pour l'alimentation des générations futures.

En conséquence, l'épuisement des ressources relatif à des ressources de fonctionnalités différentes devrait être traité comme des problématiques environnementales différentes, c'est-à-dire avec des indicateurs différents.

Pour aller dans ce sens, Brentrup propose de définir un ensemble d'indicateurs pertinents en fonction du système étudié. Dans le cas des systèmes agricoles qui sont pris comme exemple dans sa publication, Brentrup propose quatre indicateurs : un indicateur d'épuisement des ressources fossiles, en considérant que pour des applications agricoles toutes les ressources fossiles sont substituables, et trois indicateurs sur les ressources en phosphate, en potassium et en chaux, en considérant que ces ressources essentielles qui sont utilisées comme nutriment ou comme amendement ne sont pas substituables.

Cette limite bien décrite par Brenttrup est également citée dans [VanOers2002]. Cette dernière publication est notamment à l'origine de l'évolution de la méthode CML qui est passée d'une méthode avec un unique indicateur (ADP) à une méthode avec deux indicateurs (ADP fossil fuels et ADP elements) distinguant d'une part les fonctions énergétiques et d'autre part les fonctions « élémentaires » des ressources.

Cependant, même si cette limite est couramment soulignée dans les publications, les auteurs mettent également en avant la difficulté à définir des indicateurs spécifiques à chaque fonction compte tenu du fait qu'on peut en général définir autant ou même plus de fonctions que de ressources consommées.

Dans cette perspective, Stewart et Weidema [Stewart2005] proposent un cadre méthodologique pour la définition d'indicateurs basé sur les fonctions des ressources. Ce cadre est basé sur le fait que seules les fonctions apportées par les ressources sont d'intérêt pour l'humanité, et non les ressources en tant que telles. Dans cette vision, il peut être moins critique de dissiper une ressource rare géologiquement mais pour laquelle il existe une technologie ou ressource de substitution que de dissiper une ressource relativement abondante mais sans substitution existante.

La méthode Impact World+, en cours de développement par le CIRAIG, l'University of Michigan, Quantis International, la Technical University of Denmark (DTU), l'EPFL et Cycleco), a pour objectif de proposer un indicateur en phase avec le cadre méthodologique proposé par Stewart & Weidema. La méthode traduit les fonctions de chaque ressource en intégrant au modèle la notion de secteurs utilisateurs (emballage, aéronautique...) et en identifiant, pour chacun de ces secteurs, l'existence de technologies de substitution à ces ressources (cf l'interview de C. Bulle, auteur de la méthode, p146).

Dans le même ordre d'idée, on peut ajouter la difficulté liée à la multiplicité des usages potentiels d'une même ressource, qui peut avoir pour différentes applications des valeurs différentes. En effet, certaines ressources sont uniques dans un usage donné alors qu'elles peuvent être remplacées plus facilement par une autre ressource dans un autre usage (cas du platine dans l'usage médical ou pour la catalyse par exemple). Il est bien entendu difficile de refléter, dans un même indicateur, différentes valeurs fonctionnelles d'une même ressource²².

Une méthode très concrète d'évaluation de l'aptitude d'une même ressource à satisfaire différents usages existe en dehors du champ de l'ACV et mérite selon nous d'être citée en illustration de notre propos : il s'agit de la méthode SEQ-eau, Système d'évaluation de la Qualité de l'eau qui est utilisé par les services de l'État et les collectivités pour caractériser l'état physico-chimique des cours d'eau (ou des eaux souterraines) en France.

²² Ces limites ne s'observent pas dans le cas de la valeur énergétique du déchet car le PCI est un paramètre permettant d'évaluer de manière satisfaisante la valeur énergétique du déchet, i.e. la valeur d'usage que l'on pourrait retirer de l'exploitation du déchet à des fins de production d'énergie : les différentes ressources énergétiques sont supposées substituables entre elles, et pour une même ressource, il y a unicité de l'usage potentiel que l'on pourrait faire de cette ressource (unicité de l'objectif de l'usage même si les modalités d'exploitation peuvent être différentes).

Classes d'aptitude →	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
MINERALISATION					
Résidu sec à 105°C (mg/l)	500	1500	2500	3500	
Chlorures (mg/l)	180	360	700		
MICRO-ORGANISMES					
Coliformes thermotolérants (u/100 ml) ¹⁰	100				
Coliformes totaux (u/100ml)	1000				
MICROPOLLUANTS MINERAUX SUR EAU BRUTE					
Arsenic (µg/l)	100		2000		
Cadmium (µg/l)	10				
Chrome total (µg/l)	100				
Nickel (µg/l)	200		2000		
Plomb (µg/l)	200		2000		
Sélénium (µg/l)	20				
Cuivre (µg/l)	200	1000	5000		
Zinc (µg/l)	5000				

SEQ-eau dans le cas de l'aptitude à l'irrigation

Ce système d'évaluation se fonde sur la mesure de paramètres bio-physico-chimiques qui sont interprétés (avec des valeurs seuils) de manière spécifique au regard des catégories d'usage attendues de l'eau :

- Aptitude au maintien des équilibres biologiques ;
- Aptitude à la production d'eau potable ;
- Aptitude à l'irrigation ;
- Aptitude à l'abreuvement des animaux ;
- Aptitude à l'aquaculture ;
- Aptitude aux loisirs et aux sports aquatiques.

Dans ce système d'évaluation, la présence de chlorures dans l'eau est, par exemple, considérée comme posant problème quant à l'aptitude de l'eau au regard de l'irrigation (le problème étant jugé plus ou moins important selon la concentration effective), en revanche la présence de chlorures n'intervient pas dans l'appréciation de la qualité des eaux pour les sports aquatiques.

De ce point de vue également, une même ressource peut ainsi être considérée comme étant d'une qualité très bonne pour satisfaire à un usage donné et au contraire d'une qualité médiocre pour un autre usage.

Problématique posée par les utilisations destructives ou non des ressources

Une seconde limite des indicateurs ressources exploités en ACV provient du fait que les méthodes ne distinguent pas véritablement entre une consommation réellement destructive des ressources et une « simple » immobilisation de ces ressources, ces deux types d'action étant considérés sur un même plan du point de vue de l'évaluation, comme rappelé dans le 2^{ème} extrait de [SCORELCA2012] ci-dessous. La plupart des indicateurs d'épuisement des ressources évaluent un épuisement *potentiel* des ressources.

L'objectif de procéder à une évaluation de la valeur résiduelle du déchet du point de vue des ressources constitue justement une stratégie de réponse à cette limite des indicateurs actuels : le prélèvement d'une ressource dans le processus de production d'un produit ne consiste pas nécessairement une destruction de cette ressource, qui peut en partie perdurer dans le produit et donc dans son déchet.

Extrait n°2 des conclusions de l'étude SCORELCA sur les indicateurs d'épuisement des ressources en ACV

6.1.2 Assimilation entre baisse de disponibilité des ressources et épuisement effectif des ressources

Dans une vision « valeur fonctionnelle des ressources », le dommage causé aux ressources est défini comme la baisse de disponibilité des ressources pour les générations futures.

D'une manière générale, la baisse de disponibilité des ressources peut provenir :

- d'un **épuisement effectif**, c'est-à-dire d'une perte définitive des fonctions potentielles de la ressource²³,
- d'un **usage compétitif**, c'est-à-dire lorsque les fonctions potentielles ne sont pas perdues, mais non disponibles pour d'autres usages²⁴.

On peut illustrer cette distinction par les exemples suivants tirés de [VanOers2002] :

- Lorsque l'on extrait du pétrole et qu'on l'utilise à des fins énergétiques, sa fonction de fourniture d'énergie est perdue. Il s'agit donc d'un problème d'épuisement car les fonctions sont perdues pour un usage futur.
- Lorsque l'on extrait un minerai et qu'on le transforme en matière première, cela n'implique pas nécessairement de perte de fonction :
- Par exemple, lorsque du cuivre est extrait et utilisé dans des fils électriques, sa fonction de conduction d'électricité est conservée. En fin de vie, si les fils sont recyclés, le cuivre pourra être utilisé à nouveau, pour remplir la même fonction ou d'autres fonctions. Il s'agit alors d'un usage compétitif car le cuivre ne peut pas être dans d'autres produits tant qu'il est utilisé dans les fils en question.
- Cependant, si le cuivre est répandu sur des vignes, pour des fonctions pesticides, il est « dilué » dans l'environnement. Les fonctions potentielles sont toujours présentes, mais dans une forme non-accessible à l'humanité. Dans ce cas, on considère que la ressource est perdue et qu'il s'agit donc d'un problème d'épuisement.

Ainsi, même si la baisse de disponibilité des ressources à un instant donné peut provenir à la fois d'un épuisement effectif et d'un usage compétitif, ces deux usages n'ont pas du tout les mêmes conséquences en ce qui concerne la disponibilité des ressources pour les générations futures. Il semblerait donc fondamental de prendre en compte cette distinction lorsque l'on cherche à évaluer le dommage lié à l'utilisation des ressources.

Cependant, dans la pratique, il faut noter que les indicateurs évaluent un épuisement potentiel et assimilent ainsi l'extraction des ressources à un épuisement effectif des ressources sans tenir compte de l'usage compétitif qui peut en être fait.

Pour justifier cela, il est parfois avancé que l'usage compétitif de ressources au sein de produits peut être considéré comme un problème un socio-économique et n'est de ce fait pas intégré par les méthodes d'évaluation environnementales [VanOers2002].

Néanmoins, ce manque de distinction entre les usages (épuisement effectif et usage compétitif) constitue une limite des indicateurs d'épuisement des ressources en ACV. Ceci est particulièrement vrai lorsque l'on s'intéresse à des ressources telles que le fer, l'aluminium ou le cuivre pour lesquelles les filières de recyclage sont largement développées, ou encore lorsqu'on s'intéresse par exemple au bitume, fraction lourde du pétrole qui n'est jamais utilisé comme combustible et dont la fonction de « matériau liant » n'est jamais perdue.

La méthode Impact World+, en cours de développement, a pour objectif de lever en partie cette limite. L'objectif visé est de quantifier la dissipation des fonctions des ressources. **Ainsi, la méthode va permettre de tenir compte du recyclage comme une nouvelle mise à disposition des fonctions d'une ressource.** Ainsi, seule la fraction réellement dissipée sera prise en compte, et non la totalité du flux de ressource extrait (cf l'interview de C. Bulle, auteur de la méthode, p146).

Enfin, on peut noter que des travaux de recherche sont en cours pour intégrer les réserves de la technosphère dans les ACV. »

²³ L'épuisement effectif est lié à un usage destructif ou dissipatif d'une ressource.

²⁴ L'usage compétitif correspond au cas d'un usage non destructif ou dissipatif d'une ressource, lorsque le matériau, à la fin de l'usage considéré, n'a pas perdu sa valeur fonctionnelle, disponible à la fin du cycle de vie considéré pour un autre usage.

3.2.2.3. *Problématiques spécifiques de classification des ressources dans le cas du déchet*

Lorsque la réflexion sur ce qu'est une ressource et sur les modalités d'identification des différentes catégories de ressources est appliquée au cas du déchet et non plus aux ressources prélevées de l'environnement, des questions spécifiques sont susceptibles d'apparaître du fait du caractère anthropique du déchet, par opposition au caractère « naturel » des ressources prélevées de l'environnement.

Un ensemble de questions a nécessairement trait à l'existence dans le champ anthropique de matières/matériaux qui n'ont pas de réalité « naturelle » dans l'environnement. Dans cet ordre d'idée, on peut citer quelques exemples illustratifs :

- **Cas d'un alliage métallique** : un alliage métallique, par exemple le bronze, a été produit du point de vue anthropique car, pour un usage donné, il présente un intérêt spécifique qui ne peut être réduit à l'intérêt que présente le cuivre d'une part et l'étain d'autre part ; d'un certain point de vue, disposer d'un alliage est préférable à avoir la même quantité de tous les éléments chimiques séparés, au sens où la fabrication de l'alliage a déjà été réalisée et l'on a déjà à disposition le matériau qui nous intéresse (ce qui suppose toutefois, dans le cadre d'un déchet, d'être en capacité de séparer spécifiquement cet alliage des autres alliages et matériaux constitutifs du déchet pour pouvoir en exploiter la valeur-ajoutée).
- **Cas d'un plastique** : les plastiques n'existent pas à l'état « naturel » et contrairement au cas des alliages ils ne peuvent pas être analysés comme la combinaison de matériaux présents à l'état naturel (sauf évidemment à redescendre à une échelle strictement élémentaire de type C, H, O, N...).

Le bronze n'existe pas à l'état « naturel » et n'est donc pas représenté dans les méthodes de caractérisation relatives aux ressources que l'on trouve en ACV. De même une résine plastique (PET par exemple) n'existe pas à l'état naturel et n'est donc pas représentée dans les méthodes de caractérisation relatives aux ressources que l'on trouve en ACV. En conséquence, la question spécifique qui se pose quand on cherche à évaluer la valeur d'un déchet du point de vue de ses ressources est la suivante :

- L'évaluation doit-elle être conduite en exploitant la même classification et le même référentiel que ceux utilisés pour apprécier les ressources « naturelles » ? Dans cette perspective, les plastiques et les alliages cités en exemple ne font pas partie de cette grille de lecture et sont dénués de valeurs/fonctions qui leurs sont propres ; le bronze est alors appréhendé à travers une lecture de son contenu cuivre et de son contenu étain.
- L'évaluation doit-elle être conduite en adaptant et en enrichissant la classification et le référentiel utilisés pour apprécier les ressources « naturelles » ? Dans cette perspective, les plastiques et les alliages trouveraient une place et des facteurs de caractérisation qui leurs sont propres.

3.2.2.4. *Conclusions*

Ces différents éléments sont assez éclairants quant à l'objectif d'une extension de la méthode de la valeur résiduelle des déchets aux ressources en se fondant sur les indicateurs existants : ils rappellent certaines des limites principales des indicateurs de ressources pour évaluer la valeur fonctionnelle des ressources, et du coup des déchets, et ils mettent en exergue certaines questions qui apparaîtraient nécessairement dans le cas des déchets.

Compte tenu de tout ce qui précède, il nous semble que l'extension de la méthode à un indicateur de déplétion des ressources *en utilisant les indicateurs d'épuisement des ressources actuellement disponibles* est potentiellement complexe.

La méthode d'Impact World+ pour les ressources apparaît toutefois comme une piste prometteuse car d'une part elle traduit les fonctions de chaque ressource en intégrant au modèle la notion de secteurs utilisateurs et d'autre part elle tient compte du mode d'utilisation de la ressource, faisant la différence entre épuisement effectif de la ressource ou usage compétitif : seule la fraction réellement dissipée sera prise en compte, et non la totalité du flux de ressource extrait. La méthode permettant de tenir compte du recyclage comme une nouvelle mise à disposition des fonctions d'une ressource, pourra peut-être être utilisée pour évaluer la valeur d'un déchet en termes de ressources (qui pourra être perdue dans le cas d'une gestion en enfouissement ou incinération, ou exploitée dans le cas du recyclage).

4. Références

- [Ademe 2014] Ademe, Eco-emballages. Bilan environnemental du projet d'extension des consignes de tri à l'ensemble des emballages ménagers plastiques - rapport final post revue critique, 2014
- [Brunner 2004] Brunner, P. et Rechberger. H. Practical Handbook of Material Flow Analysis, 2004
- [ILCD10] European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability: International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance. First edition March 2010. EUR 24708 EN. Luxembourg. Publications Office of the European Union; 2010
- [Plinke et al. 2000 and Schonert et al. 2002] Plinke, E., Schonert, M.; Meckel, H.; Detzel, A.; Giegrich, J.; Fehrenbach, H.; Ostermayer, A.; Schorb, A.; Heinisch, J.; Luxenhofer, K.; Schmitz, S.: "Ökobilanz für Getränkeverpackungen II - Hauptteil". UBA-Texte 37/00. Umweltbundesamt. Berlin, 2000." Und: "SCHONERT, M.; MOTZ, G.; MECKEL, H.; DETZEL, A.; GIEGRICH, J.; OSTERMAYER, A.; SCHORB, A.; SCHMITZ, S. (2002): Ökobilanz für Getränkeverpackungen II / Phase 2. UBA, Umweltbundesamt, UBA Texte 51/02, Berlin.
- [RDC09] RDC Environnement, Modélisation du recyclage – Note à destination de la Plateforme ADEME / AFNOR, 29 janvier 2009
- [Rochat 2013] Rochat, D., et al. Combining Material Flow Analysis, Life Cycle Assessment, and Multiattribute Utility Theory, Journal of Industrial Ecology, 2013
- [SCORELCA2012] SCORELCA - Indicateurs d'épuisement des ressources en Analyse de Cycle de Vie. BIO Intelligence Service, Septembre 2013.
- [Sevi 2014a] Sévigné-Itoiz, E., et al., Methodology of supporting decision-making of waste management with material flow analysis (MFA) and consequential life cycle assessment (CLCA): case study of waste paper recycling, Journal of Cleaner Production, 2014
- [Sevi 2014b] Sévigné-Itoiz, E., et al., Environmental consequences of recycling aluminium old scrap in a global market, Resources, Conservation and Recycling, 2014
- [Turner 2016] Turner, D., et al. Combined material flow analysis and life cycle assessment as a support tool for solid waste management decision making, Journal of Cleaner Production, 2016
- [VanEygen 2016] Van Eygen, E. et al. Resource savings by urban mining : the case of desktop and laptop computers in Belgium, Resources, Conservation and Recycling, 2016
- [Wolf&Wolf 2016] Wolf, M-A., Wolf, K. (2016): Umbrella formula + and modular Integrated formula +. Presentation shown at 3rd EoL WS, Somma Lombardo, 8 September 2016 (https://webgate.ec.europa.eu/fpfis/wikis/download/attachments/155758183/EoL-3rdWS_SommaLombardo_8Sept2016_maki_g_later_sent.pdf?api=v2; publicly accessible at: <http://maki-consulting.com/2016/09/12/improved-umbrella-formula-uf-and-integrated-formula-if/>). See also the earlier Briefing note: http://maki-consulting.com/wp-content/uploads/2016/09/Umbrella-formula_incl._reformulated_Integrated_formula_improved_Wolf_Sep2016-3.pdf

Annexe 1 : retours des développeurs sur l'analyse détaillée des méthodes

Les retours envoyés par les développeurs des méthodes et, le cas échéant, les réponses apportées par le Consortium sont présentées dans les sections ci-dessous.

4.1. Fiche n°1 - Approche intégrée: retours de maki

Index	Section of the factsheet	Comments/questions from developer(s)	Consortium's answer to comments/questions
1	1: ID of the method, Reference	Added: Wolf MA, Chomkhamsri K, Ardente F: Integrated formula ... Poster LCM 2013 Similar/related approaches: EN15804 hybrid formula, 2014 C Leroy, Vito... ISO/TS 14067 annex formula	Intégré dans la version finale de la fiche méthode
2	1: ID of the method, Known user(s)	Add: European Copper Institute, European Aluminium Association	Intégré dans la version finale de la fiche méthode
3	1: ID of the method, Recommended in standards, guidance, ...	Added: recommended by the metals industry in the TC 350 under EN 15804 standardisation process	Intégré dans la version finale de la fiche méthode
4	2: Introduction	Added: It adds the key element to consider the quality of the recycled content on input side, with the effect that the Integrated formula is equally stimulating the use of low quality recycled content (hence the name "Integrated formula", combining both better and more recycling with use of lower quality and more recycled content).	Intégré dans la version finale de la fiche méthode
5	3: Objectives	Depending on the specific 50:50 approach, avoided landfilling and other aspects can lead to implausible effects (e.g. that for a product that is recycled to yield 100% recyclate, half is still modelled as landfilled, as in the PEF Annex V formula).	Intégré dans la version finale de la fiche méthode
6	3: Objectives	Modified: Next to materials, energy and parts are treated the same way in the Integrated formula.	Intégré dans la version finale de la fiche méthode

Index	Section of the factsheet	Comments/questions from developer(s)	Consortium's answer to comments/questions
		Moreover, recycled content may have a lower than perfect quality, meaning that in case the same level of quality is obtained when recycling the product, there is actually no downcycling.: none of the methods previously mentioned takes into account the input side quality for calculating downcycling, therefor leading to double counting	
7	3: Objectives	Added: The basic idea of the Integrated formula can also be understood in another, very simple way: if a product loses a material, or energy at its end of life (e.g. through landfilling or incineration without full energy recovery), this loss is to be replaced by primary material or energy. Quantitative losses are considered, same as partial, qualitative losses. This "circular economy" idea, for keeping things in the loop (but considering the burdens of doing so) is what the formula effectively calculates.	Intégré dans la version finale de la fiche méthode
8	5: Case studies	Added: In context of ongoing pilot phase of the Product Environmental Footprint (PEF), the Integrated formula has been applied in a number of generic screening and company-specific supporting studies, among others Hot and cold water supply pipes (PEX, Polymer-multi layer, copper), Metal sheets (various metals), packaging. Additional calculations for other materials have been presented recently at the 3rd EoL WS, organised by the European Commission in Italy.	Intégré dans la version finale de la fiche méthode
9	6: Detailed analysis	Modified: For such cases, where downcycling occurs, the Integrated formula captures this effect partially by using a quality (or quantity) correction factor for the recycled content. The Integrated formula uses the quality-correction factor on both input and output side to effectively share the benefits of recycling between consecutive life cycles. The burdens of recycling are however always fully carried by the producer of the analysed product, in view of meeting the polluter pays principle / producer responsibility.	Intégré dans la version finale de la fiche méthode
10	7: Conclusion	Added/modified: By using quantity or quality correction factors for the credit and debit, the formula adjusts to the specific material, leading to a sharing of credits/debits across life cycles. Burdens from recycling, energy recovery are however deliberately not shared, in view of meeting the polluter pays principle. .	Intégré dans la version finale de la fiche méthode

Index	Section of the factsheet	Comments/questions from developer(s)	Consortium's answer to comments/questions
		This aspect is however addressed by the authors in the recent developments of a broader formula, the Umbrella formula. The main weakness of the Integrated formula is the communication, as users intuitively reject the idea of modelling recycled content with the (quality or quantity corrected) primary material impact. This weakness may be overcome via the modular EN 15804 form, or the easier-to-understand "circular economy" explanation for what the formula calculates.	

4.2. Fiche n°2 - Approche "Multi-recycling" – retour des auteurs

Nous avons soumis une première rédaction de la fiche aux auteurs et avons eu un premier échange avec eux : ceux-ci nous ont suggéré la lecture de l'article n°3 en lieu et place du document n°1, qui avait été analysé dans la version initiale (voir références fournies dans la fiche). Cela a été fait. Une fois la fiche mise à jour pour tenir compte des modifications apportées à la méthode entre le 1^{er} document et la publication finalement retenue pour l'analyse, les auteurs ont été recontactés avec l'intention d'éclaircir certains aspects de méthode et éventuellement de leur soumettre la fiche pour relecture. Nous n'avons pas eu de retour de leur part.

4.3. Fiche n°3 - Comptabilisation de la valeur résiduelle du déchet : retour de Bleu Safran

La fiche et la grille d'analyse ont fait l'objet d'échanges téléphoniques entre Bleu Safran (développeur) et Deloitte. Aucune modification majeure n'a été faite dans la fiche méthode ou la grille.

4.4. Fiche n°4 - Inclusion de la prévention dans les ACV de gestion des déchets : retour de Simone Nessi

Index	Section of the factsheet	Comments/questions from developer(s)	Consortium's answer to comments/questions
1	4: Description	I would REMOVE the whole paragraph. The method can actually account for all types of waste prevention activities in the list (including type 1 and 2). Also e.g. reduced consumption by consumer can be factored in the model. In this case, no additional upstream processes/impacts would need to be modelled (provided that no possible rebound effects are taking place).	<i>Ce commentaire n'a pas fait l'objet de modification dans la fiche méthode.</i>
2	4.2: calculation method	Delete : The waste prevention scenario is the impact of waste prevention steps itself plus additional impact of the additional upstream.	Ok, prise en compte dans la fiche

4.5.Fiche n°5 - Approche « multi-input » et « multi-output » : retour de Gabriella Fiorentino

Index	Section of the factsheet	Comments/questions from developer(s)	Consortium's answer to comments/questions
1	NA	On behalf of all the co-authors of the paper you refer to, I am writing to provide a rebuttal on your comments about our paper. Actually, we do not feel that your interpretation of our work is correct. It is crucial to highlight that we did not intend to propose any new method for evaluating different scenarios of waste management and therefore we would like not to be judged under that point of view. Had we intended to propose a new method or a methodological innovation, the paper would have been very different. Instead, our analysis, including both multi-input and multi-output approaches, is fully referred to the present LCA methodology, as standardized by ISO standards (2006) and ILCD Handbook guidelines (2010). The multi-output approach is not proposed as a method in itself, as it appears from your comments, but it was carried out for sensitivity purposes only, in order to test the robustness of results when changing perspective and functional unit (from one ton of waste processed to one kWh of exergy delivered). The core of your criticism relies on the use of exergy, but we believe that you should reconsider your statement since our choice of using exergy is consistent with the Guidance Document for performing LCAs on Fuel Cells and H₂ Technologies, authored by Masoni & Zamagni in the framework of FC-HyGuide project (2011) funded by the Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU) (http://www.fc-hyguide.eu/guidance-document.html). Since our method is not intended to be an innovation, but only an application of a standardized methodology to a specific case study, we believe it should not even be included in your study. However, if you do, please provide the appropriate framework (application of an existing method and standard, not proposal for an innovative method).	A disclaimer has been added in the fiche and in the general presentation of the selected / prioritized methods for analysis in this report to take your first comment into account: “In the frame of the discussion we had with the authors of the method, they wanted to stress on the fact that the multi-output approach was not proposed as a method in itself but it was carried out for sensitivity purposes only, in order to test the robustness of results when changing perspective and functional unit (from one ton of waste processed to one kWh of exergy delivered). The authors claim that the approach presented here is the application of an existing method and standard, not a proposal for a innovative method. This is something to be kept in mind when reading the detailed analysis which is presented in this report, which needs to be read as a possible generalisation of the method to other cases of treatment and recovery of waste than the case study presented in the publication.” Concerning the point of using exergy as Functional Unit, we understand that this is appropriate for energetic outputs flows (electricity and heat), as mentioned in the Guidance Document for performing LCAs on Fuel Cells and H₂ Technologies, authored by Masoni & Zamagni, but it is less relevant, as it is calculated in the publication, for outputs which will be used as materials. We made the point clearer in the analysis and conclusions of the fiche.

4.6.Fiche n°6 - Couplage MFA/ACV

4.6.1. Retours d'Eva Sévigné

Index	Section of the factsheet	Comments/questions from developer(s)	Consortium's answer to comments/questions
1	4.2: Calculation method	It is highlighted that the source of the data is not precise but we included all the sources and references needed for the data collection, both for LCA and MFA, in the supplementary information.	Modification accepted: in the block "Inventory" of the figure, we deleted the previous mention and added the following: "Data are presented in detailed in Annex B". Indeed, the author transmitted to the Consortium an additional document (Annex B) providing the sources of the data.
2	6: Detailed analysis	We agree with your observations, and it is true that other factors not assessed in the paper could also be assessed (e.g., factors affecting the domestic capacity) that could generate long-term effects. This issue was highlighted by other reviewers. However, by conducting a CLCA we also analyzed the competitiveness of the virgin pulp and the recycled fibers. More research is needed but we still think that the framework could give the information required to have an overall picture of the market mechanism affecting the sector analyzed.	<i>This comment does not require any answer.</i>

4.6.2. Retours de Van Eygen

Index	Section of the factsheet	Comments/questions from developer(s)	Consortium's answer to comments/questions
1	4.3: Required Data: Data required for the LCA step of the combination...	It is mentioned that our study assessed the use of non-renewable resources. However, the CEENE method takes into account renewable resources as well. It is therefore suggested to remove the words "non-renewable" from this sentence.	Modification accepted: indeed, the methodology renewable resources as well. We deleted the words "non-renewable" in the factsheet.
2	6: Detailed Analysis: Specific issue No. 2: An assessment of the natural resource consumption is added...	CEENE actually stands for Cumulative Exergy Extraction from the Natural Environment	Modification accepted: there was a typo in the section. "... Energy..." has been replaced by "... Exergy".

4.7. Fiche n°7 - Circular Footprint Formula: retours de Luca Zampori (Commission, Européenne - JRC)

Index	Section of the factsheet	Comments/questions from developer(s)	Consortium's answer to comments/questions
1	General	In general, I would appreciate if you could highlight in the evaluation, that several stakeholders participated in the three workshops on EoL formulas, organized by the European Commission. It would be good to highlight that the CFF is the result of the input received during the workshops, and several alternatives from the EC and other stakeholders were considered, evaluated, tested and discussed.	<i>Ce commentaire n'a pas fait l'objet de modification dans la fiche ou la grille d'analyse</i>
2	General	In addition it would make sense to mention that the CFF was further discussed both at the Steering Committee and the Technical Advisory Board of the EF pilot phase. This comment best fits probably under the item "Is the method accepted by the main stakeholders?"	<i>Ce commentaire n'a pas fait l'objet de modification dans la fiche ou la grille d'analyse</i>

4.8. Fiche n°8 – ICV de la gestion de fin de vie des matériaux constitutifs des EEE dans le cadre de la filière agréée des DEEE

4.8.1. Retours de Bleu Safran

Index	Section of the factsheet	Comments/questions from developer(s)	Consortium's answer to comments/questions
1	1. Carte d'identité de la méthode / Données nécessaires	Ajout: "Pour les opérateurs de traitement de rang 2 et suivant : performance d'extraction/captage. Des taux de pertes ont été pris en compte à chacune des opérations de traitement/massification."	Modification acceptée

Index	Section of the factsheet	Comments/questions from developer(s)	Consortium's answer to comments/questions
2	1. Carte d'identité de la méthode / Données nécessaires	Ajout : "Ces données sont nécessaires pour les traitements de rang 1 mais également pour les traitements conduits par les opérateurs suivants. , Données d'activité des étapes de collecte/transport : distances de transport, mode de transport, gabarit des PL, taux de charge, taux de retour à vide."	Modification acceptée
3	5. Cas d'application	Ajout : "On note cependant dans ces travaux une logique similaire à celle de [Van Eygen, 2016], présentée dans la fiche consacrée au couplage MFA/ACV"	Modification acceptée
4	6. Analyse détaillée, paragraphe Articulation des travaux avec la Circular Footprint Formula (CFF)	Ajout : cas ICV avec bénéfice "On note que dans ce cas et avec $A = 0$, la formule correspond aux ICV avec bénéfices correspond à une extension des frontières du système."	Modification acceptée
5	6. Analyse détaillée, paragraphe Articulation des travaux avec la Circular Footprint Formula (CFF)	Ajout : cas ICV sans bénéfice "Les auteurs relèvent par ailleurs que la CFF propose une vision quelque peu simpliste de la fin de vie, celle-ci se déclinant, pour un matériau donné, à travers un procédé unique de recyclage (gouverné par R_2 dans la formule), un procédé unique de valorisation énergétique (gouverné par R_3 dans la formule) et un procédé unique d'élimination (gouverné par $(1-R_2-R_3)$ dans la formule). Or l'étude de la gestion des DEEE a pu montrer que cette configuration correspond au cas d'exception et que dans la réalité la gestion en fin de vie d'un matériau repose sur la combinaison de différents procédés de recyclage, de valorisation énergétique et d'élimination. Dans cette perspective, et en reprenant le formalisme de la CFF, une formule plus générique de la fin de vie serait la suivante :"	Modification acceptée
6	6. Analyse détaillée, paragraphe Utilisation des ICV produits dans des ACV produits par un utilisateur « standard » (i.e. praticien ACV hors adhérents Récyllum et Eco-systèmes)	Ajout: - Du point de vue de l'écoconception : l'utilisateur « standard » ne peut pas faire usage des inventaires afin d'identifier des leviers d'optimisation (distances de transport, nature et quantité d'énergie consommée lors des opérations de traitement, quantité de charbon actif, quantité d'azote, émissions de poussières...) qui porteraient, pour un matériau donné, sur sa gestion en fin de vie dans le cadre de la filière	Modification acceptée

Index	Section of the factsheet	Comments/questions from developer(s)	Consortium's answer to comments/questions
7	6. Analyse détaillée, paragraphe <i>Utilisation des ICV produits dans des ACV produits par un utilisateur « standard »</i> (i.e. praticien ACV hors adhérents Récyclum et Eco-systèmes)	Faire un // avec des ICV type Plastics Europe ou World Steel : dans ce cas, l'utilisateur « standard » n'a pas non plus la possibilité de rechercher des leviers d'optimisation internes à la production du PET ou de l'acier inox	Ok, nous avons ajouté une note de bas de page pour mentionner ce point: " <i>D'autres fournisseurs de données d'inventaires de cycle de vie tels que Plastics Europe ou la World Steel Association ont également mis en place une gestion contrôlée des données mises à disposition des utilisateurs potentiels : un utilisateur n'a pas la possibilité d'utiliser les jeux de données dans une optique d'identification de leviers d'écoconception sur la production des résines plastiques ou de l'acier par exemple.</i> "
8	6. Analyse détaillée, paragraphe <i>Utilisation des ICV produits dans des ACV produits par un utilisateur « standard »</i> (i.e. praticien ACV hors adhérents Récyclum et Eco-systèmes)	Sur la phrase: [...] <i>l'acteur en charge de la filière ne pourrait utiliser les inventaires, du fait de leur caractère "boîte noire"</i> [...] : Ceci n'est pas très clair pour moi : de quelle utilisation parle-t-on ? Est-ce repartir des ICV ES et RL pour s'éviter une partie du travail et modéliser sa filière à moindre effort, capitaliser sur l'existant ?	Ce que nous avons voulu dire c'est qu'un praticien ne pourrait pas ajuster l'ICV à un contexte donné. Précision apportée : " <i>l'acteur en charge de la filière ne pourrait pas capitaliser sur l'existant</i> "
9	6. Analyse détaillée, paragraphe <i>Utilisation des ICV produits dans des ACV produits par un utilisateur « standard »</i> (i.e. praticien ACV hors adhérents Récyclum et Eco-systèmes)	Attention la différence entre hors filière et OMR est fondamentale : sauf dans le cas particulier des T&L, le hors filière ne correspond pas du tout à une gestion OMR. Et c'est bien une des raisons qui font que cette gestion n'a pas été étudiée.	Pour éviter la confusion avec « hors filière », nous avons revu la formulation ici, et nous avons bien distingué le « hors filière » de l'orientation en OMR plus loin: " <i>en dehors de la filière agréée</i> "

Index	Section of the factsheet	Comments/questions from developer(s)	Consortium's answer to comments/questions
10	6. Analyse détaillée, paragraphe <i>Utilisation des ICV produits dans des ACV produits par un utilisateur « standard » (i.e. praticien ACV hors adhérents Récyclum et Eco-systèmes)</i>	Phrase suivante : « Dans le cadre de la réalisation d'ACV produits, le praticien pourrait souhaiter modéliser la fin de vie des équipements qui ne sont pas orientés vers les filières agréées, à savoir : - Orientation des DEEE vers le « hors filière » ; - Orientation des DEEE dans le flux OMR. » La formulation actuelle peut laisser penser que le flux OMR est autre chose que du « hors filière », ce qui n'est pas le cas. Je proposerai plutôt : <i>« Dans le cadre de la réalisation d'ACV produits, le praticien pourrait souhaiter modéliser la fin de vie des équipements qui ne sont pas orientés vers les filières agréées, à savoir une orientation des DEEE vers le « hors filière » celui-ci pouvant intégrer une part de DEEE gérée dans le flux OMR mais pas seulement »</i>	Proposition acceptée
11	6. Analyse détaillée, paragraphe <i>Utilisation des ICV produits dans des ACV produits par un utilisateur « standard » (i.e. praticien ACV hors adhérents Récyclum et Eco-systèmes)</i>	Dire quelques mots sur le hors filière et la difficulté de l'aborder : - Hors filière n'exclut pas nécessairement le recyclage, notamment des métaux courants et des métaux précieux. Mais pas de garantie d'optimisation de la valorisation matière et énergétique (pour les matériaux présentant un intérêt économique nul ou très secondaire : plastiques, béton, bois...) - Hors filière n'offre aucune garantie sur la dépollution et la gestion adéquate des polluants. Le hors filière est par nature même complexe, mal connu et couvre potentiellement des pratiques très disparates (recyclage dans des conditions/des installations non conformes, exports légal ou illégal, gestion avec les ordures ménagères...). l'acquisition des connaissances nécessaires à la modélisation de ce devenir est une gageure dans la mesure où elle peut impliquer des compétences, policières par exemple, qui ne relèvent pas des expertises conventionnellement mobilisées dans des travaux d'ICV.	Proposition acceptée. Paragraphe suivant ajouté : <i>"Notes sur la gestion « hors filière » des DEEE : le hors filière est par nature même complexe, mal connu et couvre potentiellement des pratiques très disparates (recyclage dans des conditions/des installations non conformes, exports légal ou illégal, gestion avec les ordures ménagères...). L'acquisition des connaissances nécessaires à la modélisation de ce devenir est une gageure dans la mesure où elle peut impliquer des compétences, policières par exemple, qui ne relèvent pas des expertises conventionnellement mobilisées dans des travaux d'ICV.</i> <i>En particulier :</i> - <i>Le hors filière n'exclut pas nécessairement le recyclage, notamment des métaux courants et des métaux précieux. Mais la gestion des DEEE « hors filière » n'apporte aucune garantie d'optimisation de la valorisation matière et énergétique notamment pour les matériaux présentant un intérêt économique nul ou marginal : plastiques, béton, bois...)</i> ; - <i>De plus, les traitements des DEEE « hors filière » n'offre aucune garantie sur la mise en œuvre des étapes de dépollution et sur la gestion adéquate des polluants.</i> "

Index	Section of the factsheet	Comments/questions from developer(s)	Consortium's answer to comments/questions
12	6. Analyse détaillée, paragraphe <i>Utilisation des ICV produits dans des ACV produits par un utilisateur « standard » (i.e. praticien ACV hors adhérents Récyclum et Eco-systèmes)</i>	Voir par exemple les travaux européens CWIT dans lesquels Interpol était un des acteurs principaux http://www.cwitproject.eu/project-overview/	Intégré en note de bas de page
9	6. Analyse détaillée, paragraphe <i>Utilisation des ICV produits dans des ACV produits par un utilisateur « standard » (i.e. praticien ACV hors adhérents Récyclum et Eco-systèmes)</i>	Schéma : attention à éviter l'assimilation du "hors filière" à la gestion avec les OMR. Sur le schéma, faire apparaître un cadre <i>"Hors filière, dont collecte et traitement avec les OMR"</i>	Ok, modification intégrée au schéma
10	7. Conclusion / Avis sur la méthode	"- <i>Pour des systèmes dont la composition est complexe, la mise en œuvre du couplage MFA/ACV induit rapidement une charge de travail conséquente qui doit être anticipée par les utilisateurs</i> " : OK mais quelles conséquences si on ne fait pas ce travail ?	Précision ajoutée: <i>"Toutefois, comme évoqué précédemment, ce travail de MFA est, selon nous, une étape nécessaire dans une étude ACV déchets afin d'obtenir un modèle suffisamment robuste garantissant ainsi la fiabilité des résultats obtenus."</i>
11	7. Conclusion / Avis sur la méthode	" <i>Concernant les données d'inventaires produites dans le cadre spécifique de ce projet, certaines limites d'utilisation notamment par des utilisateurs non adhérents aux éco-organismes [...]</i> " : pourquoi distinguer adhérents/non adhérents dans la mesure où les données / la documentation diffusées sont les mêmes pour tout le monde ?	Formulation révisée : <i>" Concernant les données d'inventaires produites dans le cadre spécifique de ce projet, certaines limites d'utilisation notamment par des utilisateurs « standard », c'est-à-dire les autres utilisateurs que les éco-organismes [...]"</i>

4.8.2. Retours de Récyclum

Index	Section of the factsheet	Comments/questions from developer(s)	Consortium's answer to comments/questions
1	4.Description / 4.1. Principes	Dans certains cas spécifiques, le périmètre d'étude prend en compte les pertes en amont de la collecte : émissions de gaz de réfrigération et d'huile qui sont dues aux GEMF endommagés ou aux GEMF dont le compresseur est absent, émissions de mercure qui sont dues aux Tubes et Lampes brisés dans les conteneurs de collecte	Ajouté en remarque sous la figure

4.8.3. Retours d'Eco-systèmes

Index	Section of the factsheet	Comments/questions from developer(s)	Consortium's answer to comments/questions
1	3. Enjeux / objectifs	Je ne parlerai pas d'un « autre objectif » : encourager et faciliter des démarches d'éco-conception sur les produits est « L'objectif » de ces travaux. Cela passe en partie par les différenciations évoquées dans ce §, mais plus généralement par le choix (structurant en termes de méthode de travail) de développer des ICV à l'échelle de chaque matériau, et non à l'échelle d'1 tonne de DEEE, ou d'1 réfrigérateur-type par exemple (ce qui ne permettrait pas de rendre compte de la composition spécifique du produit).	Nous avons remonté ce paragraphe et modifié la formulation: "Encourager et faciliter les démarches d'éco-conception" <i>Etant donné l'intérêt croissant des producteurs adhérents concernant l'utilisation efficace des ressources, l'objectif principal des travaux est de fournir des ICV pouvant être différenciés par la prise en compte de critères d'éco-conception (exemple : taux de charge dans les plastiques) lorsque cela s'avère pertinent afin de favoriser des démarches d'éco-conception.</i> <i>Les données d'ICV produites sont diffusées publiquement, via des outils et des bases de données ACV publiques, au niveau européen sur le Life Cycle Data Network du JRC (Joint Research Center) (http://weee-lci.eco-systemes.com et http://weee-lci.recylum.com) et ultérieurement au niveau français via la base IMPACTS® et l'outil de calcul Bilan Produit de l'ADEME."</i>
2	6. Analyse détaillée	A noter que l'approche binaire adoptée à date est également liée à l'absence de cadre d'application stable de la CFF. De plus, il conviendrait de différencier les paramètres propres à l'activité (R2, R3, Qs/Qp, etc...), qui ne sont en effet pas destinés à être re-manipulés par les utilisateurs finaux (car ils sont propres à la filière), de ceux qui relèvent plutôt de choix (partiellement au moins) arbitraires, comme les facteurs d'allocation. Si dans le futur les utilisateurs expriment un intérêt pour se conformer au référentiel PEF et que celui-ci établissait des facteurs d'allocations différents de ceux appliqués actuellement, les commanditaires pourraient mettre à disposition des ICV recalculés avec ces facteurs. La contrainte n'est pas générée par les règles mises en œuvre dans les ICV, mais de l'absence de règles stables et consensuelles sur certains paramètres au niveau du PEF (cette contrainte s'imposant aux utilisateurs et à nous, nous obligeant à effectuer un choix par défaut, qui pourra être revu en tant que de besoin).	

3	6. Analyse détaillée	fait qu'au moment où tous les industriels du secteur se demandent comment, pour leurs produits, ils pourraient appliquer de façon robuste la CFF et les nombreux paramètres entrant en jeu, ces ICV viennent justement apporter une réponse en intégrant l'ensemble des paramètres utiles (pas seulement R2 et R3, mais bien tous les inputs/outputs associés à toutes les étapes de la chaîne, les rendements associés, les notions de qualités, de nature de l'énergie ou de la matière substituée, etc. etc.) et qui sont de toute façon génériques pour l'utilisateur (les producteurs des EEE modélisés dans ce projet, en France comme ailleurs, ne gèrent pas directement le recyclage de leurs produits), dans une donnée construite à la maille pertinente pour les utilisateurs puisqu'elle ne nécessite que de connaître la composition matière du produit. Cet objectif, important pour les utilisateurs des ICV, est à l'origine du parti pris dont ne sont présentés ici que les aspects « limitatifs ».	Nous avons réintégré ces éléments explicatifs qui ont conduit à l'adoption de l'approche .
4	6. Analyse détaillée	L'utilisateur « standard » est, dans notre contexte, un producteur d'EEE ou consultant réalisant une ACV pour son compte dans un but d'éco-conception « produit ». Les objectifs et contexte d'utilisation possibles de ces ICV sont affichés de façon transparente en ce sens. Le paragraphe ci-dessous fait référence à une utilisation « détournée » des ICV : comme par ex. étudier le bénéfice ou les impacts de modifications de la chaîne de collecte et de traitement existante. Mais cette utilisation ne peut pas être décrite comme « standard » au regard des objectifs de l'étude: c'est justement un usage détourné.	Nous avons clarifié la terminologie pour lever toute ambiguïté entre « utilisateur standard » tel que défini dans l'étude Récyllum/Eco-systèmes/ADEME et l'utilisation par un praticien ACV « lambda »
5	6. Analyse détaillée	Risque de confusion : on parle ici d'éco-conception au niveau de sites, de procédés, ou de la filière dans son ensemble. Dans ce cas, qui constitue une utilisation détournée des ICV, les limites existent en effet. En revanche, dans un but d'éco-conception au niveau des produits (but de ces ICV), ces limites n'en sont pas (cf commentaire ci-dessus). Il faudrait distinguer : éco-conception de quoi ?	Paragraphe supprimé à la lumière de ces éléments.

6	6. Analyse détaillée	Un gros point d'attention par rapport à ce point et à cette formulation : la rédaction laisse entendre que nous souhaitons « capter » cette maîtrise, utiliser ces travaux pour constituer une situation de monopole, « devenir » les « seuls acteurs ». La réalité est inverse : nos missions sont définies dans un cadre réglementaire très précis qui nous donne des responsabilités particulières : garantir la dépollution des équipements, mesurer les taux de recyclage et valorisation énergétique, garantir une traçabilité sur le devenir des matières, et qui font de nous en effet le seul acteur à même de maîtriser l'ensemble de la filière (c'est précisément notre rôle). Encore une fois, on parle là d'une utilisation détournée des ICV par rapport à leurs objectifs : il semble important, s'agissant d'ACV, de clarifier si l'analyse vaut par rapport aux objectifs affichés des travaux, ou si l'on se situe dans un autre champ.	Paragraphe supprimé à la lumière de ces éléments.
7	6. Analyse détaillée	Pourquoi pas, mais dans ce cas, rien ne dit que nos données puissent refléter cette filière individuelle : l'organisation de la filière, les procédés utilisés et l'orientation des fractions découlent de choix et d'investissements : on ne peut pas laisser entendre qu'une filière DEEE équivaut « a priori » à une autre et pourrait en reprendre les données telles quelles (la difficulté à harmoniser les pratiques et systèmes de reporting entre états membres le montrent bien, par exemple).	Oui nous sommes tout à fait d'accord avec cette remarque, et nous avons revu la rédaction de ce point. Nous sommes tout à fait conscients qu'une utilisation telle que décrite ne serait pas en ligne avec les règles d'utilisation des ICV et que cela ne ferait pas forcément sens en terme de représentativité. Toutefois, nous souhaitons seulement clarifier ce point car l'un des objectifs de la présente étude est de fournir des éléments très « opérationnels » aux membres de SCORELCA. L'utilisation d'ICVs existants comme base de modélisation est une pratique très courante des praticiens (même si souvent discutable) : certaines fédérations « matériaux » prennent en compte cet usage et acceptent parfois de mettre à disposition des inventaires « unit » pour permettre aux praticiens de jouer sur certains paramètres.

8	7. Conclusions / avis sur la méthode	Il y a donc une confusion forte, dans cette analyse, sur l'utilisation recherchée de ces ICV (cf commentaires précédents). Les éco-organismes ne sont pas les utilisateurs des ICV diffusés. Les utilisateurs « standards » ciblés sont les producteurs d'équipements (et leurs BE, consultants, ...) dans le cadre de démarches d'éco-conception « produits ». C'est justement toute la spécificité de ces travaux, qui n'est nulle part reflétée : la méthode visait à passer, grâce au couplage MFA/ACV, d'une connaissance du traitement de flux de déchets (disponible au niveau des éco-organismes) à des données utiles à une échelle « produits » (au niveau des fabricants). Les limites citées ne relèvent pas de spécifications techniques spécifiques des commanditaires : elles relèveraient d'une utilisation détournée des ICV par rapport à leurs objectifs et à ceux des producteurs (qui ont conduits à ces spécifications techniques).	Le paragraphe a été modifié comme suit: <i>"Concernant les données d'inventaires produites dans le cadre spécifique de ce projet, les commanditaires ont fait le choix de mettre à disposition les jeux de données dans un format agrégé permettant de transposer la connaissance fine des éco-organismes des filières de traitement des flux de déchet d'EEE à des jeux de données indispensables et facilement utilisables à une échelle « produits » par les utilisateurs finaux. A noter que le caractère agrégé des données ne permet pas aux utilisateurs finaux d'adapter les inventaires à un contexte d'étude donné comme cela est souvent pratiqué. Toutefois, ce type d'utilisation détournée par rapport aux objectifs initiaux ne permettrait en aucun cas de garantir et conservée la bonne représentativité des jeux de données : une filière de traitement d'un flux de déchet donné en France n'est pas transposable à un autre contexte géographique par exemple."</i>
---	--------------------------------------	--	--