HAL open science

Évaluation de la Performance Technique des Scénarios de Recyclage durant la Conception

Guilhem G. Grimaud, Nicolas Perry, Bertrand Laratte

To cite this version:

Guilhem G. Grimaud, Nicolas Perry, Bertrand Laratte. Évaluation de la Performance Technique des Scénarios de Recyclage durant la Conception. 15e Colloque National AIP-Priméca, Apr 2017, La Plagne, France. pp.247-253. hal-01696442

HAL Id: hal-01696442

https://hal.science/hal-01696442v1

Submitted on 30 Jan 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Évaluation de la Performance Technique des Scénarios de Recyclage durant la Conception

Écoconception, économie circulaire et soutenabilité des systèmes

Guilhem Grimaud
MTB Recycling/Arts & Métiers ParisTech, I2M
Quartier de la Gare
38460 Trept — France
Guilhem.GRIMAUD@ensam.eu

Nicolas Perry
Arts & Métiers ParisTech, I2M, UMR5295
Esplanade des Arts et Métiers
33405 Talence — France
Nicolas.PERRY@ensam.eu

Bertrand Laratte
Arts & Métiers ParisTech, I2M, UMR5295/APESA
Esplanade des Arts et Métiers
33405 Talence — France
Bertrand.LARATTE@ensam.eu

Résumé — Pour déployer des solutions industrielles de recyclage compétitives pour une large gamme de produits en fin de vie, les recycleurs doivent connaître les performances de chaque solution. Actuellement, les seuls outils disponibles permettent des évaluations longues au cas par cas. Nos travaux ont pour objet la création d'une méthodologie pour évaluer les performances développement durable des scénarios de recyclage. L'outil se destine à une utilisation par le concepteur de filières de recyclage afin de communiquer au donneur d'ordre les performances des solutions de recyclage. Dans cet article, nous présentons la méthodologie mise en œuvre pour construire l'outil d'évaluation. Cet outil doit permettre d'optimiser les voies de recyclage des produits complexes. Notre approche est basée sur différents outils d'évaluation pour déterminer chaque performance : environnementale, technique et économique. Dans cet article, nous présentons la démarche en lien avec l'évaluation technique de la performance. Cette dernière est déterminée sous le prisme du programme européen de vérification ETV (Environmental Technology Verification). Le but est de pouvoir proposer sur le marché des solutions identifiées comme les meilleures écotechnologies disponibles.

Mots-clés — Recyclage, Conception de Processus, Outil d'Évaluation, Base de données, ETV Verification

I. INTRODUCTION

L'augmentation de la population mondiale et des conditions de vie vont de pair avec la croissance de la demande en énergie et en ressources primaires. Outre l'augmentation des émissions de gaz à effet dans l'atmosphère, le volume annuel de déchets croit également à mesure du développement économique [1, 2]. La demande en ressources primaires n'est pas soutenable sur le long terme [3]. Il est vital de trouver des solutions industrielles permettant à la fois de garantir nos conditions de vie tout en découplant l'utilisation des ressources primaire de la demande [4]. Pour résoudre cette équation, l'économie circulaire propose une solution partielle [5]. Pour l'instant, ce changement de paradigme est principalement motivé par des considérations économiques [6–8] par les entreprises qui cherchent des solutions de recyclage en boucle fermée afin de s'affranchir du prix des matières premières [9]. Ces boucles fermées reposent sur des voies de recyclages sur-mesure. D'un point de vue environnemental, le recyclage par secteur demeure le plus efficace, comme nous l'avons démontré pour les câbles en aluminium [10]. Cependant, ces filières de recyclage centrées sur une typologie de produit se limitent à des produits spécifiques. Pour accroître le taux de recyclage, ces solutions doivent devenir plus agiles pour être généralisées à un large éventail de produits en Fin de Vie (FdV) [11].

Or la généralisation à des familles entre également en contradiction avec les filières de recyclage ultraspécialisées déployées pour répondre la complexité galopante des produits en FdV [12]. Pour extraire l'ensemble des matériaux constituants, les sous-ensembles des produits complexes, les scénarios de FdV intègrent de plus en plus de technologies [13–16]. La généralisation à des familles plus large semble compliquée avec les méthodes disponibles. Une fois encore ces filières de recyclage sont ultraspécialisées. En l'absence de réglementation sur les solutions techniques de recyclage, une même catégorie de produits peut être recyclée par différentes filières. Chaque filière de recyclage utilise des technologies de recyclage différentes. Aussi, les concepteurs de scénarios de FdV ont l'opportunité de construire le meilleur agencement de

technologies élémentaires de recyclage. Notre expérience démontre qu'actuellement les choix de conception sont exclusivement pris selon des considérations économiques et se révèlent particulièrement contre-productifs d'un point de vue environnemental pour limiter l'épuisement des ressources [17].

Toutefois, certains clients de solution de recyclage ont fait part à l'entreprise MTB (fabricant et intégrateur de solutions de recyclage) de la nécessité de mieux quantifier l'impact environnemental des solutions de recyclage. C'est pourquoi MTB s'est lancé dans une démarche d'écoconception de ses procédés de recyclage. Cette démarche s'est concrétisée en 2015 avec l'évaluation environnementale du procédé de traitement des câbles en aluminium à l'aide des outils d'analyse des flux de matière (MFA) ainsi que d'Analyse de Cycle de Vie (ACV) [10].

Nonobstant une démarche pertinente, elle pose plusieurs limites à la démarche d'écoconception. La première, les outils utilisés sont complexes et lents au regard de la démarche de conception [18–20]. La deuxième limite, les résultats sont obtenus après la mise en service de la filière de recyclage et l'investissement est déjà réalisé. De fait, les industriels sont réticents pour optimiser l'efficacité des procédés [21, 22]. La troisième limite, l'approche est empirique et bien que répétable la démarche ne repose pas sur un outil pas-à-pas guidant le concepteur dans l'optimisation des procédés.

Bien que les outils et méthodes d'écoconception soient disponibles pour les produits [23–25], elles sont majoritairement issues des recommandations des différentes normes [26, 27]. Ces normes traitent souvent exclusivement de l'approche produit et l'approche procédé n'est vu qu'au travers de l'efficience énergétique. Pour l'heure, les processus sont régis par des réglementations sectorielles. De nombreux secteurs industriels peuvent ainsi se référer aux Meilleures Techniques Disponibles (MTD) ou *Best Available Technology* (BAT). Un document de référence pour les technologies de traitement des déchets existe [28,29], mais ce dernier se borne à détailler les seuils d'émissions dans les différents compartiments.

Par conséquent, il semble nécessaire de développer une méthodologie efficace permettant d'accompagner le concepteur dans la phase amont de décision du meilleur agencement des technologies de recyclage pour chaque typologie de déchets. La solution retenue repose sur un outil d'évaluation des performances environnementales, économiques et sociales [30]. Offrir aux concepteurs un outil d'évaluation permet de quantifier les gains et pertes des choix combinatoires. Cette approche processus de recyclage est complémentaire à l'évaluation des filières de recyclage [31].

Dans cet article, nous revenons sur la construction de l'outil d'auto-évaluation des scénarios de recyclage basée sur les recommandations du programme Vérification des Technologies Environnementales (ETV). La méthodologie proposée consiste à comparer les performances de différents scénarios pour le recyclage d'une même typologie de déchets, dans la phase préliminaire de conception.

II. Cadre de l'étude

A. *Le programme de vérification des écotechnologies*

Partant du constat, que beaucoup de technologies permettent des gains environnementaux ou sociaux, mais n'arrivent pas à émerger sur le marché par manque de reconnaissances. Le programme ETV (*Environmental Technology Verification*, en anglais) est un nouvel outil destiné à aider les écotechnologies à atteindre leur marché par le biais d'un protocole de tests. Le programme ETV s'intéresse plus spécifiquement à la vérification des revendications de performances de l'écotechnologie. La vérification est réalisée par une tierce partie : *Verification body*, un laboratoire indépendant et accrédité.

En amont de la vérification, le proposant exprime ses revendications sous la forme de performances à vérifier. Le laboratoire de vérification édite alors un protocole de vérification avec des essais à conduire par un ou plusieurs laboratoires d'analyse. À l'issue des travaux de vérification, un certificat de vérification est délivré et peut être utilisé pour promouvoir la crédibilité de l'écotechnologie [36]. Après une phase de test, le programme ETV est entré dans une phase définitive avec la publication de la norme ISO 14034 en novembre 2016 [37].

L'objectif reste inchangé, promouvoir le développement des écotechnologies en proposant un cadre normatif aussi bien aux bureaux d'études, fabricants, mais aussi aux investisseurs en proposant une vérification des performances techniques par une tierce partie [38]. Nous présentons sur la , les principales étapes du procédé de vérification ETV. Chaque vérification ETV est unique et se base sur un protocole construit au cas par cas en fonction du procédé à vérifier en fonction des revendications établies par le déposant. Le protocole de vérification est établi par le laboratoire et validé par un expert indépendant. Cette vérification est longue, entre 6 et 18 mois [39]. Par comparaison, le temps d'étude d'un procédé de recyclage sans développement spécifique demande 3 à 6 mois.

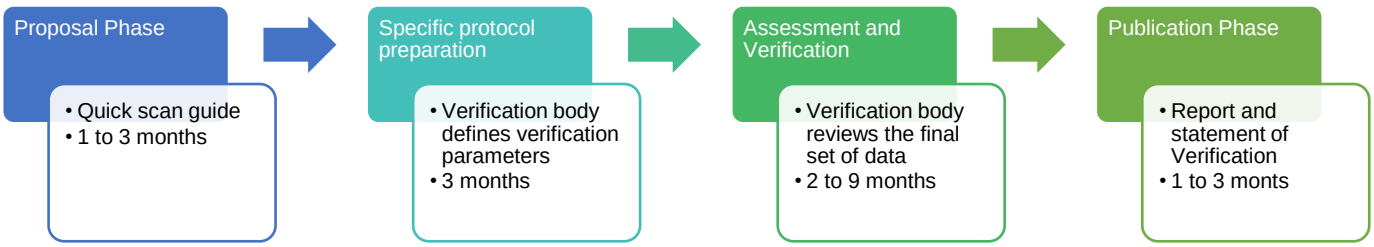

Figure 1 Principales étapes du programme européen de vérification des technologies environnementales ETV

Bien que ce temps de vérification soit trop long pour l'étape amont de conception, il permet de fournir des exigences générales aux concepteurs. Ces exigences visent à établir les performances et les indicateurs relatifs pouvant servir à la définition des revendications à la mise sur le marché [40]. L'émergence du programme européen ETV semble être un moyen pertinent pour construire une méthodologie axée sur les processus de recyclage. Pour constituer le cadre de la méthodologie d'aide à la décision, un protocole est en cours de rédaction en collaboration avec le laboratoire de vérification RESCOLL. Ce protocole de vérification porte plus spécifiquement sur la solution de recyclage de l'aluminium développée par MTB et analysée par la méthode ACV [42].

B. *Définition des scénarios de recyclage*

Les scénarios de recyclage que nous nous proposons d'étudier reposent sur des briques technologiques élémentaires. Le choix des technologies élémentaires ainsi que l'ordre retenu pour le synoptique du procédé de recyclage a une grande influence sur la compétitivité générale du scénario de traitement des déchets [32]. Cette combinaison vise à atteindre un ensemble de performances en lien avec les caractéristiques des déchets entrants, des produits recyclés, de leur quantité et de leur pureté. Les solutions sont souvent dupliquées et adaptées aux déchets entrants. Les choix d'assemblage des technologies élémentaires sont l'un des points clés pour concevoir des scénarios de recyclage efficaces. Mis à part quelques innovations de ruptures, les procédés de recyclage reposent majoritairement sur des procédés de traitement mécanique [33]. Dès lors, la performance technique dépend largement de l'agencement des technologies élémentaires, plutôt que des innovations technologiques propres à une filière [34].

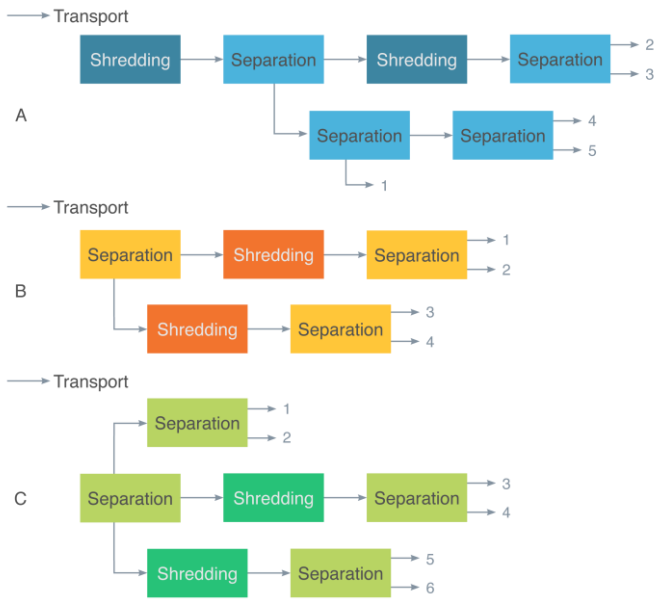

FIGURE 2 PRÉSENTATION DE DIFFÉRENTS SCÉNARIOS DE RECYCLAGE POUR UN MÊME DÉCHET

Les briques élémentaires des scénarios de recyclage sont fortement interdépendantes. De fait, les choix technologiques ont une grande influence sur les choix aval. De même, les modifications de flux contraignent également fortement les choix. Malgré tout, la réponse n'est pas unique et différents scénarios de recyclage peuvent être proposés comme le montre la Figure 2.

C. *La construction des scénarios de recyclage*

Dans notre étude, nous avons étudié une large gamme de scénarios de recyclage. Nous avons pu catégoriser en 3 types les solutions technologiques des briques élémentaires [35] :

- Broyage (shredding)
- Séparation
- Transport

Ces trois catégories de processus sont subdivisées en sous-catégories. Pour les procédés de broyage, il existe 4 sous-catégories : broyage, déchiquetage, granulation, micronisation. Dans ces quatre sous-catégories, il existe un large éventail de technologies qui visent les mêmes objectifs, mais pour différents matériaux, quantités, formes, etc. Le niveau de performance est ainsi individualisé pour chaque solution technologique. Nous avons choisi de définir la performance technique des procédés de broyage selon un indicateur de *finesse*. C'est-à-dire la capacité de la solution technologique à broyer le matériau de façon uniforme en respectant une granulométrie définie tout en produisant de faibles émissions de fines (ou poussières).

Nous avons appliqué la même démarche pour la catégorie des technologies de séparation. La performance technique de ces technologies est définie par le *taux de pureté* et le *taux de captage*. La pureté est spécifique au critère de séparation. Le taux de captage considère la capacité de la technologie à extraire les éléments répondant au critère de séparation. Le nombre de sous-catégories n'est pas limité, car les technologies de séparation sont un domaine où les évolutions technologiques sont fortes. De plus, les contraindre risque de nous limiter à l'état de l'art actuel sans prendre en compte les nouvelles solutions plus efficaces. Nous préférons définir des critères de séparation : taille, forme, densité, réponse magnétique, réponse électrostatique, couleur, composition chimique, etc.

Enfin, la catégorie des technologies de transport regroupe l'ensemble des processus capables de répondre aux contraintes de stockage et de convoyage entre deux étapes du scénario de recyclage. Nous avons pu définir 3 sous-catégories : stockage, transport pneumatique et transport mécanique. La performance technique des solutions de transport est définie par leur *débit*.

D. Évaluation de la performance technique des scénarios de recyclage

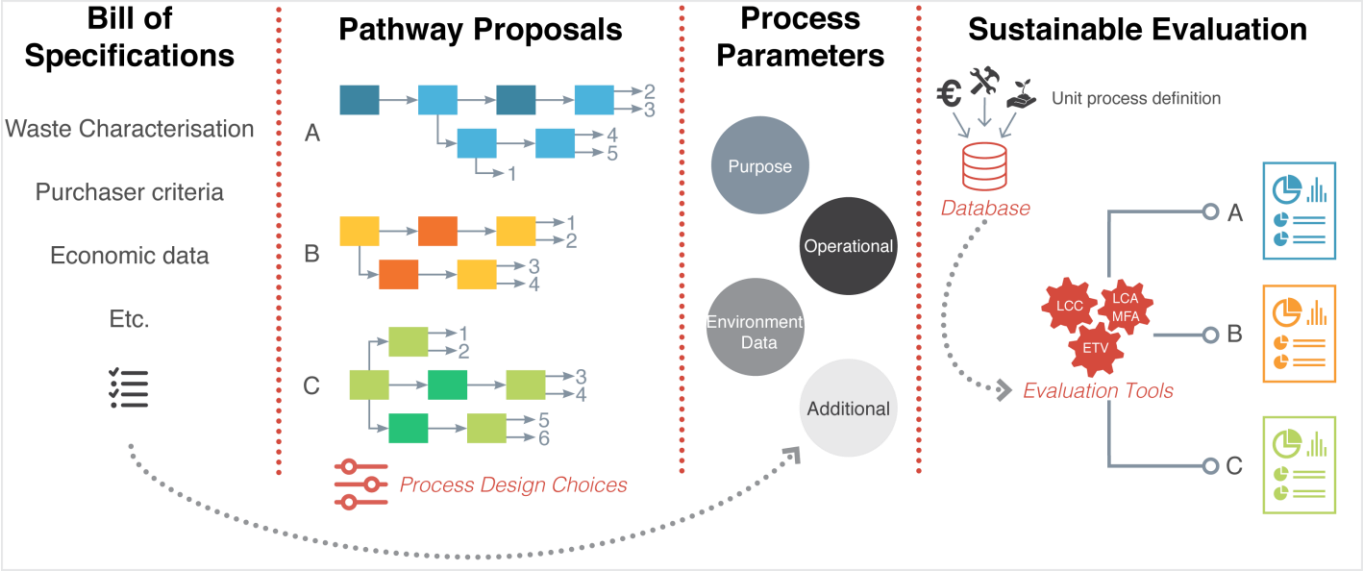

FIGURE 3 VUE D'ENSEMBLE DE LA MÉTHODOLOGIE D'AIDE À LA DÉCISION POUR LA CONCEPTION D'UN PROCESSUS DE RECYCLAGE DURABLE

Dans notre cas d'étude, nous souhaitons utiliser les exigences générales du programme ETV, le protocole de vérification et les paramètres de vérification édités pour construire un outil d'autovérification des performances techniques. Le but de l'outil d'autovérification est de donner des réponses immédiates aux concepteurs sur l'évaluation de la performance Développement Durable (DD) associés à chacun des scénarios de recyclage envisagés. Le concepteur sera en mesure de tester différents scénarios de recyclage durant la phase de conception afin de l'accompagner dans le choix final.

Pour permettre l'auto-évaluation technique, la phase de proposition ETV (premier bloc sur la) est basculée en arrière-plan et automatisée. Les données d'entrée proviennent du cahier des charges. Ces données pourront faire l'objet d'un affinage au cours des étapes de conception. La méthodologie d'aide à la décision développée offre la possibilité de comparer différents scénarios de recyclage. Ainsi, le donneur d'ordre est en capacité de retenir la meilleure solution, correspondant à l'ensemble des critères définis dans le cahier des charges, mais aussi en fonction de la performance développement durable du procédé.

La présente l'aperçu de la méthodologie d'aide à la décision. La méthodologie est divisée en 4 étapes principales. Le point de départ est la définition du cahier des charges. Le donneur d'ordre fournit la caractérisation de ses déchets pour préciser la composition. Cette caractérisation vise à définir les matériaux pouvant être récupérés par le recyclage. C'est aussi dans cette phase que le donneur d'ordre émet des contraintes spécifiques et les limites économiques. Nous utilisons également des données économiques en lien avec le marché. Au cours de la première étape, l'information est principalement recueillie par la discussion entre le donneur d'ordre et le concepteur du procédé de recyclage.

La seconde étape concerne l'idéalisation des scénarios de recyclage. Ce travail est effectué par le concepteur. Toutes les informations sont utilisées par les concepteurs pour choisir les technologies de processus et l'assemblage idéal pour chaque scénario de recyclage. Suite à ce travail, généralement plusieurs solutions répondent aux critères du cahier des charges et peuvent être proposées au donneur d'ordre. Pour chaque scénario, les paramètres de référence sont établis pour permettre l'évaluation grâce à notre outil. La définition du paramètre est le nœud de la méthode. En effet, ces paramètres sont immédiatement utilisés pour moduler les données dans la base de données.

Le concepteur choisit alors de soumettre à l'évaluation un ou plusieurs scénarios. Pour cela, l'outil utilise la Base De Données (BDD) qui contient les scores calculés selon 3 types de performances (technique, environnementale et économique) pour chaque processus. Ce résultat est donné en intégrant les paramètres entrants spécifiques au projet. Les résultats de l'évaluation reposent sur les outils d'évaluation à la fois technique (méthodologie ETV) économiques (*Life Cycle Cost*), environnementaux (ACV et MFA) [43]. À la fin de ce travail d'évaluation, le concepteur et le donneur d'ordre disposent des éléments pour juger des performances de chaque solution.

III. RÉSULTATS

Même si de nombreuses options techniques existent pour développer le recyclage des produits ; la seule motivation est trop souvent compétitivité financière de la solution de traitement en fin de vie. Cette logique économique induit bien souvent une inefficacité des scénarios de FdV et le recyclage est souvent perdant [17]. La méthodologie d'aide à la décision proposée doit promouvoir des solutions durables de traitement des déchets. Notre méthodologie vise à introduire de nouveaux indicateurs de performances techniques et DD pour accompagner le choix du donneur d'ordre. Afin d'étayer cette évaluation, il est essentiel de disposer d'une base de données configurable fournissant un

premier résultat approximatif dans les phases amont de conception.

Catégorie	Paramètres	Performance
Broyage	• Réduction de taille • Densité • Flux	Finesse
Séparation	• Taille de particule • Composition • Flux	Pureté Captage
Transport	• Taille de particule • Densité • Flux	Débit

TABLEAU 1 DÉFINITION DES PARAMÈTRES ET INDICATEURS DE PERFORMANCE TECHNIQUE DES PROCÉDÉS ÉLÉMENTAIRES DE RECYCLAGE

Pour l'ensemble des catégories de technologie, le Tableau 1 présente les paramètres nécessaires aux calculs de la performance technique. Ces paramètres permettent également de sélectionner le processus technologique approprié. Les variables du processus (consommation électrique, consommables, opérations de maintenance, etc.) sont directement liées aux paramètres. Chaque processus technologique possède sa propre base de données de variable de processus.

Un premier volet de résultat concerne l'évaluation technique du scénario : consommation d'énergie et bilan de masse (déchet ultime). Un deuxième volet de résultats concerne l'évaluation économique du scénario présentée selon 2 indicateurs : le coût d'investissement et le coût de fonctionnement. L'évaluation environnementale associée aux variables de processus est extraite directement de la base de données pour afficher un résultat selon les 2 catégories d'impact : changement climatique et épuisement des ressources non renouvelables. L'impact social n'est pas encore étudié.

Pour l'évaluation économique, les données sont facilement accessibles à partir des informations fournies par les fabricants et les utilisateurs. Ces variables de processus seront directement intégrées dans la base de données. L'évaluation environnementale repose sur les facteurs d'impact retenus par la méthodologie ILCD [44].

IV. DISCUSSION ET CONCLUSION

Le programme de vérification ETV n'est pas destiné à proprement parler à accompagner des activités d'écoconception des procédés industriels. Cependant, nous avons pu constater que sa méthodologie pouvait fournir une base solide pour évaluer techniquement les processus et ainsi sélectionner le meilleur scénario pour réduire les impacts environnementaux des scénarios de recyclage. La méthodologie d'aide à la décision doit fournir aux donneurs d'ordre les éléments suffisants pour comparer les performances DD des différents scénarios de recyclage envisagés par le concepteur. Le concepteur sera ainsi stimulé pour optimiser les solutions de recyclage proposées et contribuer à atteindre les meilleures performances en accord avec le cahier des charges.

Cependant notre outil demande à s'intégrer dans une démarche de conception structurée. La méthode de conception mise en œuvre au sein de l'entreprise MTB laisse beaucoup de marge pour la vérification des performances techniques. Les contrôles sont effectués dans les premières phases de conception par des essais. Ces essais visent à vérifier la capacité des procédés élémentaires à broyer, séparer ou transporter les déchets en avec les exigences du cahier des charges. Souvent, plusieurs solutions sont testées et présentées au client.

Un premier point de blocage identifié dans la construction de la méthodologie est lié aux différences de propriétés physiques des déchets et à leur évolution au cours du scénario de recyclage. Un deuxième point de blocage concerne l'intégration des données économiques de valorisation des matières à la fin de la filière de recyclage. En effet, il est difficile de connaître exactement les performances de traitement de chaque technologie avant le test. Un troisième point de blocage concerne les données sur la performance environnementale qui ne sont pas disponibles dans les bases de données d'ACV actuelles (ELCD, Gabi, Ecoinvent). Les données d'inventaire sont à collecter pour être évaluées afin de construire la BDD.

Notre équipe a commencé à construire une BDD environnementale pour les processus de recyclage grâce à des mesures supplémentaires implémentées durant les phases d'essais sur site. Un travail est encore nécessaire pour réduire l'incertitude sur les résultats de l'impact environnemental de la base de données. Les incertitudes proviennent à la fois des modèles et des données collectées. En outre, chaque incertitude du processus doit être normalisée pour assurer leur compatibilité tout au long du scénario de recyclage.

Si la méthode d'aide à la décision peut permettre d'optimiser l'impact des scénarios de recyclage ; cette méthodologie n'a pas pour vocation d'assister les concepteurs dans l'identification des éléments constituant chaque produit et problématique pour le recyclage. Pour cela, une approche d'écoconception doit être mise en œuvre pour améliorer la performance environnementale inhérente à chaque produit.

V. REMERCIEMENTS

Les auteurs souhaitent remercier MTB Recycling et l'Association Nationale de la Recherche et de la Technologie pour le financement des travaux de recherche doctorale du premier auteur (Convention CIFRE n ° 2015/0226).

VI. RÉFÉRENCES

[1] EUROSTAT. « Statistics on Waste in Europe ». In : Stat. Explain. [En ligne]. [s.l.] : [s.n.], 2015. Disponible sur : < http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics/fr > (consulté le 3 avril 2016)

[2] Multiple authors. « Working with Waste: Infography of World of Waste ». Science (80-.). 2012. Vol. 337, n°August, p. 664‑ 667.

[3] Miehe R. et al. « Criticality of Material Resources in Industrial Enterprises – Structural Basics of an Operational Model ». 23rd CIRP Conf. Life Cycle Eng. [En ligne]. 2016. Vol. 48, p. 1‑ 9. Disponible sur : < http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.035 >

[4] Schandl H. « Decoupling global environmental pressure and economic growth: scenarios for energy use, materials use and carbon emissions ». J. Clean. Prod. [En ligne]. 2015. p. 1‑ 12. Disponible sur : < http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.100 >

[5] McDonough W., Braungart M. Cradle to cradle: Remaking the Way We Make Things. Edition al.Paris : Manifesto, 2012. 234 p.(Manifesto). ISBN : 9782862277226.

[6] Butterworth J. et al. « Towards the Circular Economy: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition ». Ellen MacArthur Found. [En ligne]. 2013. Vol. Vol. 1, n°1, p. 98. Disponible sur : < http://dx.doi.org/10.1162/108819806775545321 >

[7] Gahleitner A. « Closing the loop: Next steps critical for Europe's Circular Economy ». Eur. Alum. Assoc. 2015. Vol. 2, n°December, p. 2.

[8] Lavery G., Pennell N. Le Nouveau Modèle Industriel : Plus de bénéfices, plus d'emplois et moins d'impact sur l'environnement. Interface.[s.l.] : [s.n.], 2014. 41 p.

[9] Rebitzer G. et al. « Recycling, Close-Loop Economy, Secondary Resources ». In : 10th LCA Case Study Symp. [s.l.] : [s.n.], 2003. p. 106‑ 108.

[10] Grimaud G., Perry N., Laratte B. « Life Cycle Assessment of Aluminium Recycling Process: Case of Shredder Cables ». 23rd CIRP Conf. Life Cycle Eng. 2016. Vol. may, n°20‑ 24, p. 1‑ 7.

[11] Leroy P. « ProSUM Information Network Launch ». Eur. Union Horiz. 2020. 2015. Vol. 23, n°avril, p. 41.

[12] Zepf V. et al. Materials Critical to the Energy Industry: An Introduction. Second edi.London : BP, 2014. 94 p.ISBN : 9780992838706.

[13] Worrell E., Reuter M. A. « Recycling: A Key Factor for Resource Efficiency ». In : Handb. Recycl. [En ligne]. Amsterdam : Elsevier Inc., 2014. p. 3‑ 8. Disponible sur : < http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-396459-5.00001-5 >ISBN : 9780123965066.

[14] Luidold S., Antrekowitsch H. « Recovery of Metals from Different Secondary Resources (Waste) ». In : Handb. Recycl. [En ligne]. Amsterdam : Elsevier Inc., 2014. p. 255‑ 268. Disponible sur : < http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-396459-5.00018-0 >ISBN : 9780123965066.

[15] Quinn A. Waste Technology and Innovation Study Final Report. Department.[s.l.] : GHD, 2009. 131 p.

[16] Schaik A. Van, Reuter M. A. « Material Centric (Aluminum and Copper) and Product Centric (Cars, WEEE, TV, Lamps, Batteries, Catalysts) Recycling and DfR Rules ». In : Handb. Recycl. [En ligne]. Amsterdam : Elsevier Inc., 2014. p. 307‑ 378. Disponible sur : < http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-396459-5.00022-2 >ISBN : 9780123964595.

[17] Allwood J. M. et al. « Material efficiency: A white paper ». Resour. Conserv. Recycl. [En ligne]. 2011. Vol. 55, n°3, p. 362‑ 381. Disponible sur : < http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.11.002 >

[18] Grimaud G., Perry N., Laratte B. « Reducing Environmental Impacts of Aluminium Recycling Process Using Life Cycle Assessment ». 12th Bienn. Int. Conf. EcoBalance [En ligne]. 2016. Vol. October, p. 7. Disponible sur : < http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.097 >

[19] Peças P. et al. « Life Cycle Engineering – Taxonomy and State-of-the-art ». 23rd CIRP Conf. Life Cycle Eng. [En ligne]. 2016. Vol. 48, p. 73‑ 78. Disponible sur : < http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2016.04.085 >

[20] Pommier R. et al. « LCA (Life Cycle Assessment) of EVP – engineering veneer product: plywood glued using a vacuum moulding technology from green veneers ». J. Clean. Prod. [En ligne]. 2016. Vol. 124, p. 383‑ 394. Disponible sur : < http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.130 >

[21] Hauschild M. Z. « Better – But is it Good Enough? On the Need to Consider Both Eco-efficiency and Eco-effectiveness to Gauge Industrial Sustainability ». 22nd CIRP Conf. Life Cycle Eng. [En ligne]. 2015. Vol. 29, p. 1‑ 7. Disponible sur : < http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.126 >

[22] Herrmann C. et al. « The Positive Impact Factory– Transition from Eco-efficiency to Eco–effectiveness Strategies in Manufacturing ». 22nd CIRP Conf. Life Cycle Eng. [En ligne]. 2015. Vol. 29, p. 19‑ 27. Disponible sur : < http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.066 >

[23] Donnelly K. et al. « Eco-design implemented through a product-based environmental management system ». J. Clean. Prod. [En ligne]. 2006. Vol. 14, n°15‑ 16, p. 1357‑ 1367. Disponible sur : < http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.11.029 >

[24] Leroy Y. « Ecodesign: Tools and methods ». Tech. l'Ingénieur. 2011. Vol. 16 août, p. 1‑ 8.

[25] Kulak M. et al. « Eco-efficiency improvement by using integrative design and life cycle assessment. The case study of alternative bread supply chains in France ». J. Clean. Prod. [En ligne]. 2016. Vol. 112, p. 2452‑ 2461. Disponible sur : < http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.002 >

[26] Kengpol A., Boonkanit P. « The decision support framework for developing Ecodesign at conceptual phase based upon ISO/TR 14062 ». Int. J. Prod. Econ. [En ligne]. 2011. Vol. 131, n°1, p. 4‑ 14. Disponible sur : < http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.10.006 >

[27] Jørgensen T. H., Remmen A., Mellado M. D. « Integrated management systems - Three different levels of integration ». J. Clean. Prod. [En ligne]. 2006. Vol. 14, n°8, p. 713‑ 722. Disponible sur : < http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.04.005 >

[28] European IPPC Bureau. « Reference document on the Best Available Techniques for Waste Treatments Industries ». Eur. Comm. 2006. n°August, p. 592.
[29] European IPPC Bureau. « Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Treatment Industries ». Eur. Comm. 2015. Vol. December, p. 1030.
[30] Allwood J. M. « Squaring the Circular Economy: The Role of Recycling within a Hierarchy of Material Management Strategies ». In : Handb. Recycl. [En ligne]. Amsterdam : Elsevier Inc., 2014. p. 445‑ 477. Disponible sur : < http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-396459-5.00030-1 >ISBN : 9780123964595.
[31] Martínez Leal J. et al. « Recycling Chains: A proposal for an Exhaustive Definition ». In : 10th Int. Conf. Soc. Mater. Roma : [s.n.], 2016. p. 21.
[32] UNEP. Recycling Rates of Metals. Internatio.Paris : [s.n.], 2011. 48 p.ISBN : 9789280731613.
[33] Delavelle C., Marioge C. « Etat De L'Art Des Technologies D'Identification Et De Tri Des Dechets ». Rapp. ADEME. 2012. Vol. Septembre, p. 1‑ 192.
[34] Fisher A. Functional versus Innovative Products. 2012. p. 8.
[35] Heiskanen K. « Theory and Tools of Physical Separation/Recycling ». In : Handb. Recycl. [En ligne]. Amsterdam : Elsevier Inc., 2014. p. 39‑ 61. Disponible sur : < http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-396459-5.00005-2 >ISBN : 9780123965066.
[36] European Commission. « EU Environmental Technology Verification ». In : Environ. Technol. Verif. Progr. [En ligne]. [s.l.] : [s.n.], 2016. p. 15. Disponible sur : < http://ec.europa.eu/environment/etv/ > (consulté le 13 juillet 2016)
[37] Organisation internationale de normalisation. « ISO 14034:2016 - Vérification des Technologies Environnementales ». In : Manag. Environnemental [En ligne]. Genève : [s.n.], 2016. p. 56. Disponible sur : < https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14034:ed-1:v1:fr >
[38] European Commission. General Verification Protocol for EU Environmental Technology Verification proragmme - Version 1.1. 2014. p. 74.
[39] European Commission. A Comprehensive Guide for Proposers to the EU Environmental Technologies Verification Pilot Programme. Project Ad.Luxembourg : European Commission, 2012. 16 p.ISBN : 978-83-930319-5-5.
[40] European Commission. « ETV Program - Key documents and links ». In : EU Environ. Technol. Verif. Program. [En ligne]. [s.l.] : [s.n.], 2016. p. 1. Disponible sur : < http://ec.europa.eu/environment/etv/links.htm > (consulté le 25 juin 2016)
[41] ADEME. Liste des Technologies vérifiées par le programme ETV. 2016. p. 12.
[42] Grimaud G. Rapport d'analyse complet : Evaluation Environnementale de l'Aluminium Recyclé par les Procédés d'Affinage à Froid MTB. 2015. p. 217.
[43] Carvalho H. et al. « Application of Life Cycle Engineering Approach to Assess the Pertinence of Using Natural Fibers in Composites – The Rocker Case Study ». 23rd CIRP Conf. Life Cycle Eng. [En ligne]. 2016. Vol. 48, p. 364‑ 369. Disponible sur : < http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.144 >
[44] JRC - Institute for Environment and Sustainability. Characterisation factors of the ILCD Recommended Life Cycle Impact Assessment methods - EUR 25167. [En ligne]. Brussels : European Commission, 2012. 31 p. Disponible sur : < http://dx.doi.org/10.2788/60825 >ISBN : 9789279227271.