

**DONNEES DISPONIBLES POUR LA MODELISATION ACV DES FILIERES
DE TRAITEMENT ET DE VALORISATION DES PRODUITS EN FIN DE VIE :
ETAT DE L'ART ET MISE A DISPOSITION**

RAPPORT FINAL

Septembre 2014

Responsables scientifiques :

Marcial Vargas-Gonzalez, Laurence Hamon
Quantis - 15 rue du Louvre - BP 43 - 75001 PARIS



L'association **SCORELCA** 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.

- ✓ Ces travaux ont reçu le soutien de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) www.ademe.fr
- ✓ Les points de vue et recommandations exprimés dans ce document n'engagent que les auteurs et ne traduisent pas nécessairement, sauf mention contraire, l'opinion de l'ensemble des membres de SCORE LCA.
- ✓ Les informations et les conclusions présentées dans le présent document ont été établies au vu des données scientifiques et techniques et d'un cadre réglementaire et normatif en vigueur à la date de l'édition des documents.

Comité de suivi pour SCORE LCA : Jean-paul Cazalets – Total, Bénédicte Couffignal – RECORD, Daniel Dunet - Veolia R&I, Jade Garcia – SCORE LCA, Denis Le Boulch – EDF, Stéphane Morel – Renault, Philippe Osset – SCORE LCA, Mélanie Pélissard – Renault, Anne Prieur – GDF SUEZ, Olivier Réthoré – ADEME, Christèle Wojewodka – Saint Gobain, Sophie Bonnier – Eco-Emballages.

RESUME

Dans le cadre de ses missions, SCORELCA cherche à favoriser la diffusion de l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) dans les activités des industriels. Les enjeux liés à la fin de vie étant fondamentaux dans le cadre d'un développement industriel soutenable, SCORELCA souhaite approfondir les connaissances de ses membres en leur proposant d'apporter, dans une vision cycle de vie, une aide sur le recensement de données disponibles et manquantes sur la fin de vie de diverses filières (DEEE, VHU, panneaux photovoltaïques, déchets d'ameublement, déchets de démolition, lubrifiants, bouteilles de gaz, piles et accumulateurs, textile et produits chimiques ménagers) et sur les matériaux qui les composent (plastiques, métaux, verre, câbles, gravats, biomasse, écrans, boues de STEP, huiles minérales).

Face à cette problématique, une recherche bibliographique exhaustive et une analyse des principales bases de données existantes a permis le développement d'une base de données d'Inventaire de Cycle de Vie (ICV). Cet outil s'accompagne d'une méthode d'évaluation de la qualité des données basée sur des méthodes reconnues (ILCD Handbook, *pedigree matrix* d'ecoinvent). Les membres de SCORELCA pourront ainsi faire des choix éclairés au moment de modéliser la fin de vie de leurs produits.

De plus, les problématiques méthodologiques rencontrées ainsi qu'une analyse statistique des sources recensées ont été utilisées pour dresser le panorama actuel sur la fin de vie et pour suggérer des leviers d'amélioration, qui sont alors susceptibles de faire l'objet d'études ultérieures.

MOTS CLES

Fin de vie, déchet, ACV, bases de données, ICV, filière, matériau, technologie, qualité des données

SUMMARY

As part of its missions, SCORELCA wishes to improve the diffusion of Life Cycle Assessment (LCA) in industrial activities. The challenges linked to the end-of-life are fundamental for the development of a sustainable industrial model, SCORELCA seeks to extend and deepen the knowledge their members have by offering them help reviewing available and missing data on several waste streams (WEEE, ELV, solar modules, furniture waste, demolition waste, lubricants, gas bottles, batteries, textiles and household chemical waste), as well as the materials that compose them (plastics, metals, glass, cables, rubble, biomass, screens, WWTP sludge, mineral oils).

Faced with this issue, an exhaustive bibliographic research and an analysis of the main existing databases allowed the development on a new Life Cycle Inventory (LCI) database. This tool comes with a method for the evaluation of data quality based on acknowledged methodologies. Members of SCORELCA will therefore be able to make smart choices when modelling their products' end-of-life.

In addition, the encountered methodological issues and a statistical analysis of the studies sources were used to map the end-of-life landscape and to suggest levers for improvement.

KEY WORDS

End-of-Life, waste, LCA, database, LCI

SOMMAIRE

I. Contexte et objectifs de l'étude	5
I.1. Contexte de l'étude	5
I.2. Objectifs de l'étude	5
II. Méthodologie de construction de la base de données	7
II.1. Méthodologie de recherche et de sélection des informations	7
II.2.i. Types de données recherchées	7
II.2.ii. Gestion des problèmes méthodologiques	7
II.2.iii. Recherche bibliographique	9
Bases de données et outils ACV recensés	9
Principaux types de documents recensés	10
II.2.iv. Experts contactés	11
II.2. Méthodologie d'évaluation de la qualité des données	11
II.2.i. Méthodologies d'évaluation existantes	12
Méthodologie ILCD	12
Méthodologie ecoinvent	13
II.2.ii. Adaptation des méthodes d'évaluation de la qualité des données	14
II.2.iii. Limites de la méthodologie d'évaluation de la qualité des données	16
III. Développement de la base de données	17
III.1. Note préliminaire	17
III.2. Métadonnées présentées	17
III.3. Structure de la base de données	18
III.4. L'outil de recherche développé et l'interface	18
IV. Panorama actuel des données recensées : enjeux et chiffres clés	19
IV.1. Enjeux liés à la qualité et à la disponibilité des informations existantes	19
IV.2. Enjeux liés à la modélisation de la fin de vie	20
IV.3. Distribution des données recensées	21
IV.3.i. Principaux types de données recensées	21
IV.3.ii. Analyse statistique des données disponibles par filière	23
IV.4. Autres pistes d'amélioration	26
IV.5. Réflexions préliminaires sur un plan d'actions	26
V. Conclusions	27
Annexe I. Sources consultées	28
Annexe II. Sources intégrées dans la base	41
Annexe III. Description des principaux outils d'ACV Déchets	45

I. Contexte et objectifs de l'étude

I.1. Contexte de l'étude

Dans le cadre de ses missions, SCORELCA cherche à favoriser la diffusion de l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) dans les activités des industriels. Les enjeux liés à la fin de vie étant fondamentaux dans le cadre d'un développement industriel soutenable, SCORELCA souhaite approfondir les connaissances de ses membres en leur proposant d'apporter, dans une vision cycle de vie, une aide sur le recensement de données disponibles et manquantes sur diverses filières.

Pour utiliser la méthodologie ACV sur des produits ou services, il est nécessaire d'étudier les différentes étapes dans la vie du produit, depuis l'extraction des matières premières jusqu'à sa fin de vie. Ceci nécessite l'existence de données robustes et détaillées, représentant le mieux possible les technologies utilisées. Cependant, les bases de données existantes, bien que nombreuses, sont parfois imprécises et lacunaires ; ceci est notamment vrai pour l'étape de fin de vie des produits. Certaines filières de traitement des déchets sont très peu représentées et il reste très difficile de les modéliser correctement. Pour approfondir les connaissances sur cette étape de la vie des produits, un recensement des données disponibles et manquantes dans une vision cycle de vie est nécessaire.

I.2. Objectifs de l'étude

Le principal objectif de cette étude est d'établir un panorama des données chiffrées d'ICV existantes pour un certain nombre de filières choisies préalablement. La qualité de ces données a été évaluée en utilisant une méthodologie adaptée qui ne quantifie pas l'incertitude de la donnée mais qui l'évalue sa qualité. Les résultats de cette analyse sont délivrés dans une base de données lorsque cela n'entraîne pas des problèmes de licence ou de propriété de la donnée. La finalité est de permettre aux membres de SCORELCA et aux autres utilisateurs de la base d'améliorer la qualité de leurs ACV.

Une analyse statistique des données a permis d'identifier les filières pour lesquelles un travail supplémentaire est nécessaire. Les résultats obtenus et les connaissances des experts sollicités au cours de l'étude ont été utilisés pour définir des leviers d'amélioration des données existantes sur la fin de vie. Enfin, une priorisation des travaux à conduire a également été suggérée, en fonction de différents niveaux de priorité et de complexité des tâches.

Les filières sélectionnées par les membres de SCORELCA pour cette étude sont pour la plupart complexes, avec des déchets de composition variée, pouvant subir différents types de traitement. Par conséquent, il a été décidé que les recherches seraient effectuées non seulement par filière mais également par matériaux issus des déchets et par technologie utilisée. Le tableau 1 présente les choix faits en termes de filières, matériaux et technologies étudiés.

Tableau 1. Filières, matériaux et technologies retenus par SCORELCA

Matériaux	Métaux ferreux	Métaux non ferreux	Plastiques	Biomasse	Cartes électroniques	Ecrans	Boues de STEP	Huile	Verre	Câbles	Gravats
Flux de déchets											
DEEE	X	X	X	X	X	X			X	X	
VHU	X	X	X	X	X	X		X	X	X	
Panneaux PV	X	X	X		X				X	X	
Déchets Démolition	X	X	X	X					X	X	X
<i>Textiles</i>											
<i>Ameublement</i>	X	X	X	X							
<i>Piles/Accus</i>	X	X									
<i>Lubrifiants</i>								X			
<i>Bouteilles de gaz</i>	X	X	X								
<i>Produits chimiques ménagers</i>											
Type de traitement/valorisation associé	Préparation Valo Matière Stockage	Préparation Valo Matière Stockage	Préparation Valo Matière Incinération Stockage	Préparation Valo Matière Incinération Stockage <i>Trait^t Bio</i>	Préparation Valo Matière Stockage	Préparation Valo Matière Stockage	Préparation Valo Matière Incinération Stockage <i>Trait^t Bio</i>	Préparation Valo Matière Incinération <i>Trait^t Bio</i>	Préparation Valo Matière Incinération Stockage	Préparation Valo Matière Incinération Stockage	Préparation Valo Matière Stockage

Les données en italique correspondent aux filières, aux matériaux et aux technologies considérées par SCORELCA comme non prioritaires pour cette étude.

II. Méthodologie de construction de la base de données

Etant données les très vastes sources de disponibilité de données identifiées, une **méthodologie** permettant de structurer la recherche et la sélection des données les plus pertinentes pour l'étude a été développée. La recherche s'accompagne également d'une **méthode d'évaluation de la qualité des données** développée exclusivement pour cette étude et qui permettra aux utilisateurs de la base de données de choisir les données les plus intéressantes au moment de réaliser leurs ACV.

II.1. Méthodologie de recherche et de sélection des informations

Afin de recenser le plus grand nombre possible de sources d'intérêt, le type de données et le type de publications considérées comme prioritaires ont été définis. Cette sélection a été confirmée à l'aide d'entretiens avec des experts dans chacune des filières concernées.

II.2.i. Types de données recherchées

Les données considérées comme pertinentes pour la base de données sur la fin de vie sont donc les suivantes :

- Flux intermédiaires :
 - Collecte/Transport des déchets
 - Transport des co/sous-produits formés lors des prétraitements, des traitements ou de la valorisation
 - Quantité de consommables nécessaires au bon fonctionnement de l'activité
 - Construction et Démantèlement des infrastructures lorsque cela est pertinent (i.e. quand on estime la contribution non négligeable) et étudié dans la bibliographie effectuée
 - Les étapes du cycle de vie situées en aval du traitement peuvent être intégrées (par exemple, l'épandage après compostage ou méthanisation)
- Flux élémentaires d'émissions dans l'air, dans l'eau, dans le sol
- Les flux définitivement extraits de l'atmosphère ou évités sont recensés avec un signe négatif, à la différence des émissions, recensées avec un signe positif
- Les données « annexes » non directement liées au procédé taux de collecte, taux de recyclage, taux de valorisation, etc.

Sauf si les données sont explicitement fournies dans les sources identifiées, il a été décidé d'exclure les données suivantes :

- Flux globaux de l'usine (chauffage des locaux, éclairage, eaux usées des sanitaires, etc.) ou de son activité (R&D, transport des salariés, déplacements professionnels, publicité, marketing, etc.)
- Etapes de transport annexes (comme le transport amont des consommables nécessaires à l'activité)
- Emissions décalées dans le temps (notamment dans le cas du stockage de déchets – bois par exemple)
- Mode de production des consommables utilisés, sauf s'il est spécifiquement décrit.

II.2.ii. Gestion des problèmes méthodologiques

- **Vision attributionnelle/conséquentielle**

Sauf si des données spécifiques sont directement disponibles, il a été choisi de focaliser la collecte selon une vision attributionnelle. Il s'agit de s'intéresser principalement à des données basées sur la réalité des activités actuelles, qui soient mesurables, et d'une incertitude connue.

Les données associées aux conséquences sur le marché de l'activité de gestion des déchets n'ont pas été recherchées spécifiquement (influences sur l'offre et la demande de matières premières secondaires, substitution à des mix de production dédié lors de la valorisation énergétique).

- **Période de référence**

Selon l'ILCD Handbook, la période de référence peut être d'une ou plusieurs années, selon les variations auxquelles la donnée est soumise au cours de l'année et/ou d'une année à l'autre.

Ici, la période de référence a été prise de manière la plus large possible afin d'avoir un panorama global. La période de référence renseignée par la source de la donnée a été documentée pour chaque donnée afin de permettre à l'utilisateur de la base de déterminer si la technologie modélisée se rapproche de la technologie qu'il souhaite étudier.

- **Périmètre géographique considéré**

Le périmètre géographique considéré est la France en priorité puis l'Europe et finalement le reste du monde. Cela concerne à la fois les origines de la revue bibliographique à réaliser, ainsi que la représentativité des technologies à étudier.

Pour assurer la transparence, la validité géographique de chaque donnée a été documentée et elle devra être un paramètre important au moment de choisir une donnée pour la modélisation d'un procédé.

- **Représentativité technologique**

L'objectif étant d'être aussi exhaustif que possible sur les données disponibles, aucune limitation particulière n'a été faite quant à la représentativité des données collectées, par exemple en fonction d'éventuelles parts de marché représentant chacune des technologies.

Comme pour la représentativité géographique et temporelle, toutes les particularités technologiques d'un procédé ont été documentées pour permettre à l'utilisateur d'identifier les différences entre technologies qui pourraient expliquer de fortes variations des données recensées (ex : variation des consommations d'énergie ou d'eau, type d'émission directes, spécificités locales, variabilité en fonction du type de déchet entrant).

- **System Process/Unit Process**

Les jeux de données proposés par une base peuvent être agrégés (*System Process*) ou désagrégés (*Unit Process*). Les systèmes agrégés présentent l'ensemble des flux élémentaires mais ne les distinguent pas selon leur origine au long de la chaîne de production (émission ou consommation directe, flux intermédiaire, procédé d'arrière-plan). Cette particularité rend les ICV particulièrement complexes et difficilement modifiables.

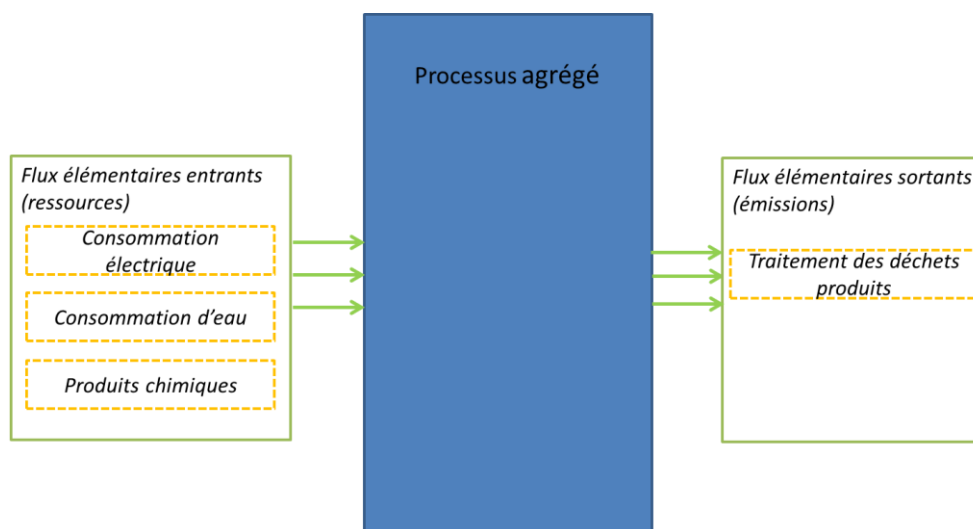


Schéma 1. Représentation schématique d'un procédé agrégé (*Unit process*)

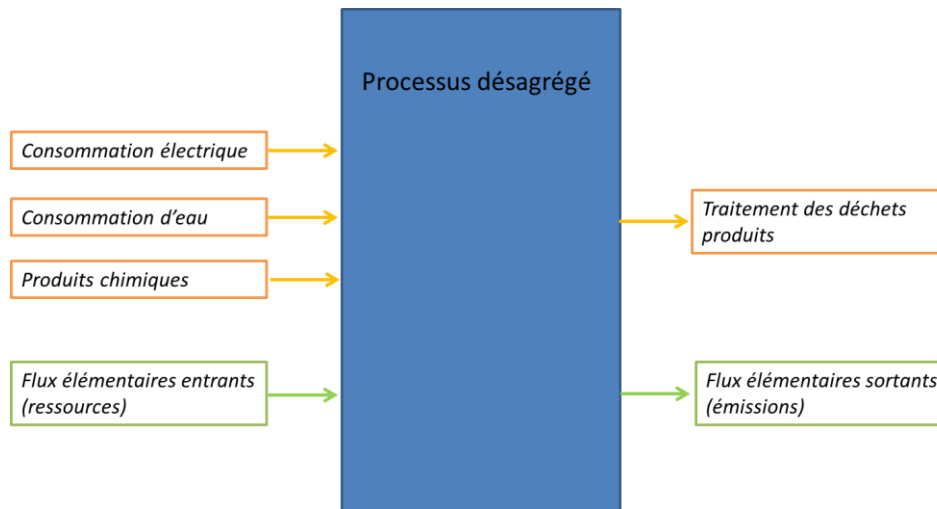


Schéma 2. Représentation schématique d'un procédé désagrégé (*System process*)

Pour faciliter l'accès de l'utilisateur aux données et la manipulation de la base, seuls les systèmes désagrégés ont été détaillés. Dans le cas des bases présentant des inventaires agrégés, (ILCD, GaBi, WRATE) uniquement l'ensemble des métadonnées a été fourni.

II.2.iii. Recherche bibliographique

La création d'une base de données passe par une recherche bibliographique extensive qui doit prendre en compte les différents types de sources existantes. Ceci est d'autant plus vrai pour l'élaboration d'une base de données d'inventaire de cycle de vie.

Les sources d'information les plus évidentes sont bien sûr les bases de données déjà existantes. Il s'agit d'une des sources les plus complètes et précises, les jeux de données présentés sont souvent exhaustifs et valables pour une technologie spécifique. Leur principal inconvénient est leur accès limité. La plupart d'entre elles sont payantes et leur prix souvent assez élevé.

Bases de données et outils ACV recensés

Les bases de données consultées sont présentées ci-dessous, cette liste est basée en partie sur la liste d'outils ACV et base de données ICV proposées par OpenLCA :

- **ecoinvent v.2** : Base de données d'ICV de référence dans la communauté ACV, elle contient des jeux de données complets et de qualité acceptable. Les jeux de données traitant la fin de vie sont également nombreux et détaillés. Cependant, la version 2 utilise des « Dummy process » (Procédé sans données d'arrière-plan) pour la modélisation des procédés de recyclage.
- **ELCD** (European reference Life Cycle Database) : Base de données développée par le JRC avec le soutien de PE International et de certaines associations industrielles comme Plastics Europe et Word Steel. Tous les jeux de données sont de bonne qualité et très consistants. L'ELCD contient majoritairement des procédés agrégés.
- **EIME** : Outil développé par Bureau Veritas – CODDE avec une base de données sectorielles intégrée. Elle s'intéresse particulièrement aux équipements électriques et électroniques et leur fin de vie.

- **Base Carbone** : Base nationale de données publiques contenant des informations sur les facteurs d'émission. Seuls les kgCO₂ équivalent associés à chaque technologie sont disponibles.
- **ESU life cycle inventory data** : Jeux de données développés par ESU-services et vendus sur demande, la quantité de jeux de données d'intérêt pour cette étude est assez limitée.
- **US-LCI** : Développée par le NREL et ses partenaires, cette base de données publique propose des inventaires pour divers procédés selon un modèle américain.
- **DEAM / WISARD** : Base de données développée par PwC alimentant leur outil TEAM. Cette base contient des informations couvrant les utilités courantes et comprend également des bases de données publiques pour d'autres matériaux. Les modèles utilisés pour la fin de vie sont issus de WISARD.

Des outils ACV déchets ou des outils ACV intégrant des bases de données sur la fin de vie ont également été consultés :

- **EASETECH (anciennement EASEWASTE)** : outil d'ACV spécialisé sur la gestion des déchets, développé par l'Université Technique du Danemark (DTU) depuis une dizaine d'années et alimentée principalement par les activités de recherche de leurs équipes. EASETECH modélise l'utilisation de ressources, la récupération de matières premières secondaires et les émissions associées à la fin de vie. Cet outil est gratuit pour les chercheurs, consultants et autres après une formation à l'utilisation et à l'interprétation du modèle.
- **WRATE** : Outil développé par les agences de protection de l'environnement anglaise et écossaise et le département environnement de l'Irlande du Nord pour étudier les impacts d'un scénario de gestion des déchets.
- **GaBi** : Logiciel développée par PE International utilisant une base de données propre. Tous les jeux de données développés par PE sont conformes aux recommandations de l'ILCD. Comme pour l'ELCD, tous les jeux de données sont agrégés dans la configuration standard.

L'annexe 3 présente le panorama actuel des principaux outils ACV déchets existants

D'autres bases de données, notamment issues de logiciels ACV (Spin'IT, Cycle IT, e-LICCO, ARES) ont également été considérées. Il n'a pas été possible d'obtenir un accès suffisant pour déterminer le type de données ou de procédés traités malgré les contacts avec les développeurs.

Principaux types de documents recensés

Une recherche exhaustive a été réalisée en utilisant des moteurs de recherche généralistes et académiques (Science Direct par exemple), mais également des sites d'intérêt (ADEME/OPTIGEDE, RECORD, SINOE). Les documents recherchés sont de nature variée :

- **Les rapports ACV** : Ils peuvent venir d'une publication scientifique ou d'un rapport public. Il s'agit d'ACV réalisées sur un procédé (ex. incinération, stockage), sur le traitement d'un certain type de déchets (ex. recyclage des métaux des DEEE, ASR « auto shredder residue ») ou sur un site spécifique (un centre de stockage). Cependant, très peu d'entre eux décrivent l'étape d'inventaire de cycle de vie.
- **Les revues d'ACV** : ce type de publications étudient un panel d'ACV étudiant un même thème (ex. traitement des déchets) ou proposent des perspectives pour l'amélioration des ACV (données sur l'incinération, etc.).
- **Les états de l'art** : ces articles se limitent à une description d'une technologie ou des moyens de traitement d'un déchet.

- **Articles spécifiques aux émissions** : les auteurs de ces articles se sont intéressés au suivi environnemental d'une émission spécifique ou d'un ensemble d'émissions pour une technologie donnée. Comme pour les rapports ACV, il peut s'agir de d'articles scientifiques ou de rapports publics (ex. rapport OMINEA de CITEPA).
- **Les rapports d'activité** : certains industriels du traitement des déchets publient des rapports présentant les données environnementales liées à leur activité.

Au total, plusieurs centaines de documents ont été recensés et des dizaines ont été intégrées à la base de données. Certains documents, en apparence pertinents pour le projet, ne présentent pas des données précises ou exploitables pour la réalisation d'ACV et n'ont pas été intégrés dans la base. L'annexe 1 détaille toutes les sources de données recensées.

II.2.iv. Experts contactés

Afin de confirmer l'exhaustivité de la recherche bibliographique réalisée, des experts métier ont été contactés. Nous pouvons distinguer deux types d'experts :

- Les membres de SCORELCA
 - Sophie Bonnier (Eco-emballages)
 - Stéphane Fouquay (Bostik)
 - Daniel Dunet (Veolia)
 - Aurélie Gallice (Veolia)
 - Bénédicte Couffignal (RECORD)
 - Denis Le Boulch (EDF)
 - Anne Prieur-Vernat (GDF-Suez)
 - Clémentine Lane (Verallia – Saint-Gobain)
 - Thomas Gourdon (ADEME)
 - Erwann Fangeat (ADEME - REP DEEE)
 - Eric Lecointre (ADEME – REP VHU)
 - Yvonnick Durand (ADEME – Energies Renouvelables)
 - Jean-Paul Dupuy (ADEME – REP Textiles)
- Les experts métier externes
 - Cécile des Abbayes (Eco-Mobilier)
 - Jean-François Viot (Solvay)
 - Anders Damgaard (DTU Environment)
 - Alexandra Lalet (Sita Environnement)
 - Thomas Van Niewenhuyse (Eco-Systèmes)
 - Philippe Roux (IRSTEA)
 - Nicola Humez (SARPI)
 - Lynda Aissani (IRSTEA)

Les experts métiers contactés pendant cette étude ont partagé principalement trois types d'informations :

- Documents sur la fin de vie des filières étudiées et leur modélisation en ACV
- Informations quantitatives sur les filières en questions
- Enjeux méthodologiques à prendre en compte au moment de modéliser la fin de vie

II.2. Méthodologie d'évaluation de la qualité des données

Des nombreuses **méthodologies d'évaluation de la qualité** des données d'ACV ont été développées par les acteurs de ce domaine. Ces méthodes évaluent cependant la capacité d'une donnée à modéliser une situation précise et non leur qualité globale. C'est pourquoi une méthodologie spécifique a dû être développée pour cette étude. Cette section présente les méthodologies existantes, la **nouvelle approche** ainsi que ses limites.

II.2.i. Méthodologies d'évaluation existantes

Méthodologie ILCD

La méthodologie préconisée par l'ILCD Handbook permet de déterminer la qualité d'un jeu de données.

Tableau 2. Les indicateurs proposés par l'ILCD Handbook pour calculer l'incertitude (Source : ILCD Handbook)

Indicateur	Définition
Précision / Incertitude des paramètres (P)	« Mesure de la variabilité des valeurs de données pour chaque donnée exprimée (p. ex. variance faible = précision élevée). A noter que pour les flux de produits et de déchets, ce point doit être évalué au niveau du système. »
Exhaustivité (E)	« Proportion de flux (élémentaires) inclus quantitativement dans l'inventaire. A noter que pour les flux de produits et de déchets, ce point doit être évalué au niveau du système.»
Représentativité temporelle (Rtem)	« Degré avec lequel la série de données reflète la population réelle, présentant un intérêt en termes de temps/d'âge des données, et pour les séries de données de référence, s'il y en a. »
Représentativité géographique (Rg)	« Degré avec lequel la série de données reflète la population réelle, présentant un intérêt géographiquement, et pour les séries de données de référence, s'il y en a. »
Représentativité technologique (Rtec)	«Degré avec lequel la série de données reflète la population réelle, présentant un intérêt en termes de technologie, et pour les séries de données de référence, s'il y en a. »
Cohérence et pertinence méthodologique (M)	« Les méthodes LCI appliquées et les choix méthodologiques (p. ex. allocation, substitution, etc.) correspondent aux objectifs de la série de données, notamment à ses applications prévues et au contexte d'aide à la décision. Les méthodes ont été employées de manière systématique pour toutes les données et pour les procédés inclus s'il y en a. »

L'ILCD Handbook définit également les différents niveaux de notation qui peuvent être attribués aux indicateurs:

- 1 (très bonne): « Satisfait le critère à un degré très élevé ou ne nécessite aucune amélioration majeure. Ce point doit être évalué dans la perspective de la contribution du critère à l'impact environnemental global potentiel de la série de données et en comparaison à une qualité de données idéale et hypothétique.»
- 2 (bonne): « Satisfait le critère à un degré élevé ou nécessite une amélioration peu significative. Ce point doit être évalué dans la perspective de la contribution du critère à l'impact environnemental global potentiel de la série de données et en comparaison à une qualité de données idéale et hypothétique.»
- 3 (suffisante/acceptable): « Satisfait le critère à un degré encore suffisant mais nécessite des améliorations. Ce point doit être évalué dans la perspective de la contribution du critère à l'impact environnemental global potentiel de la série de données et en comparaison à une qualité de données idéale et hypothétique. »
- 4 (peu suffisante): « Ne satisfait pas le critère à un degré suffisant, nécessité majeure d'amélioration. Ce point doit être évalué dans la perspective de la contribution du critère

à l'impact environnemental global potentiel de la série de données et en comparaison à une qualité de données idéale et hypothétique.»

- 5 (insuffisante): « Ne satisfait pas du tout le critère, nécessité majeure d'importantes améliorations. Ce point doit être évalué dans la perspective de la contribution du critère à l'impact environnemental global potentiel de la série de données et en comparaison à une qualité de données idéale et hypothétique.»
- 0 = non applicable

Le calcul qui permet par la suite de déterminer l'incertitude est :

$$\text{Indicateur Qualité Globale (QG)} = \frac{R_{tem} + R_{tec} + R_g + M + E + P + 4 * MAX}{i + 4}$$

Avec Max = valeur maximale parmi les 6 indicateurs et i = nombre d'indicateurs applicables pour l'ILCD.

Méthodologie ecoinvent

Pour sa part, ecoinvent a développé une méthodologie qui utilise 5 indicateurs avec un système de notation allant de 1 à 5, en utilisant la « Pedigree Matrix » (Tableau 2). Cette matrice est appliquée à chaque donnée d'un jeu pour calculer l'incertitude globale de la donnée en se basant sur une « incertitude de base » et en calculant la moyenne quadratique des résultats obtenus. Il s'agit d'un processus très chronophage et difficile à mettre en place.

Tableau 3. « Pedigree Matrix » utilisée pour évaluer l'incertitude de données (basée sur Pedersen Weidema & Wesnaes 1996)

Indicator score	1	2	3	4	5 (default)
Reliability	Verified ⁵ data based on measurements ⁵	Verified data partly based on assumptions or non-verified data based on measurements	Non-verified data partly based on qualified estimates	Qualified estimate (e.g. by industrial expert)	Non-qualified estimate
Completeness	Representative data from all sites relevant for the market considered, over an adequate period to even out normal fluctuations	Representative data from >50% of the sites relevant for the market considered, over an adequate period to even out normal fluctuations	Representative data from only some sites (<<50%) relevant for the market considered or >50% of sites but from shorter periods	Representative data from only one site relevant for the market considered or some sites but from shorter periods	Representativeness unknown or data from a small number of sites and from shorter periods
Temporal correlation	Less than 3 years of difference to the time period of the dataset	Less than 6 years of difference to the time period of the dataset	Less than 10 years of difference to the time period of the dataset	Less than 15 years of difference to the time period of the dataset	Age of data unknown or more than 15 years of difference to the time period of the dataset
Geographical correlation	Data from area under study	Average data from larger area in which the area under study is included	Data from area with similar production conditions	Data from area with slightly similar production conditions	Data from unknown or distinctly different area (North America instead of Middle East, OECD-Europe instead of Russia)
Further technological correlation	Data from enterprises, processes and materials under study	Data from processes and materials under study (i.e. identical technology) but from different enterprises	Data from processes and materials under study but from different technology	Data on related processes or materials	Data on related processes on laboratory scale or from different technology

L'approche de l'ILCD semble être plus adaptée dans le cadre de l'étude présente qu'une approche visant à mesurer l'incertitude de façon quantitative. Cependant, les indicateurs proposés par l'ILCD Handbook ne sont pas tous applicables directement aux données du projet, puisque les périmètres étudiés par les utilisateurs de la donnée sont inconnus.

II.2.ii. Adaptation des méthodes d'évaluation de la qualité des données

Les méthodologies d'évaluation de la qualité des données ont été adaptées pour les besoins de cette étude. Les indicateurs considérés comme pertinents ont été adaptés aux besoins de la base de données et une grille de notation a été créée en s'inspirant de celle utilisée par ecoinvent.

De plus, un nouvel indicateur a été développé pour prendre en compte l'adaptation des données faite par la personne ayant rentré l'information dans la base ainsi que la disponibilité de la donnée. Ainsi, une donnée qui est accessible facilement et qui ne nécessite d'aucune adaptation, sera considérée comme étant de meilleure qualité qu'une donnée qui n'est pas accessible ou qui a dû être calculée à partir d'autres données. Les indicateurs choisis ainsi que la grille de notation, sont présentés dans le tableau 4.

Tableau 4. Grille de notation pour les données présentées dans la base de données

Indicateur	1	2	3	4	5
Représentativité Temporelle (Rtem)	Données de moins de 3 ans	Données de moins de 6 ans	Données de moins de 10 ans	Données de moins de 15 ans	Données de plus de 15 ans ou dont on ne connaît pas l'âge
Exhaustivité (E)	La liste de flux présentée est exhaustive	Une grande partie des flux est présentée	Les flux essentiels sont présentés	Seulement quelques flux sont présentés	Très peu de flux sont présentés
Cohérence et pertinence méthodologique (M)	Note attribuée de façon critique par la personne qui a saisi la donnée et qui prendra en compte la cohérence et la méthode présentée par la source				
Précision (P) : basée sur un avis critique et non pas sur une incertitude	Données vérifiées provenant de mesures	Données vérifiées provenant d'estimations ou non-vérifiées provenant de mesures	Données non-vérifiées provenant en partie d'estimations	Estimation qualifiée ou mesure expérimentale ou pilote	Donnée d'origine inconnue
Traitement de la donnée (T)	Visualisation de la donnée sans aucune modification	Donnée calculée à partir de données visualisées	Donnée graphique traitée	Donnée non-visualisée ayant reçu des précisions de la part du développeur	Donnée non-visualisée

Une donnée est considérée comme « vérifiée » quand elle a subi une revue critique ou qu'elle a été publiée dans une source publique. Les métadonnées fournies par une source ne permettent pas généralement de déterminer si une source a été vérifiée avec « succès » (validée) ou non.

La formule ainsi que les intervalles permettant de qualifier la qualité d'une donnée ont été modifiés par rapport aux recommandations de l'ILCD Handbook afin de prendre en compte la diminution du nombre de variables. Cette modification permet d'éviter une pénalisation des données qui présentent une mauvaise note pour un des indicateurs, mais une qualité globale satisfaisante.

La qualité globale d'une donnée dépend alors du résultat du calcul suivant proposé :

$$\text{Indicateur Qualité Globale (QG)} = \frac{R_{tem} + M + E + P + 0.5 * T + 2 * MAX}{i + 2}$$

- < 1,6 «Donnée jugée de bonne qualité»
- > 1,6 « Donnée jugée de qualité moyenne»
- > 3,2 «Donnée jugée de mauvaise qualité»

La méthode développée présente également l'intérêt d'être applicable à un jeu de données dans son ensemble pour ainsi avoir une vision de la qualité globale. Cette particularité est spécialement intéressante pour évaluer les jeux de données pour lesquels l'ensemble des métadonnées est connu mais pas le détail des flux présentés ou pour les procédés agrégés (*system process*).

Une analyse de la pertinence des critères de ces indicateurs a été réalisée sur un ensemble de cas fictifs. Pour cette analyse, la méthode définie a été comparée à la méthodologie de l'ILCD, l'objectif étant de remarquer les similitudes entre les deux méthodes et déterminer si les différences observées étaient pertinentes, l'enjeu n'étant pas de comparer les valeurs obtenues entre elles. Le tableau 5 résumé les résultats de cette analyse fictive.

Tableau 5. Exemples fictifs utilisés pour comparer la méthodologie d'évaluation de la qualité proposée et celle de l'ILCD

Exemple	Rte m	Rte c	Rg	P	E	M	T	NOTE ILCD	NOTE SCORELCA	Qualité de la donnée ILCD	Qualité de la Donnée SCORELCA
Donnée de très bonne qualité mais très ancienne	5	1	1	1	1	1	1	3	2.8	Moyenne	Moyenne
Donnée moyenne qui ne nécessite pas de traitement	2	2	2	3	3	3	1	2.7	2.7	Moyenne	Moyenne
Donnée peu représentative mais d'une source fiable accessible	4	4	4	1	1	1	1	3.1	2.4	Mauvaise	Moyenne
Donnée de bonne qualité ayant besoin d'un traitement	1	2	2	1	1	1	2	1.6	1.1	Bonne	Bonne
Donnée de très bonne qualité mais non-accessible	1	1	1	1	1	1	4	1	1.2	Bonne	Bonne
Donnée de mauvaise qualité accessible	5	4	5	4	3	3	1	4.4	3.9	Mauvaise	Mauvaise

Des exemples fictifs proposés ci-dessus, le seul à présenter une différence de classification entre les deux méthodologies comparées (exemple en orange) correspond à une donnée « peu représentative mais d'une source fiable et accessible ». Ce modèle hypothétique ne correspond pas à la technologie étudiée ce qui explique la mauvaise note attribuée par la méthode ILCD. Au contraire, la méthode développée pour SCORELCA ne s'intéresse pas à la capacité des données à modéliser un cas précis mais uniquement à sa qualité globale, une note « moyenne » est donc justifiée.

II.2.iii. Limites de la méthodologie d'évaluation de la qualité des données

Comme toute méthode d'évaluation, la méthodologie développée pour cette étude présente des limites signalées ci-dessous.

- Toutes les données présentent deux types d'incertitude :
 - la première est extrinsèque, liée à l'usage qu'on lui donne. Ce n'est pas la qualité de la donnée qui est déterminée mais sa capacité à représenter la situation étudiée. Cette incertitude est mesurée à travers les indicateurs mentionnés précédemment et définie avec les informations présentés par la source de l'information.
 - La deuxième incertitude est dite intrinsèque, elle dépend de l'origine de la source et elle n'est pas toujours mesurable. Ainsi, une donnée présentée comme une moyenne de technologies européennes peut-être la moyenne de trois sites différents, elle est donc peu représentative de cette situation européenne. L'indicateur « Cohérence et pertinence méthodologique » permet de prendre en compte ce type de réflexions.
- Dans beaucoup de cas, la donnée obtenue peut provenir d'une source qui l'a elle-même reprise d'un autre document sans s'intéresser aux métadonnées. Pour connaître l'incertitude

réelle, il serait nécessaire de trouver la source originale de la donnée, un travail qui peut être compliqué selon la disponibilité de la source et qui s'avère impossible si elle n'existe plus.

- Les représentativités géographique et technologique des données ne sont pas mesurées par la méthode puisqu'elles sont dépendantes de la modélisation faite par l'utilisateur de la base de données. L'utilisateur devra donc considérer ces enjeux au moment de choisir la donnée la plus appropriée.
- La qualité d'une donnée et la qualité d'un procédé ne sont pas comparables même si elles sont calculées en utilisant la même méthode. L'évaluation de la qualité d'un jeu de données dans l'ensemble est donnée à titre indicatif et doit être utilisée uniquement pour comparer deux jeux de données entre eux.

III. Développement de la base de données

La base de données développée dans le cadre de ce projet permet de consulter les données recherchées ainsi qu'un certain nombre de métadonnées à travers un outil simple et une interface utilisateur qui sont présentés ci-dessous.

III.1. Note préliminaire

- La base de données a pour objectif de permettre à l'utilisateur de :
 - Compléter une donnée manquante durant la collecte de données d'une ACV produit
 - Confirmer la validité d'une donnée par rapport aux données de la littérature
 - Réaliser la modélisation de la fin de vie pour une filière donnée
- Les différences d'utilisation peuvent être très importantes et elles doivent être prises en compte par l'utilisateur.
- Cette base de données ne préconise pas l'utilisation particulière d'une donnée par rapport à une autre.
- L'utilisateur doit faire attention au moment de combiner des données issues de différentes sources
- Le choix des données est sous la responsabilité de l'utilisateur.

III.2. Métadonnées présentées

Toutes les données présentées dans la base de données sont accompagnées d'une série de métadonnées qui permettent à l'utilisateur de faire un choix éclairé. Ces informations assurent également la traçabilité des données présentées, ce qui améliore leur qualité et les bénéfices de leur utilisation.

Les métadonnées peuvent être de plusieurs types :

- Informations de contexte : Ensemble des informations sur la source où la donnée a été recueillie : auteur, référence bibliographique, année de publication et affiliation de l'auteur. Si la donnée est confidentielle, ces informations peuvent permettre de contacter la source.
- Information sur la donnée :
 - Type de donnée : méthode utilisée pour obtenir la donnée, (moyenne, maximum mesuré, minimum mesuré, donnée ponctuelle, mesure expérimentale)
 - Description du système d'étude (processus mobilisés, principes généraux de fonctionnement). Ces informations sont présentées en tant que commentaire
 - Flux de référence et unité fonctionnelle associée
 - Tout paramètre influençant de manière significative la donnée collectée, qui soit mentionné dans la source, notamment la représentativité technologique
 - Représentativité spatiale et temporelle, selon la source ou estimée
 - Confidentialité de la donnée afin de déterminer quelles parties prenantes pourront avoir accès à la donnée

- L'adaptation éventuelle de la donnée faite par la personne ayant rentré la donnée.
- Indicateurs de la qualité de la donnée et incertitude : Il s'agit des notes attribuées en fonction des informations sur la donnée fournies par la source et le résultat obtenu en appliquant la méthodologie définie.

III.3. Structure de la base de données

La base de données créée possède une structure simple afin de faciliter la recherche d'informations et de rendre facile la saisie de nouvelles données. En effet, chaque donnée correspond à une ligne d'un tableau, elle est donc indépendante du jeu de données et de la source. Cette structure a été privilégiée pour rendre l'outil plus flexible et pour assurer l'accès de l'utilisateur à la base.

Les notations simples ont également été privilégiées pour permettre à l'utilisateur de comparer les différents données rapidement. Ainsi, les préconisations de l'ILCD Handbook ont été utilisées pour gérer la nomenclature des données de la base de données, notamment :

- L'utilisation de noms les plus parlants possibles
- L'utilisation de noms les plus courts possibles
- L'utilisation de noms les plus génériques possibles (en particulier pour que tout lecteur puisse comprendre de quelle technologie il s'agit)

Pour les émissions directes, présentées comme « extrants » dans la base de données, le compartiment est donné entre parenthèses afin d'éviter toute confusion. De même, les matériaux considérés comme des déchets sont notés ainsi pour les différencier des matériaux considérés comme des matières premières secondaires.

Il est à noter que les données présentées peuvent avoir trois formats différents, il peut s'agir de :

- donnée brute
- donnée majorante (identifiée par le symbole « < ») qui correspond le plus souvent à un seuil de détection
- formule permettant de modéliser un flux.

Les données brutes peuvent elles-mêmes être une moyenne, un maximum mesuré, un minimum mesuré ou une donnée ponctuelle. Cette information est fournie en tant que métadonnée.

Comme toute base de données, la base développée pour SCORELCA peut évoluer dans le temps, il serait donc intéressant de développer un outil permettant de la maintenir à jour et de la personnaliser. Une interface pourrait être développée pour permettre aux utilisateurs de rentrer des nouvelles données dans la base.

III.4. L'outil de recherche développé et l'interface

L'interface a été développée en français et en anglais, au choix de l'utilisateur.

Un moteur de recherche permet de choisir les critères désirés (filiale, matériaux et/ou technologie) pour obtenir un tableau qui contienne uniquement les informations concernant les sources de données d'intérêt. En utilisant, le signe « + » à gauche du tableau (fonction « grouper » d'Excel), l'utilisateur peut consulter le détail des flux associés à chaque source.

Un deuxième moteur de recherche permet de comparer différents flux entre les sources de données correspondant à la requête initiale.

Les résultats de toutes les recherches sont donnés en anglais ou en français selon la langue choisie par l'utilisateur initialement. Les commentaires sont la seule information qui est fournie dans tous les cas en anglais.

La base de données en elle-même n'est pas accessible par l'utilisateur. Elle se trouve dans un onglet caché et bloqué afin d'éviter les possibles problèmes liés à la confidentialité des informations présentes dans la base et à la modification des données. SCORELCA est le seul détenteur du code d'accès permettant de déverrouiller l'outil.

IV. Panorama actuel des données recensées : enjeux et chiffres clés

L'étude réalisée permet non seulement d'améliorer la disponibilité de données fiables et consolidées pour le praticien ACV, mais aussi **d'identifier les principaux enjeux** liés à la recherche de ce type de données et à la modélisation de la fin de vie. Cette analyse, une fois complétée, a permis d'identifier des **pistes complémentaires** nécessitant un développement dans le futur.

IV.1. Limites liés à la qualité et à la disponibilité des informations existantes

Parmi les sources de données identifiées jusqu'à aujourd'hui, certaines limites sont assez récurrentes :

- **Transversalité des études effectuées sur la fin de vie** : Il est difficile de trouver parmi les articles recensés une distribution par déchet/matériaux et par technologie (ex. enfouissement des VHU, incinération des métaux). En effet, la plupart des articles étudiant une technologie donnent la distribution des déchets entrants mais n'allouent pas les émissions ou impacts à chaque filière ou matériaux. Inversement, les études menées sur une filière spécifique traitent le plus souvent l'étape de tri et démantèlement mais pas la destination finale des matériaux composant les déchets.
- **Exhaustivité et complétude des rapports ACV** : la plupart des articles ACV ne présentent que succinctement l'étape d'ICV et s'intéressent plutôt directement aux impacts, tandis que d'autres ne présentent pas l'ensemble des flux étudiés.
- **Confidentialité et accessibilité** : Une grande partie des sources d'informations sont accessibles uniquement avec une licence précise ou avec un abonnement donné. Ces droits nécessitent souvent d'investissements importants. Il a été possible de contourner dans certains cas cette problématique, cependant, les données collectées dans ce cadre restent confidentielles et ne pourront pas être diffusées.
- **Avantage concurrentiel** : De nombreux acteurs du monde du traitement des déchets disposent d'études robustes, voire même des bases de données internes, sans pour autant en faire une communication publique, dans le souhait par exemple de conserver un avantage concurrentiel.
- **Structuration de la filière** : Certaines filières comme les Déchets Diffus Spécifiques (qui prennent en compte les produits chimiques ménagers et les bouteilles de gaz) ou l'ameublement sont devenus des filières d'intérêt depuis peu, avec des législations beaucoup plus récentes ou non existantes, tandis que des filières comme celle des DEEE sont actives et structurées depuis plusieurs années. Le retour d'expérience est donc insuffisant pour avoir des données fiables pour certaines filières.
- **Retour d'expérience** : Pour certaines filières le retour d'expérience n'est pas suffisant pour le développement de données robustes. Par exemple, la plus grande partie des panneaux PV sont encore en fonctionnement, les données sur la fin de vie de cette filière ne sont pas encore disponibles en France, même si certains pays se sont intéressés davantage à cet problème.
- **Réutilisation des données existantes** : La collecte de données d'un nombre conséquent d'études est faite en se basant sur les bases de données existantes (ecoinvent, EASEWASTE, GaBi, WRATE, WISARD, etc.), sans réaliser la moindre adaptation des procédés déjà modélisés. Dans certains cas, ceci mène à des approximations qui semblent être inexacts.
- **Utilisation de *system processes*** : Il est, dans ce cas, difficile de déterminer les impacts liés au procédé de traitement des déchets en lui-même. Il a été décidé que dans ces cas, la

source ainsi que le procédé étudié seraient présentés dans la base sans faire le détail des données considérées dans la modélisation.

- **Validité temporelle** : La plupart des études effectuées ne sont plus d'actualité, la moyenne d'âge des sources consultées se situe entre les 6 et les 8 ans ce qui correspond à une validité temporelle de « 3 » dans la méthodologie définie dans cette étude.
- **Validité technologique** : Certaines technologies évoluent très vite. Cet enjeu limite la représentativité technologique de certains jeux de données.
- **Validité géographique** : Parmi les données collectées, très peu de sources modélisent le cas français.

IV.2. Limites liés à la modélisation de la fin de vie

La modélisation de la fin de vie des filières étudiées présente certaines limites méthodologiques à considérer:

- **Variabilité géographique/temporelle** : L'extrême variabilité du fonctionnement, et donc des émissions, selon l'âge du procédé et selon la période étudiée et la technologie étudiée.
 - Par exemple, les compositions des émissions gazeuses et des effluents liquides d'un centre de stockage varient considérablement avec le temps.
- **Allocation des impacts et des bénéfices pour des systèmes multiflux ou multimatériaux** : Très peu de sources identifient les émissions liées à chaque filière et se limitent à donner une valeur globale. Ces simplifications peuvent mener à des erreurs d'interprétation sur l'intérêt d'une technologie. Allouer les impacts liés à la fin de vie de chaque filière ou de chaque matériau reste ainsi un des enjeux clés.
- **Input specific/ Process specific** : Très peu de sources différencient les émissions associées aux matériaux entrants de celles propres au procédé. Une technologie donnée possède des impacts inhérents à son fonctionnement, c'est-à-dire, qu'ils sont indépendants des déchets entrants tandis que d'autres sont associés uniquement à la nature des matériaux traités. De toutes les sources étudiées, l'outil EASETECH et sa base de données sont parmi les seuls à faire cette distinction.
 - Faire cette distinction reste une tâche compliquée puisque la quantité de consommables utilisés est gérée pour assurer le respect des normes du pays.
- **Manque de modèle standard** : Pour le traitement des déchets, il est très difficile de déterminer un procédé standard par défaut
 - Compostage : Les impacts dépendent beaucoup des intrants et ils peuvent être très hétérogènes. De plus, des différences de conditions opératoires mènent à des variations très importantes des émissions.
 - Méthanisation : Les fuites de biogaz qui peuvent varier entre 1% et 30% selon l'installation sont la principale source d'impact et il est aujourd'hui très difficile de les mesurer.
 - Certaines filières, comme celle des DEEE, sont très diverses et peuvent évoluer très rapidement. Les technologies standard pour le traitement de ces déchets sont donc inexistantes.
- **Caractéristiques des matériaux techniques** : Les propriétés des matériaux issus des ordures ménagères, ne sont pas nécessairement les mêmes que celles des matériaux équivalents issus de filières industrielles.
 - Ceci est notamment vrai pour l'industrie du verre. En effet, le verre d'emballage est recyclé depuis plusieurs années tandis que la filière de recyclage des verres techniques est en développement.
- **Exhaustivité de la collecte** : L'exhaustivité de la collecte de données pénalise généralement le procédé au niveau de son évaluation environnementale. En effet, des différences importantes peuvent être observées lorsque le nombre de flux étudiés augmente.

IV.3. Distribution des données recensées

La recherche bibliographique réalisée présente une **disparité importante entre les différents types de données** rencontrées ainsi qu'entre les données disponibles par filière. Cette section présente la distribution rencontrée ainsi qu'une **hiérarchisation des filières prioritaires**.

IV.3.i. Principaux types de données recensées

Les figures 1 et 2 présentent la fréquence d'apparition des différents types de flux dans les sources identifiées pendant l'étude.

La fréquence d'apparition des flux mentionnés ci-dessous ne prend pas en compte les flux renseignés dans les jeux de données agrégés, ni les flux des jeux de données auxquels l'accès a été restreint. Ces fréquences pourraient donc évoluer avec une analyse plus précise, elles permettent cependant d'identifier les tendances existantes dans les études actuelles.

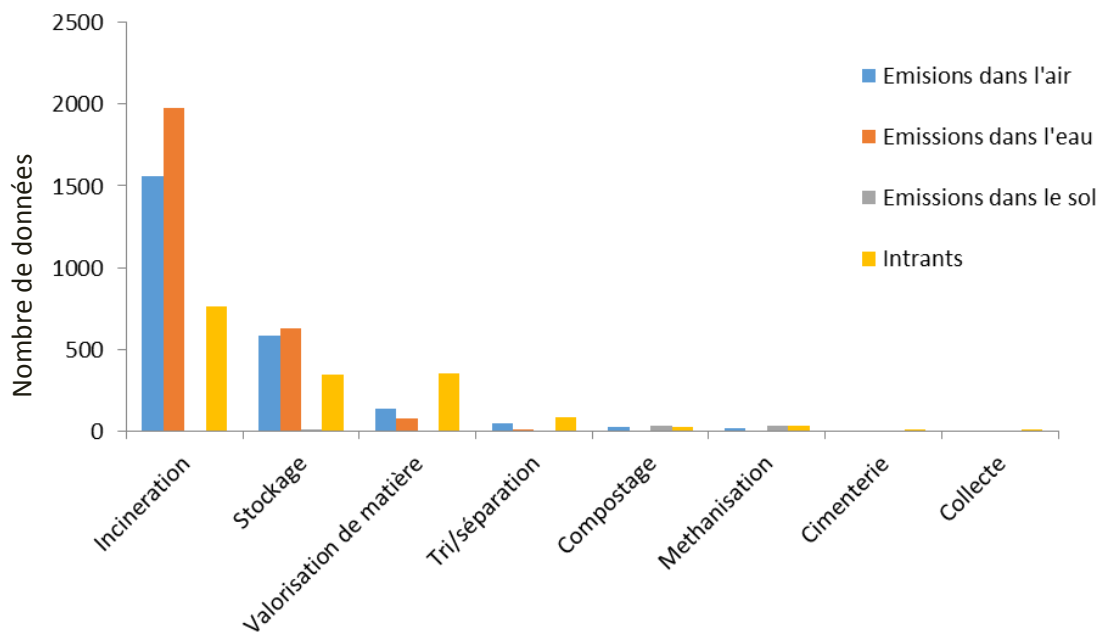


Figure 1. Fréquence d'apparition des types de flux en fonction de la technologie étudiée

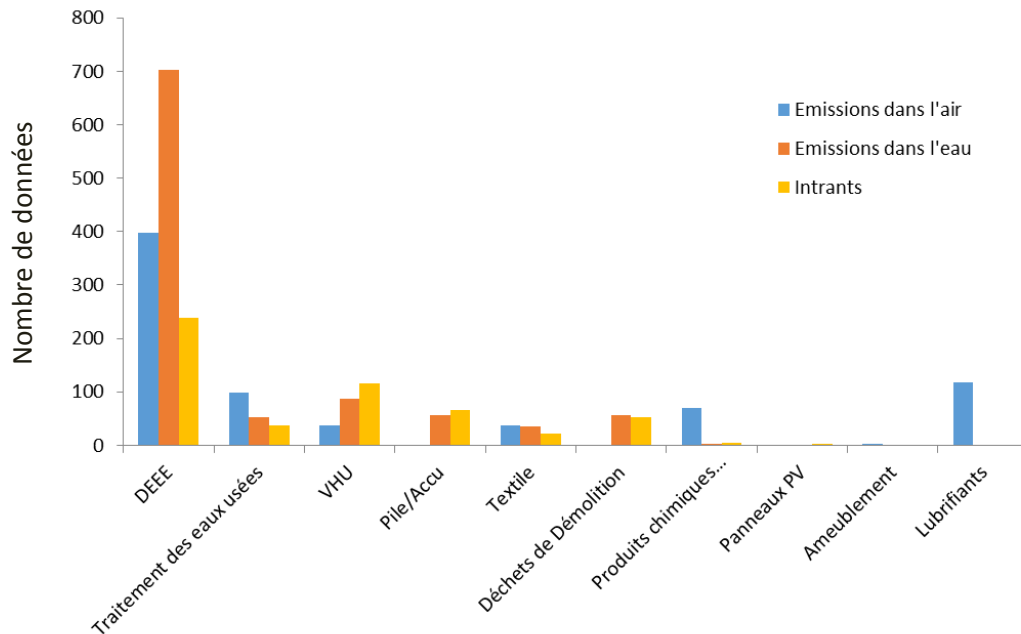


Figure 2. Fréquence d'apparition des types de flux en fonction de la filière étudiée (Les émissions dans le sol ne sont pas représentées car aucune source ne renseignait ce type de flux pour une filière spécifique).

Cette répartition suggère que certains flux et certaines technologies sont plus représentés que les autres. Ainsi les émissions dans l'air et dans l'eau sont mieux documentées que les émissions dans le sol. De même, l'incinération et le stockage ont été plus étudiés dans la littérature que les autres technologies. Cette différence de prise en compte des différents flux et technologies a plusieurs explications :

- Réglementation : Certaines émissions doivent être mesurées fréquemment par les sites de traitement des déchets et sont donc facilement disponibles
- Facilité d'accès : les flux qui ne nécessitent pas de moyens spécifiques pour être mesurés sont plus faciles à renseigner.
- Quantité : les flux dont le volume est très important sont souvent mieux renseignés que des flux de faible quantité
- Intérêt public : Des impacts comme le changement climatique ont tourné l'intérêt du public à certains types d'émission qui sont par conséquent mieux renseignées.
- Enjeux de la technologie/filière : Certaines technologies présentent des enjeux plus importants pour certains compartiments que d'autres. Par exemple, l'incinération des plastiques émet une quantité considérable de composés volatiles alors que le stockage du verre présente très peu d'émissions.
- Allocation des impacts : Très peu de données sur les impacts du traitement des déchets dans les cimenteries ont été recensées. En effet, ces impacts sont très souvent alloués au ciment produit et très peu de source s'intéressent au traitement des déchets en lui-même.

Une analyse des flux rapportés par les sources relève quelques tendances à considérer :

- Les émissions dans l'air et dans l'eau sont globalement mieux documentées dans la littérature
- Les consommations d'électricité et de chaleur sont les flux les plus étudiés dans la littérature, notamment pour déterminer le rendement énergétique global des technologies permettant la valorisation des déchets
- La quantité de consommables utilisés par une technologie n'est pas toujours renseignée. La prise en compte de ces flux pourrait modifier considérablement les résultats d'une ACV, les produits chimiques provenant dans certains cas de processus très énergivores.
- Les émissions dans le sol ont rarement été identifiées et quantifiées dans les sources consultées. Une omission qui pourrait être importante face à la toxicité élevée de certains métaux, par exemple.

Ces résultats doivent cependant être nuancés. En effet, le temps passé à étudier la bibliographie pour chacune des filières ou technologies n'a pas été équivalent, les filières considérées comme de plus grand intérêt par les membres de SCORELCA ont été étudiées avec plus d'attention.

Les DEE représentent la filière la plus étudiée dans la littérature parmi les filières choisies pour cette étude. La figure 3 présente la Fréquence d'apparition des types de flux en fonction de la technologie étudiée pour cette filière.

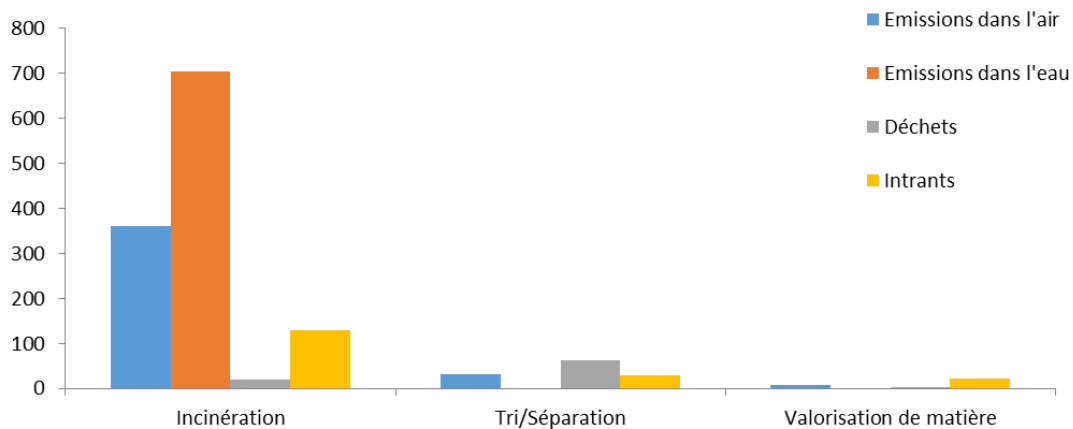


Figure 3. Fréquence d'apparition des types de flux en fonction de la technologie étudiée pour la filière DEEE

Pour la filière DEEE trois technologies de traitement ont été recensées. L'incinération représente la technologie avec le plus grand nombre de flux recensés alors qu'il s'agit d'une technologie peu utilisée en France pour le traitement de ces déchets. Ce point relève d'une problématique généralisable à l'ensemble des filières : une technologie/filière très étudiée ne représente pas forcément la technologie la plus étudiée mais plutôt celle qui présente le plus d'enjeux ou dont les flux sont connus.

IV.3.ii. Analyse statistique des données disponibles par filière

Les figures 4 et 5 présentent la distribution des sources consultées en fonction de la qualité moyenne et de la date de publication moyenne par filière et par matériau. La qualité et la date de publication moyennes ont été calculées en fonction du nombre de sources traitant sa fin de vie.

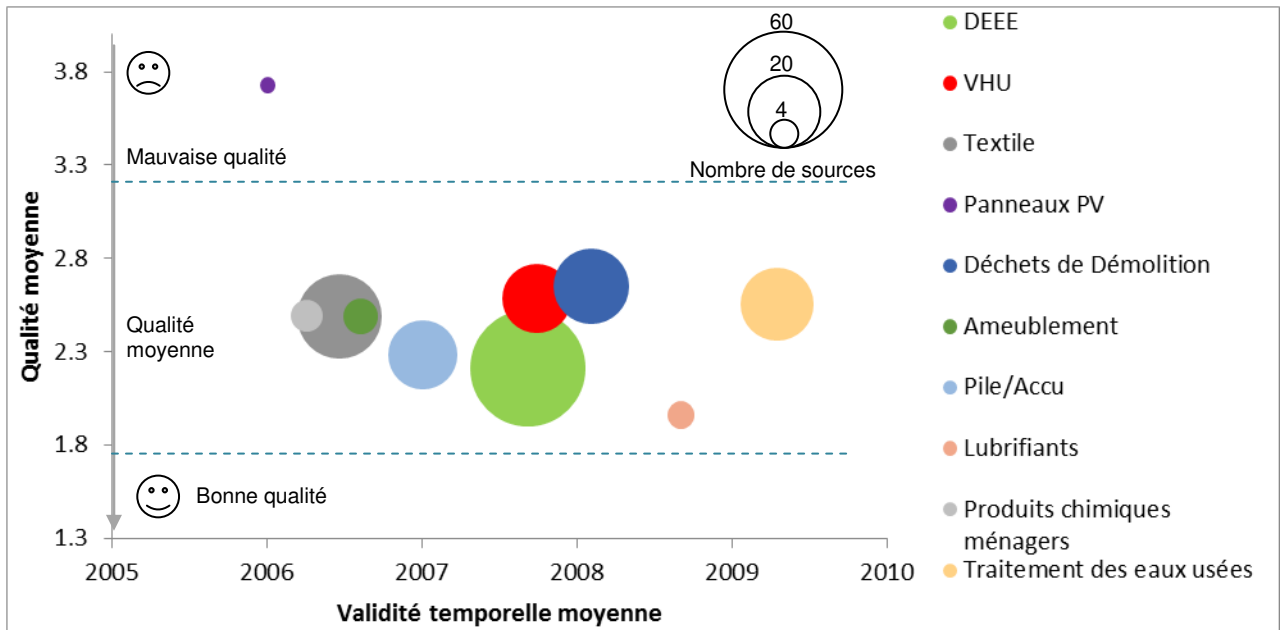


Figure 4. Distribution des sources étudiées en fonction de la filière, la qualité et la validité temporelle

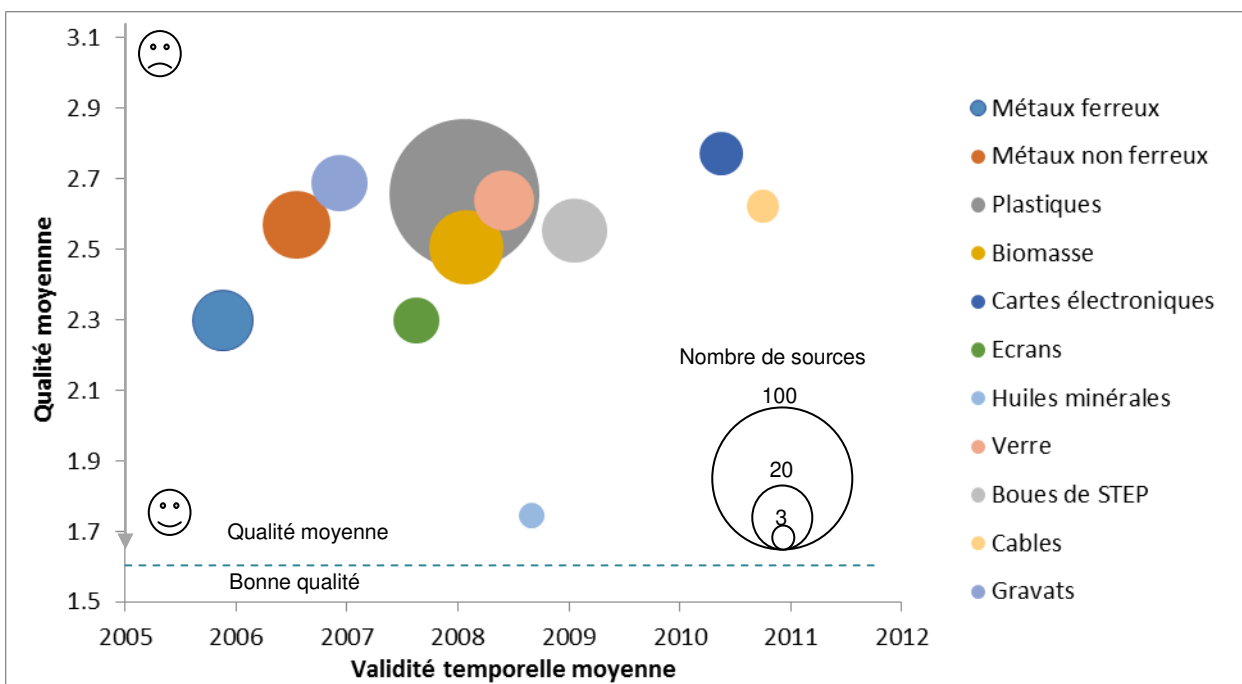


Figure 5. Distribution des sources étudiées en fonction de la filière, la qualité et la validité temporelle

Ces deux figures montrent une dispersion assez importante des filières en fonction des trois paramètres. Néanmoins la qualité des données obtenues est sensiblement la même pour toutes les filières étudiées (une note moyenne entre 2.0 et 2.7 pour la plupart des filières), avec un âge moyen assez similaire également. La caractéristique qui sera utilisée pour estimer le besoin d'approfondir les connaissances existantes sur une filière ou sur un matériau est le nombre de sources qui se sont intéressés à sa fin de vie.

Ainsi, les filières étudiées peuvent être classées en trois catégories selon le nombre de sources dans la base de données s'intéressant à leur traitement :

- Filières largement étudiées (plus de 40 sources) :

- DEEE
- Filières moyennement étudiées (plus de 15 sources) :
 - VHU
 - Textile
 - Démolition/construction
 - Traitement des eaux usées
 - Piles et accumulateurs
- Filières peu étudiées (moins de 15 sources) :
 - Panneaux photovoltaïques
 - Ameublement
 - Lubrifiants
 - Produits chimiques ménagers

Une filière largement étudiée ne correspond pas forcément à une filière dont le niveau des connaissances est satisfaisant par rapport aux enjeux environnementaux qui lui sont associés. Par exemple, la filière DEEE est une des filières les plus étudiées aujourd'hui cependant il s'agit d'une filière complexe avec des enjeux environnementaux majeurs qui peuvent varier d'un type de DEEE à l'autre. Au contraire, la fin de vie des bouteilles des gaz a été très peu étudiée dans la littérature mais avec un taux de réutilisation de 99%, la quantité de déchets traités reste très faible.

Dans le cadre du présent mandat, certaines filières aient été étudiées plus exhaustivement que d'autres ce qui peut entraîner des différences au niveau du nombre de sources intégrées dans la base.

Le tableau 6 fait un récapitulatif des différentes filières selon la disponibilité des données d'inventaire mais également sur l'importance des enjeux environnementaux et de la complexité de la filière.

Tableau 6. Des filières prioritaires en fonction de la disponibilité des informations et de la complexité de la filière

Filière	Disponibilité des informations	Complexité de la filière
DEEE	Filière largement étudiée	Les DEEE sont classés en 7 familles différentes qui doivent être traitées différemment. Il s'agit de déchets complexes composés de nombreux matériaux. Filière très complexe.
VHU	Filière moyennement étudiée	Les VHU subissent des traitements similaires. Ils sont cependant composés de nombreux matériaux dont des composés dangereux. Filière complexe.
Panneaux photovoltaïques	Filière peu étudiée	Filière peu structurée. Les déchets produits sont composés de plusieurs types de matériaux et les techniques de valorisation sont, dans beaucoup de cas, expérimentales.
Textile	Filière moyennement étudiée	Les techniques de traitement sont connues, les déchets composés d'un seul type de matériau et la filière structurée (Eco TLC, Le Relais, etc.).
Bouteilles de gaz	Filière peu étudiée	La plupart des bouteilles de gaz sont récupérées par les fabricants et réutilisées ce qui limite la quantité de déchets. Les bouteilles de gaz sont composées principalement de métaux.
Démolition	Filière moyennement étudiée	Ces déchets sont composés majoritairement de gravats et les techniques de traitement sont connues. Les déchets sont inertes.
Ameublement	Filière peu étudiée	Filière structurée (Eco Mobilier) mais très récente. Les déchets sont peu dangereux mais de composition variable.
Pile et accumulateurs	Filière moyennement étudiée	Déchets de composition variée mais subissant des traitements similaires. La filière est très structurée (Corepile, SCRELEC, etc.).

Lubrifiants	Filière peu étudiée	Filière peu structurée. Les déchets sont dangereux et les techniques de traitement peu connues.
Produits chimiques ménagers	Filière peu étudiée	Filière très récente. Les déchets sont dangereux et de nature variée. Les techniques de valorisation (si possible) sont peu connues. Filière très complexe.
Traitement des eaux usées	Filière moyennement étudiée	Les technologies utilisées pour les déchets issus du traitement des eaux usées (boues de STEP) sont connues.

Cette première réflexion permettra d'alimenter la discussion sur la hiérarchisation des filières. Cependant, le choix d'étudier une filière ou une autre dépendra également des besoins de SCORELCA et des filières qui présentent le plus d'enjeux pour ses partenaires.

IV.4. Autres pistes d'amélioration

En plus d'approfondir les connaissances existantes sur les différentes filières, un travail supplémentaire et nécessaire pour améliorer les modèles utilisés pour évaluer les technologies de traitement des déchets. Une liste de recommandations est présentée ci-dessous :

- Des règles permettant d'allouer les impacts d'une technologie traitant un mélange complexe à chaque composant traité permettraient de mieux cibler les émissions liées à chaque filière.
 - Par exemple, la quantité de dioxines formées lors de l'incinération d'un produit, dépend de son PCI (et non pas du chlore que le déchet contient).
 - Ces règles devraient également être appliquées pour allouer les bénéfices associés à une technologie.
- La dispersion des métaux rares est un sujet rarement évalué au moment de réaliser une ACV. Ainsi, un métal rare dispersé dans un centre de stockage n'est pas « perdu » et devient potentiellement valorisable un jour. Au contraire, s'il est fondu dans un bloc d'acier, il sera difficilement récupérable. L'influence de la prise en compte de ce phénomène sur les résultats d'une ACV devrait être étudiée, comme des travaux sur la catégorie d'impact écotoxicité stockée (*Stored ecotoxicity*, présente notamment dans EDIP 2003) tendent à le faire.
- Les filières de traitement des matériaux techniques (verres, plastiques, etc.) sont à distinguer des filières de traitement des matériaux d'emballage ou des matériaux assimilés à des ordures ménagères.
- Les variations géographiques ou temporelles des émissions d'une technologie donnée sont rarement connues. Une meilleure connaissance de ces différences permettrait d'améliorer la qualité des ACV en fonction de la position et de l'âge du site.

IV.5. Réflexions préliminaires sur un plan d'actions

Une première suggestion de plan d'actions est proposée ci-dessous, sans objectif d'exhaustivité ou de hiérarchisation. Un atelier de réflexion avec les membres de SCORELCA devra pouvoir permettre d'affiner cette réflexion préliminaire.

Objectif		Etapes
Améliorer la disponibilité des données sur la fin de vie	<i>Définition des besoins</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Définition des filières prioritaires à l'aide d'une analyse multicritère 2. Création de partenariats avec les acteurs des filières prioritaires et possibles détenteurs de données
	<i>Développement de nouvelles données</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Réalisation d'études supplémentaires sur les filières définies comme prioritaires

		2. Agrégation des données existantes chez les partenaires pour la création de procédés moyens ou de <i>system process</i>
	<i>Mise à disposition des données</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Développement d'un outil permettant la mise à jour de la base de données 2. Mise à disposition de la base de données et de l'outil de mise à jour
Définir une méthodologie pour l'évaluation de la fin de vie	<i>Etat de l'art</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Analyse détaillée des méthodologies utilisées aujourd'hui pour la modélisation des filières prioritaires 2. Organisation d'une discussion avec les acteurs du domaine pour l'identification des enjeux méthodologiques majeurs.
	<i>Création d'une méthodologie robuste et validée</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Définition d'une méthodologie pour la modélisation de la fin de vie des filières prioritaires en prenant en compte les enjeux méthodologiques identifiés 2. Validation de la méthodologie développée par les acteurs consultés
Envisager l'évolution des données sur la fin de vie	<i>Veille sur l'évolution des filières</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Réalisation d'une étude sur les évolutions des technologies de fin de vie 2. Identification des matériaux de substitution envisagés par les filières prioritaires
	<i>Identification des futurs enjeux</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Evaluation des impacts environnementaux des matériaux de substitution
<i>Autres sujets ?</i>	<i>A développer conjointement avec les membres de SCORELCA</i>	

V. Conclusions

SCORELCA souhaite approfondir les connaissances de ses membres en leur proposant d'apporter, dans une vision cycle de vie, une aide sur le recensement de données disponibles et manquantes sur la fin de vie de diverses filières (DEEE, VHU, panneaux photovoltaïques, déchets d'ameublement, déchets de démolition, lubrifiants, bouteilles de gaz, piles et accumulateurs, textile et produits chimiques ménagers) et sur les matériaux qui les composent (plastiques, métaux, verre, câbles, gravats, biomasse, écrans, boues de STEP, huiles minérales).

Face à cette problématique, une recherche bibliographique exhaustive et une analyse des principales bases de données existantes a été réalisée. L'objectif étant d'avoir un panorama global, il a été décidé que la recherche serait la plus large possible et ne serait pas limitée par la localisation ou par la technologie du procédé modélisé. Cette étude s'est accompagnée de l'évaluation de la qualité des

données en utilisant une méthodologie basée sur les recommandations de l'ILCD et d'ecoinvent. La méthode développée permet de juger la qualité globale d'une donnée de façon qualitative.

Les données recensées ont été utilisées pour consolider une base de données d'Inventaire de Cycle de Vie (ICV) avec une structure simple. Les moteurs de recherche intégrés à l'outil permettent à l'utilisateur de choisir les critères désirés (filiale, matériaux et/ou technologie) pour obtenir un tableau qui contienne uniquement les informations concernant les sources d'intérêt et de comparer différentes sources entre elles. Les métadonnées renseignées et la qualité globale de la donnée permettent alors à l'utilisateur de choisir le modèle qui représente le mieux sa situation.

Une analyse statistique des données a ensuite permis d'identifier les filières nécessitant des travaux supplémentaires. A l'issue de cette recherche, il apparaît, en effet, que certaines filières (panneaux photovoltaïques, produits chimiques ménagers, bouteilles de gaz) sont beaucoup moins représentées que d'autres dans la littérature et dans les bases de données existantes. Les raisons derrière cette différence sont variées et dépendent d'un côté des acteurs de la filière mais également de la complexité, de la structuration, et de l'ancienneté de celle-ci. A cette problématique s'ajoute la difficulté qui existe à développer des modèles permettant d'étudier les différentes technologies. Le même phénomène est observable pour les flux rapportés, avec certains types de flux (notamment les émissions dans le sol) absents de la plupart des inventaires. De plus, l'âge des données est en moyenne supérieur à 6 ans, le tout mène à une qualité globale moyennement satisfaisante.

En vue d'approfondir de façon consistante les connaissances actuelles et face à la qualité des données existantes, des travaux supplémentaires sont nécessaires ; Des leviers d'amélioration ont donc été suggérés. Le plan d'action proposé passe dans un premier temps par la réalisation d'une analyse multicritères qui permettra de hiérarchiser les filières et de définir les priorités. Cette étape permettra de définir les règles méthodologiques nécessaires et d'identifier les acteurs du domaine, la construction de partenariats étant une des pierres angulaires pour le développement de données précises.

Annexe I. Sources consultées

Ademe. (n.d.). Bilan environnemental sur les filières de recyclage : l'état des connaissances ACV.

ADEME. (2006). Analyse de Cycle de Vie d'un Pantalon en Jean Sommaire, 33(0).

ADEME. (2008). Etat de l'art des technologies de recyclage de certains DEEE : PAM, tubes cathodiques, cartes et composants électroniques, 1-170.

Ademe. (2008). Filières et recyclage - Recueil des interventions.

ADEME. (2012). BILAN DU RECYCLAGE 2001 - 2010 VOLUME 2 : FILIERES MATERIAUX ET FILIERES REP RAPPORT FINAL, 2.

Ademe. (2012). Filières et Recyclage - Recueil des interventions.

Ademe-PricewaterhouseCoopers. (2000). Analyse du Cycle de Vie des filières de traitement des Films Plastiques Agricoles Usagés en France Version provisoire, 1-76.

Adrien BETON, Debora DIAS, Laura FARRANT, Thomas GIBON, Yannick LE GUERN, Marie DESAXCE, ... et BOUFATEH. (2012). *Environmental Improvement Potential of Textiles (IMPRO-Textiles)*. Draft.

- Almansour Essam (2011). Thèse : Bilans énergétiques et environnementaux de filières biogaz : Approche par filière-type. *Université de Bordeaux I*.
- Al-Salem, S. M., Evangelisti, S., & Lettieri, P. (2014). Life Cycle Assessment of alternative technologies for Municipal Solid Waste and Plastic Solid Waste management in the Greater London area. *Chemical Engineering Journal*, 244, 391–402. doi:10.1016/j.cej.2014.01.066
- Angelika Mettke, & Sören Heyn. (2010). *Ökologische Prozessbetrachtungen - RC-Beton (Stofffluss, Energieaufwand, Emissionen)*. Cottbus. Retrieved from http://www.rc-beton.de/vortraege_pdfs/Stofffluss-Energieaufwand-RC-Beton101102.pdf
- Arena, U., Mastellone, M. L., & Perugini, F. (2003). Life Cycle assessment of a plastic packaging recycling system. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 8(2), 92–98. doi:10.1007/BF02978432
- Argonne, national laboratory. (n.d.). *A review of battery Life-Cycle Analysis: state of knowledge and critical needs*.
- Assamoi, B., & Lawryshyn, Y. (2012). The environmental comparison of landfilling vs. incineration of MSW accounting for waste diversion. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 32(5), 1019–30. doi:10.1016/j.wasman.2011.10.023
- Association, I. Z. (2007). *Recycling Allocation : Summary of Best Practices for Use in Life Cycle Assessment*, (January).
- Astrup, Thomas; Fruergaard, Thilde; Christensen, Thomas H (2002). Miljø-mæssige fordele og ulemper ved genvinding af plast (Environmental advantages and disadvantages of plastic recycling).
- Bailey, R. A., Clark, H. M., Ferris, J. P., Krause, S., & Strong, R. L. (2002). *Chemistry of the Environment*. *Chemistry of the Environment* (pp. 769–792). Elsevier. doi:10.1016/B978-012073461-0/50063-6
- Barba-Gutiérrez, Y., Adenso-Díaz, B., & Hopp, M. (2008). An analysis of some environmental consequences of European electrical and electronic waste regulation. *Resources, Conservation and Recycling*, 52(3), 481–495. doi:10.1016/j.resconrec.2007.06.002
- Bart, J. C. J., Gucciardi, E., & Cavallaro, S. (2013a). *Biolubricants*. *Biolubricants* (pp. 755–823). Elsevier. doi:10.1533/9780857096326.755
- Bart, J. C. J., Gucciardi, E., & Cavallaro, S. (2013b). *Biolubricants*. *Biolubricants* (pp. 527–564). Elsevier. doi:10.1533/9780857096326.527
- Bartl, A. (2011). *Waste*. *Waste* (pp. 167–179). Elsevier. doi:10.1016/B978-0-12-381475-3.10012-9
- Barton, R. G., Clark, W. D., Lanier, W. S., & Seeker, W. R. (1990). Dioxin emissions from waste incinerators. *Chemosphere*, 20(10-12), 1825–1832. doi:10.1016/0045-6535(90)90348-W
- Batteries for Portable Devices*. (2005). *Batteries for Portable Devices* (pp. 225–245). Elsevier. doi:10.1016/B978-044451672-5/50009-0
- Bergsma, G., & Sevenster, M. (2013). End-of-life best approach for allocating recycling benefits in **LCA**s of metal packaging, (February).
- Bernie Thomas, Matt Fishwick, James Joyce, & Anton van Santen. (2012). *A Waste Footprint Assessment for UK Clothing*.

- Beylot, A., & Villeneuve, J. (2013). Environmental impacts of residual municipal solid waste incineration: a comparison of 110 French incinerators using a life cycle approach. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 33(12), 2781–8. doi:10.1016/j.wasman.2013.07.003
- Bigum, M., Brogaard, L., & Christensen, T. H. (2012). Metal recovery from high-grade WEEE: a life cycle assessment. *Journal of Hazardous Materials*, 207-208, 8–14. doi:10.1016/j.jhazmat.2011.10.001
- Binnemans, K., Jones, P. T., Blanpain, B., Van Gerven, T., Yang, Y., Walton, A., & Buchert, M. (2013). Recycling of rare earths: a critical review. *Journal of Cleaner Production*, 51, 1–22. doi:10.1016/j.jclepro.2012.12.037
- Bio Intelligence Service. (2011). STUDY ON PHOTOVOLTAIC PANELS SUPPLEMENTING THE IMPACT ASSESSMENT FOR A RECAST OF THE WEEE DIRECTIVE, (April).
- Björklund, A., & Finnveden, G. (2005). Recycling revisited—life cycle comparisons of global warming impact and total energy use of waste management strategies. *Resources, Conservation and Recycling*, 44(4), 309–317. doi:10.1016/j.resconrec.2004.12.002
- Blanc, A. N., Blot, J., Caudron, J., Château, L., Mathery, C., Pillet, P., ... Fabiew, A. E. (2012). BILAN DU RECYCLAGE 2001 - 2010 VOLUME 1 : SYNTHÈSE RAPPORT FINAL, 1.
- Boesch, M. E., Vadenbo, C., Saner, D., Huter, C., & Hellweg, S. (2014). An **LCA** model for waste incineration enhanced with new technologies for metal recovery and application to the case of Switzerland. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 34(2), 378–89. doi:10.1016/j.wasman.2013.10.019
- Boughton, B., & Horvath, A. (2006). Environmental assessment of shredder residue management. *Resources, Conservation and Recycling*, 47(1), 1–25. doi:10.1016/j.resconrec.2005.09.002
- Brogaard, L. K., Damgaard, A., Jensen, M. B., Barlaz, M., & Christensen, T. H. (2014). Evaluation of life cycle inventory data for recycling systems. *Resources, Conservation and Recycling*, 87, 30–45. doi:10.1016/j.resconrec.2014.03.011
- Chancerel, P., & Rotter, S. (2009). Recycling-oriented characterization of small waste electrical and electronic equipment. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 29(8), 2336–52. doi:10.1016/j.wasman.2009.04.003
- CITEPA. (2013). ORGANISATION ET METHODES DES INVENTAIRES NATIONAUX DES EMISSIONS ATMOSPHERIQUES EN FRANCE, (February).
- Claude, B. (2006). COMPARAISON DE TROIS FILIERES DE STOCKAGE D'ORDURES MENAGERES Etude du comportement des déchets en pilotes semi industriels et caractérisation des émissions liquides et gazeuses associées.
- Craighill, Amelia; Powell, Jane (1996). Lifecycle assessment and economic evaluation of recycling: a case study . *Resources, Conservation and Recycling*. Vol. 17, 75-96.
- Coelho, A., & de Brito, J. (2012). Influence of construction and demolition waste management on the environmental impact of buildings. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 32(3), 532–41. doi:10.1016/j.wasman.2011.11.011
- Coelho, A., & de Brito, J. (2013a). Environmental analysis of a construction and demolition waste recycling plant in Portugal--Part I: energy consumption and CO2 emissions. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 33(5), 1258–67. doi:10.1016/j.wasman.2013.01.025

- Coelho, A., & de Brito, J. (2013b). Environmental analysis of a construction and demolition waste recycling plant in Portugal--Part II: Environmental sensitivity analysis. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 33(1), 147–61. doi:10.1016/j.wasman.2012.09.004
- Coelho, A., & De Brito, J. (2013). *Handbook of Recycled Concrete and Demolition Waste. Handbook of Recycled Concrete and Demolition Waste* (pp. 141–185). Elsevier. doi:10.1533/9780857096906.2.141
- Cyrs, W. D., Avens, H. J., Capshaw, Z. A., Kingsbury, R. A., Sahmel, J., & Tvermoes, B. E. (2014). Landfill waste and recycling: Use of a screening-level risk assessment tool for end-of-life cadmium telluride (CdTe) thin-film photovoltaic (PV) panels. *Energy Policy*, 68, 524–533. doi:10.1016/j.enpol.2014.01.025
- Damgaard, A., Manfredi, S., Merrild, H., Stensøe, S., & Christensen, T. H. (2011). **LCA** and economic evaluation of landfill leachate and gas technologies. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 31(7), 1532–41. doi:10.1016/j.wasman.2011.02.027
- Daniel, S. E., Pappis, C. P., & Voutsinas, T. G. (2003). Applying life cycle inventory to reverse supply chains: a case study of lead recovery from batteries. *Resources, Conservation and Recycling*, 37(4), 251–281. doi:10.1016/S0921-3449(02)00070-8
- Das, S. (2010). *Materials, Design and Manufacturing for Lightweight Vehicles. Materials, Design and Manufacturing for Lightweight Vehicles* (pp. 309–331). Elsevier. doi:10.1533/9781845697822.2.309
- DENG, J., WEN, X., & ZHAO, Y. (2008). Evaluating the treatment of E-waste — a case study of discarded refrigerators. *Journal of China University of Mining and Technology*, 18(3), 454–458. doi:10.1016/S1006-1266(08)60094-2
- Dereyko, K. (2001). Ecobilans de la filière de traitement des déchets incinérables chez strid.
- Dimitrakakis, E., Janz, A., Bilitewski, B., & Gidarakos, E. (2009). Small WEEE: determining recyclables and hazardous substances in plastics. *Journal of Hazardous Materials*, 161(2-3), 913–9. doi:10.1016/j.jhazmat.2008.04.054
- Dodbiba, G., Takahashi, K., Sadaki, J., & Fujita, T. (2008). The recycling of plastic wastes from discarded TV sets: comparing energy recovery with mechanical recycling in the context of life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 16(4), 458–470. doi:10.1016/j.jclepro.2006.08.029
- Doka G. (2009). Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services
- Dupuis, D., & Desodt, A. J. (2011). N° d'ordre : 40527 UNIVERSITE LILLE NORD-DE-FRANCE.
- Eco-systèmes. (n.d.). Le recyclage des petits appareils, 1–8.
- Edwards, D. W., & Schelling, J. (1999). Municipal Waste Life Cycle Assessment. *Process Safety and Environmental Protection*, 77(5), 259–274. doi:10.1205/095758299530143
- Ehrenberger, S. (2013). *Life Cycle Assessment of Magnesium Components in Vehicle construction*.
- Elsa Olivetti, Jeremy Gregory, R. K. (2011). *Life cycle impacts of alkaline batteries with a focus on end-of-life*.
- ETHOS Research (2012). Carbon footprints for recycled solvents. Study for the European Solvent Recycler Group (ESRG)

European Commission. (n.d.). JRC Scientific and Technical Reports : IMPRO-Textiles.

European Commission. (2006a). Reference document on Best Available Techniques for the Waste Treatments Industries, (August).

European Commission. (2006b). Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration, (August).

European Commission – DG ENV (2011). Comparative Life-Cycle Assessment of nickel-cadmium (NiCd) batteries used in Cordless Power Tools (CPTs) vs. their alternatives nickel-metal hydride (NiMH) and lithium-ion (Li-ion) batteries. Final Report

European Commission – Joint Research Centre. European Reference Life Cycle Database 2.0

Ferreira, S., Cabral, M., da Cruz, N. F., Simões, P., & Marques, R. C. (2014). Life cycle assessment of a packaging waste recycling system in Portugal. *Waste Management (New York, N.Y.)*. doi:10.1016/j.wasman.2014.05.007

Fthenakis, V. M. (2000). End-of-life management and recycling of PV modules. *Energy Policy*, 28(14), 1051–1058. doi:10.1016/S0301-4215(00)00091-4

Fthenakis, V. M., & Kim, H. C. (2012). *Comprehensive Renewable Energy. Comprehensive Renewable Energy* (pp. 143–159). Elsevier. doi:10.1016/B978-0-08-087872-0.00107-4

FRANKLIN ASSOCIATES. (2010). *FINAL REPORT LIFE CYCLE INVENTORY OF 100% POSTCONSUMER HDPE AND PET RECYCLED RESIN FROM POSTCONSUMER CONTAINERS AND PACKAGING; PREPARED FOR THE PLASTICS DIVISION OF THE AMERICAN CHEMISTRY COUNCIL, INC., THE ASSOCIATION OF POSTCONSUMER PLASTIC RECYCLERS* (A. Kansas. Retrieved from http://www.napcor.com/pdf/FinalReport_LCI_Postconsumer_PETandHDPE.pdf

Fuentes, M. J., Font, R., Gómez-Rico, M. F., & Martín-Gullón, I. (2007). Pyrolysis and combustion of waste lubricant oil from diesel cars: Decomposition and pollutants. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 79(1-2), 215–226. doi:10.1016/j.jaap.2006.12.004

Funazaki, A. (2003). Automobile life cycle assessment issues at end-of-life and recycling. *JSAE Review*, 24(4), 381–386. doi:10.1016/S0389-4304(03)00081-X

Galvez-Martos, J.-L., & Schoenberger, H. (2014). An analysis of the use of life cycle assessment for waste co-incineration in cement kilns. *Resources, Conservation and Recycling*, 86, 118–131. doi:10.1016/j.resconrec.2014.02.009

Gamberini, R., Gebennini, E., Manzini, R., & Ziveri, A. (2010). On the integration of planning and environmental impact assessment for a WEEE transportation network—A case study. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(11), 937–951. doi:10.1016/j.resconrec.2010.02.001

Garraín, D., & Lechón, Y. (2014). Exploratory environmental impact assessment of the manufacturing and disposal stages of a new PEM fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(4), 1769–1774. doi:10.1016/j.ijhydene.2013.11.095

Gentil, E. C., Damgaard, A., Hauschild, M., Finnveden, G., Eriksson, O., Thorneloe, S., ... Christensen, T. H. (2010). Models for waste life cycle assessment: review of technical assumptions. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 30(12), 2636–48. doi:10.1016/j.wasman.2010.06.004

- Giacchetta, G., Leporini, M., & Marchetti, B. (2013). Evaluation of the environmental benefits of new high value process for the management of the end of life of thin film photovoltaic modules. *Journal of Cleaner Production*, 51, 214–224. doi:10.1016/j.jclepro.2013.01.022
- Giannouli, M., de Haan, P., Keller, M., & Samaras, Z. (2007). Waste from road transport: development of a model to predict waste from end-of-life and operation phases of road vehicles in Europe. *Journal of Cleaner Production*, 15(11-12), 1169–1182. doi:10.1016/j.jclepro.2006.05.031
- Goe, M., & Gaustad, G. (2014). Strengthening the case for recycling photovoltaics: An energy payback analysis. *Applied Energy*, 120, 41–48. doi:10.1016/j.apenergy.2014.01.036
- Guidance, G. P. (n.d.). EMISSIONS FROM WASTE INCINERATION Waste incineration, 455–468.
- Hellweg, S., Hofstetter, T. B., & Hungerbühler, K. (2001a). Modeling Waste Incineration for Life-Cycle Inventory Analysis in Switzerland. *Environmental Modeling & Assessment*, 6(4), 219–235. doi:10.1023/A:1013307529341
- Hellweg, S., Hofstetter, T. B., & Hungerbühler, K. (2001b). Modeling waste incineration for life-cycle inventory analysis in Switzerland, 219–235.
- Helsen, L. (2009). The Chartherm process, what's in the name? *Waste Management (New York, N.Y.)*, 29(5), 1649–57. doi:10.1016/j.wasman.2008.10.015
- Hermann, B. G., Debeer, L., De Wilde, B., Blok, K., & Patel, M. K. (2011). To compost or not to compost: Carbon and energy footprints of biodegradable materials' waste treatment. *Polymer Degradation and Stability*, 96(6), 1159–1171. doi:10.1016/j.polymdegradstab.2010.12.026
- Hischier, R. (2007). Disposal of Electric and Electronic Equipment (e-Waste), 0(18).
- Hirschier R. (2007). Life Cycle Inventories of Electric and Electronic Equipment – Production, Use & End-of-Life
- Hischier doi:10.1016/j.eiar.2005.04.003, R., Wäger, P., & Gaughhofer, J. (2005). Does WEEE recycling make sense from an environmental perspective? *Environmental Impact Assessment Review*, 25(5), 525–539.
- Holcim. (2010). *Ökobilanzen rezykliertes Gesteinskörnung für Beton. Ein Forschungsbericht der Holcim (Schweiz) AG*. Retrieved from http://www.iip.kit.edu/downloads/Holcim_Forschungsbericht_dt_2011.pdf
- Hong Ren (2012). Master Thesis: Plastic Waste Recycling and Greenhouse Gas Reduction. Aalborg University, Denmark
- IBGE. (2009). Guide de gestion des déchets de construction et de démolition.
- ICF Consulting. (2005). *Analyse des effets des activités de gestion des matières résiduelles sur les émissions de gaz à effet de serre*.
- Ifen. (2004). Le recyclage des déchets du bâtiment et des travaux publics peut progresser.
- Intertek - RDC Environnement. (2012). Bilan de l'état de l'art réalisé en 2009 sur le tri et la valorisation des textiles d'habillement et du linge de maison consommés par les ménages Rapport réalisé par Intertek - RDC Environnement pour Eco TLC.
- Inventory, N. P. (2010). Emission estimation technique manual for Municipal solid waste landfills, (November 1999).
- Etude SCORE LCA n° 2013-003 – Rapport Final
Quantis- 2014

- Irma T. Mercante, María D. Bovea, Valeria Ibáñez-Forés, & Alejandro P. Arena. (2011). Life cycle assessment of construction and demolition waste management systems: a Spanish case study. *Int J Life Cycle Assess.* Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/257680054_Life_cycle_assessment_of_construction_and_demolition_waste_management_systems_a_Spanish_case_study
- Jeong, K. M., Hong, S. J., Lee, J. Y., & Hur, T. (2007). Life Cycle Assessment on End-of-Life Vehicle Treatment System in Korea, *13*(4), 624–630.
- Johan, C., & Karlstro, M. (2002). Life cycle inventory of recycling portable nickel – cadmium batteries, *34*, 289–309.
- Jong hyun Lim (2012). Master Thesis. Assessment of the Sludge Management Options in a Waste Water Treatment Plant. Massachusetts Institute of Technology.
- Jungbluth N. (2007). Life Cycle Inventories of Bionenergy
- Karen Fisher, Erika Wallén, P. P. L. and M. C. (2006). *Battery Waste Management Life Cycle Assessment Battery Waste Management Life Cycle Assessment.*
- Kirwan, K., & Wood, B. M. (2012). *Advanced Materials in Automotive Engineering. Advanced Materials in Automotive Engineering* (pp. 299–314). Elsevier. doi:10.1533/9780857095466.299
- L. Frisson, K. LIETEN, T. Bruton, K. DECLERQ, J. SZLUFCHIK, H. D. M. (2000). 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 1-5 May 2000, Glasgow, UK, (May), 1–4.
- Landscape, P., & Project, R. (2013). Patent Landscape Report on E-Waste Recycling Technologies.
- Larsen, K. (2009). End-of-life PV: then what? *Renewable Energy Focus*, *10*(4), 48–53. doi:10.1016/S1755-0084(09)70154-1
- Laurent, A., Bakas, I., Clavreul, J., Bernstad, A., Niero, M., Gentil, E., ... Christensen, T. H. (2013). Review of **LCA** studies of solid waste management systems - Part I: Lessons learned and perspectives. *Waste Management (New York, N.Y.)*, *34*(3), 573–588. doi:10.1016/j.wasman.2013.10.045
- Laurent, A., Clavreul, J., Bernstad, A., Bakas, I., Niero, M., Gentil, E., ... Hauschild, M. Z. (2014). Review of **LCA** studies of solid waste management systems - Part II: Methodological guidance for a better practice. *Waste Management (New York, N.Y.)*, *34*(3), 589–606. doi:10.1016/j.wasman.2013.12.004
- Lazarevic, D., Aoustin, E., Buclet, N., & Brandt, N. (2010). Plastic waste management in the context of a European recycling society: Comparing results and uncertainties in a life cycle perspective. *Resources, Conservation and Recycling*, *55*(2), 246–259. doi:10.1016/j.resconrec.2010.09.014
- Lea, W. R. (1996). Plastic incineration versus recycling: a comparison of energy and landfill cost savings. *Journal of Hazardous Materials*, *47*(1-3), 295–302. doi:10.1016/0304-3894(95)00117-4
- Leuenberger, M., & Frischknecht, R. (2010). Life Cycle Assessment of Battery Electric Vehicles and Concept Cars Authors, *2*.
- Li, B., Li, J., & Yuan, C. (2013). Life Cycle Assessment of Lithium Ion Batteries with Silicon Nanowire Anode for Electric Vehicles, *1*.
- Li, C.-T., Zhuang, H.-K., Hsieh, L.-T., Lee, W.-J., & Tsao, M.-C. (2001). PAH emission from the incineration of three plastic wastes. *Environment International*, *27*(1), 61–67. doi:10.1016/S0160-4120(01)00056-3

- Lin, H., & Ma, X. (2012). Simulation of co-incineration of sewage sludge with municipal solid waste in a grate furnace incinerator. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 32(3), 561–7. doi:10.1016/j.wasman.2011.10.032
- Linak, W. P., & Wendt, J. O. . (1993). Toxic metal emissions from incineration: Mechanisms and control. *Progress in Energy and Combustion Science*, 19(2), 145–185. doi:10.1016/0360-1285(93)90014-6
- Link, C., Nicholson, A. L., Olivetti, E. A., Gregory, J. R., Field, F. R., & Kirchain, R. E. (2014). End-of-life **LCA** allocation methods : open loop recycling impacts on robustness of material selection decisions.
- Lou, X. F., & Nair, J. (2009). The impact of landfilling and composting on greenhouse gas emissions--a review. *Bioresource Technology*, 100(16), 3792–8. doi:10.1016/j.biortech.2008.12.006
- Lundin, M., Olofsson, M., Pettersson, G. ., & Zetterlund, H. (2004). Environmental and economic assessment of sewage sludge handling options. *Resources, Conservation and Recycling*, 41(4), 255–278. doi:10.1016/j.resconrec.2003.10.006
- Mancini, G., Tamma, R., & Viotti, P. (2010). Thermal process of fluff: preliminary tests on a full-scale treatment plant. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 30(8-9), 1670–82. doi:10.1016/j.wasman.2010.01.037
- Manfredi, S., & Christensen, T. H. (2009). Environmental assessment of solid waste landfilling technologies by means of **LCA**-modeling. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 29(1), 32–43. doi:10.1016/j.wasman.2008.02.021
- Manfredi, S., Niskanen, A., & Christensen, T. H. (2009). Environmental assessment of gas management options at the Old Ammässuo landfill (Finland) by means of **LCA**-modeling (EASEWASTE). *Waste Management (New York, N.Y.)*, 29(5), 1588–94. doi:10.1016/j.wasman.2008.10.005
- Marwede, M., Berger, W., Schlummer, M., Mäurer, A., & Reller, A. (2013). Recycling paths for thin-film chalcogenide photovoltaic waste – Current feasible processes. *Renewable Energy*, 55, 220–229. doi:10.1016/j.renene.2012.12.038
- Matheys, J., & Maggetto, G. (n.d.). Comparison of the Environmental impact of 5 Electric Vehicle Battery technologies using **LCA**, 97–102.
- McDonald, N. C., & Pearce, J. M. (2010). Producer responsibility and recycling solar photovoltaic modules. *Energy Policy*, 38(11), 7041–7047. doi:10.1016/j.enpol.2010.07.023
- McMahon, V., Garg, A., Aldred, D., Hobbs, G., Smith, R., & Tothill, I. E. (2008). Composting and bioremediation process evaluation of wood waste materials generated from the construction and demolition industry. *Chemosphere*, 71(9), 1617–28. doi:10.1016/j.chemosphere.2008.01.031
- McManus, M. C. (2010). Life cycle impacts of waste wood biomass heating systems: A case study of three UK based systems. *Energy*, 35(10), 4064–4070. doi:10.1016/j.energy.2010.06.014
- Menikpura, S. N. M., Santo, A., & Hotta, Y. (2014). Assessing the Climate Co-benefits from Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) Recycling in Japan. *Journal of Cleaner Production*. doi:10.1016/j.jclepro.2014.03.040
- Merrild, H., Larsen, A. W., & Christensen, T. H. (2012). Assessing recycling versus incineration of key materials in municipal waste: The importance of efficient energy recovery and transport distances. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 32(5), 1009–18. doi:10.1016/j.wasman.2011.12.025

- Mills, N., Pearce, P., Farrow, J., Thorpe, R. B., & Kirkby, N. F. (2014). Environmental & economic life cycle assessment of current & future sewage sludge to energy technologies. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 34(1), 185–95. doi:10.1016/j.wasman.2013.08.024
- Monni, S. (2012). From landfilling to waste incineration: Implications on GHG emissions of different actors. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 8, 82–89. doi:10.1016/j.ijggc.2012.02.003
- Morf, L. S., Tremp, J., Gloor, R., Schuppisser, F., Stengele, M., & Taverna, R. (2007). Metals, non-metals and PCB in electrical and electronic waste--actual levels in Switzerland. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 27(10), 1306–16. doi:10.1016/j.wasman.2006.06.014
- Morselli, L., Bartoli, M., Brusori, B., & Passarini, F. (2002). Application of an integrated environmental monitoring system to an incineration plant. *Science of The Total Environment*, 289(1-3), 177–188. doi:10.1016/S0048-9697(01)01038-5
- Müller, A., Wambach, K., & Alsema, E. (2006). Life Cycle Analysis of Solar Module Recycling Process, 895, 1–6.
- Muthu, S. S. (2014a). *Assessing the Environmental Impact of Textiles and the Clothing Supply Chain. Assessing the Environmental Impact of Textiles and the Clothing Supply Chain* (pp. 105–131). Elsevier. doi:10.1533/9781782421122.105
- Muthu, S. S. (2014b). *Assessing the Environmental Impact of Textiles and the Clothing Supply Chain. Assessing the Environmental Impact of Textiles and the Clothing Supply Chain* (pp. 144–162). Elsevier. doi:10.1533/9781782421122.144
- National Electrical Manufacturers Association. (2007). *Final Report Critical Review of the Literature Regarding Disposal of Household Batteries Prepared for National Electrical Manufacturers Association*.
- National society for clean air and environmental protection. (n.d.). comparison of emissions from waste management options.
- Niu, R., Wang, Z., Song, Q., & Li, J. (2012). **LCA** of Scrap CRT Display at Various Scenarios of Treatment. *Procedia Environmental Sciences*, 16, 576–584. doi:10.1016/j.proenv.2012.10.079
- Nixon, J. D., Wright, D. G., Dey, P. K., Ghosh, S. K., & Davies, P. A. (2013). A comparative assessment of waste incinerators in the UK. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 33(11), 2234–44. doi:10.1016/j.wasman.2013.08.001
- Nourredine, M. (2007). Recycling of auto shredder residue. *Journal of Hazardous Materials*, 139(3), 481–90. doi:10.1016/j.jhazmat.2006.02.054
- Nsw, C. (n.d.). Life Cycle Inventory and Life Cycle Assessment for Windrow Composting Systems.
- Nzihou, A., Themelis, N. J., Kemiha, M., & Benhamou, Y. (2012). Dioxin emissions from municipal solid waste incinerators (MSWIs) in France. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 32(12), 2273–7. doi:10.1016/j.wasman.2012.06.016
- Obersteiner, G., Binner, E., Mostbauer, P., & Salhofer, S. (2007). Landfill modelling in **LCA** - a contribution based on empirical data. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 27(8), S58–74. doi:10.1016/j.wasman.2007.02.018
- Oguchi, M., Sakanakura, H., & Terazono, A. (2013). Toxic metals in WEEE: characterization and substance flow analysis in waste treatment processes. *The Science of the Total Environment*, 463-464, 1124–32. doi:10.1016/j.scitotenv.2012.07.078

- Oguchi, M., Sakanakura, H., Terazono, A., & Takigami, H. (2012). Fate of metals contained in waste electrical and electronic equipment in a municipal waste treatment process. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 32(1), 96–103. doi:10.1016/j.wasman.2011.09.012
- Oko-Institute. (2003). Recovery Options for Plastic Parts from End-of-Life Vehicles : an Eco-Efficiency Assessment Final Report.
- Ongondo, F. O., Williams, I. D., & Cherrett, T. J. (2011). How are WEEE doing? A global review of the management of electrical and electronic wastes. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 31(4), 714–30. doi:10.1016/j.wasman.2010.10.023
- Passarini, F., Ciacci, L., Santini, A., Vassura, I., & Morselli, L. (2012). Auto shredder residue **LCA**: implications of ASR composition evolution. *Journal of Cleaner Production*, 23(1), 28–36. doi:10.1016/j.jclepro.2011.10.028
- Pedessac J. (2012). Les bouteilles de gaz- De nouvelles obligations réglementaires pour les metteurs sur le marché. *Filières & Recyclage*
- Petiot, C. (2010). - E TAT DE L ' A RT, 1–108.
- Perugini, F., Mastellone, M. L., & Arena, U. (2005). A life cycle assessment of mechanical and feedstock recycling options for management of plastic packaging wastes. *Environmental Progress*, 24(2), 137–154. doi:10.1002/ep.10078
- Porteous, A. (2001). Energy from waste incineration — a state of the art emissions review with an emphasis on public acceptability. *Applied Energy*, 70(2), 157–167. doi:10.1016/S0306-2619(01)00021-6
- Prise, O. D. E. D. E., Compte, E. N., Fin, D. E. L. A., Realisation, L. D. E. L. A., Vie, A. D. E. C. D. E., For, M., ... Art, T. H. E. (2010). SYNTHESE / EXTENDED ABSTRACT - E TAT DE L ' A RT METHOD FOR TAKING INTO ACCOUNT THE END - OF - LIFE WHEN PERFORMING LIFE CYCLE ANALYSIS (**LCA**) « PRODUCT - S TATE OF THE ART, 1–15.
- Ra, R. E. S., Nt, T. A. U., & Rie, B. O. U. C. H. E. (n.d.). Chiffres-clés.
- Rahimifard, S., Abu Bakar, M. S., & Williams, D. J. (2009). Recycling process planning for the End-of-Life management of waste from electrical and electronic equipment. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 58(1), 5–8. doi:10.1016/j.cirp.2009.03.080
- RDC-Environnement (2010). Analyse de Cycle de Vie (ACV) de l'incinération de déchets dangereux en four rotatif et développement d'un outil ACV
- Ren, H. (2012). Plastic Waste Recycling and Greenhouse Gas Reduction, (June).
- Rigamonti, L., Grosso, M., Møller, J., Martinez Sanchez, V., Magnani, S., & Christensen, T. H. (2014). Environmental evaluation of plastic waste management scenarios. *Resources, Conservation and Recycling*, 85, 42–53. doi:10.1016/j.resconrec.2013.12.012
- Robinson, B. H. (2009). E-waste: an assessment of global production and environmental impacts. *The Science of the Total Environment*, 408(2), 183–91. doi:10.1016/j.scitotenv.2009.09.044
- Rocchetti, L., & Beolchini, F. (2014). Environmental burdens in the management of end-of-life cathode ray tubes. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 34(2), 468–74. doi:10.1016/j.wasman.2013.10.031

- Roussat, N., Dujet, C., & Méhu, J. (2009). Choosing a sustainable demolition waste management strategy using multicriteria decision analysis. *Waste Management (New York, N. Y.)*, 29(1), 12–20. doi:10.1016/j.wasman.2008.04.010
- Rubin, R. S., Castro, M. A. S. de, Brandão, D., Schalch, V., & Ometto, A. R. (2014). Utilization of Life Cycle Assessment methodology to compare two strategies for recovery of copper from printed circuit board scrap. *Utilization of Life Cycle Assessment Methodology to Compare Two Strategies for Recovery of Copper from Printed Circuit Board Scrap*, 64, 297–305. doi:10.1016/j.jclepro.2013.07.051
- Rydh, C. J., & Karlström, M. (2002). Life cycle inventory of recycling portable nickel–cadmium batteries. *Resources, Conservation and Recycling*, 34(4), 289–309. doi:10.1016/S0921-3449(01)00114-8
- Salhofer, S., & Tesar, M. (2011). Assessment of removal of components containing hazardous substances from small WEEE in Austria. *Journal of Hazardous Materials*, 186(2-3), 1481–8. doi:10.1016/j.jhazmat.2010.12.030
- Santini, A., Morselli, L., Passarini, F., Vassura, I., Di Carlo, S., & Bonino, F. (2011). End-of-Life Vehicles management: Italian material and energy recovery efficiency. *Waste Management (New York, N. Y.)*, 31(3), 489–94. doi:10.1016/j.wasman.2010.09.015
- Sathre, R., & González-García, S. (2014). *Eco-Efficient Construction and Building Materials. Eco-Efficient Construction and Building Materials* (pp. 311–337). Elsevier. doi:10.1533/9780857097729.2.311
- Scharnhorst, W., Althaus, H.-J., Classen, M., Jolliet, O., & Hilty, L. M. (2005). The end of life treatment of second generation mobile phone networks: Strategies to reduce the environmental impact. *Environmental Impact Assessment Review*, 25(5), 540–566. doi:10.1016/j.eiar.2005.04.005
- Schlummer, M., Gruber, L., Mäurer, A., Wolz, G., & van Eldik, R. (2007). Characterisation of polymer fractions from waste electrical and electronic equipment (WEEE) and implications for waste management. *Chemosphere*, 67(9), 1866–1876. doi:10.1016/j.chemosphere.2006.05.077
- Schmidt J H. (2012). *Plastberegner.dk - LCA tool for plastics converters in Denmark - Documentation of the tool and database*. . Copenhagen. Retrieved from http://plastberegner.dk/LCA-report_20121008.pdf
- Simic, V. (2012). END-OF-LIFE VEHICLE RECYCLING - A REVIEW OF THE STATE-OF-THE-ART, 3651, 371–380.
- Simon, F.-G., Holm, O., & Berger, W. (2013). Resource recovery from urban stock, the example of cadmium and tellurium from thin film module recycling. *Waste Management (New York, N. Y.)*, 33(4), 942–7. doi:10.1016/j.wasman.2012.12.025
- Stasta, P., Boran, J., Bebar, L., Stehlik, P., & Oral, J. (2006). Thermal processing of sewage sludge. *Applied Thermal Engineering*, 26(13), 1420–1426. doi:10.1016/j.applthermaleng.2005.05.030
- Soon-Jik Hong (2012). Recovery of indium from used LCD panel by a time efficient and environmentally sound method assisted HEBM. *Waste Management*. 33 (3), 730-734. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X12004643>
- Suh, Y.-J., & Rousseaux, P. (2002). An **LCA** of alternative wastewater sludge treatment scenarios. *Resources, Conservation and Recycling*, 35(3), 191–200. doi:10.1016/S0921-3449(01)00120-3

- Sunde, K., Brekke, A., & Solberg, B. (2011). Environmental impacts and costs of woody Biomass-to-Liquid (BTL) production and use — A review. *Forest Policy and Economics*, 13(8), 591–602. doi:10.1016/j.forpol.2011.05.008
- Tange, L., & Drohmann, D. (2005). Waste electrical and electronic equipment plastics with brominated flame retardants – from legislation to separate treatment – thermal processes. *Polymer Degradation and Stability*, 88(1), 35–40. doi:10.1016/j.polymdegradstab.2004.03.025
- Thomas, V., & Spiro, T. (1995). An estimation of dioxin emissions in the US. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 50, 1–37.
- Tränkler, J. O. V., Walker, I., & Dohmann, M. (1996). Environmental impact of demolition waste — An overview on 10 years of research and experience. *Waste Management*, 16(1-3), 21–26. doi:10.1016/S0956-053X(96)00061-X
- Umberto Arena, Maria Laura Mastellone, & Floriana Perugini. (2003). Life Cycle assessment of a plastic packaging recycling system. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 8(2), 92–98. Retrieved from <http://link.springer.com/article/10.1007/BF02978432>
- UNEP. (n.d.). E- waste V olume II.
- Vadenbo, C. O., & Stamp, A. (2009). *Prospective Environmental Assessment of Lithium recovery in battery recycling*.
- Valderrama, C., Granados, R., Cortina, J. L., Gasol, C. M., Guillem, M., & Josa, A. (2013). Comparative **LCA** of sewage sludge valorisation as both fuel and raw material substitute in clinker production. *Journal of Cleaner Production*, 51, 205–213. doi:10.1016/j.jclepro.2013.01.026
- Valerio, F. (2010). Environmental impacts of post-consumer material managements: recycling, biological treatments, incineration. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 30(11), 2354–61. doi:10.1016/j.wasman.2010.05.014
- Van Wee, B., Moll, H. C., & Dirks, J. (2000). Environmental impact of scrapping old cars. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 5(2), 137–143. doi:10.1016/S1361-9209(99)00030-9
- Vellini, M., & Savioli, M. (2009). Energy and environmental analysis of glass container production and recycling. *Energy*, 34(12), 2137–2143. doi:10.1016/j.energy.2008.09.017
- Vermeulen, I., Van Caneghem, J., Block, C., Baeyens, J., & Vandecasteele, C. (2011). Automotive shredder residue (ASR): reviewing its production from end-of-life vehicles (ELVs) and its recycling, energy or chemicals' valorisation. *Journal of Hazardous Materials*, 190(1-3), 8–27. doi:10.1016/j.jhazmat.2011.02.088
- Vossberg, C., Mason-Jones, K., & Cohen, B. (2014). An energetic life cycle assessment of C&D waste and container glass recycling in Cape Town, South Africa. *Resources, Conservation and Recycling*, 88, 39–49. doi:10.1016/j.resconrec.2014.04.009
- Wäger, P. A., Hischier, R., & Eugster, M. (2011). Environmental impacts of the Swiss collection and recovery systems for Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE): a follow-up. *The Science of the Total Environment*, 409(10), 1746–56. doi:10.1016/j.scitotenv.2011.01.050
- Wang, Y. (2006). *Recycling in textiles*. Woodhead Publishing Limited. doi:10.1533/9781845691424

- Waste, M. S., & Wastes, S. (2004). Review of Environmental and Health Effects of Waste Management :, (May).
- Winds, F., & Consulting, S. (2012). Comparative Life Cycle Assessment of Aluminum and Steel Truck Wheels.
- Woolridge, A. C., Ward, G. D., Phillips, P. S., Collins, M., & Gandy, S. (2006). Life cycle assessment for reuse/recycling of donated waste textiles compared to use of virgin material: An UK energy saving perspective. *Resources, Conservation and Recycling*, 46(1), 94–103. doi:10.1016/j.resconrec.2005.06.006
- Xu, Q., Yu, M., Kendall, A., He, W., Li, G., & Schoenung, J. M. (2013). Environmental and economic evaluation of cathode ray tube (CRT) funnel glass waste management options in the United States. *Resources, Conservation and Recycling*, 78, 92–104. doi:10.1016/j.resconrec.2013.07.001
- Yang, W., Dong, Q., Liu, S., Xie, H., Liu, L., & Li, J. (2012). Recycling and Disposal Methods for Polyurethane Foam Wastes. *Procedia Environmental Sciences*, 16, 167–175. doi:10.1016/j.proenv.2012.10.023
- Yellishetty, M., Mudd, G. M., Ranjith, P. G., & Tharumarajah, A. (2011). Environmental life-cycle comparisons of steel production and recycling: sustainability issues, problems and prospects. *Environmental Science & Policy*, 14(6), 650–663. doi:10.1016/j.envsci.2011.04.008
- Yue, K. (2012). Comparative Analysis of Scrap Car Recycling Management Policies. *Procedia Environmental Sciences*, 16, 44–50. doi:10.1016/j.proenv.2012.10.007
- Zhang, J., Lv, F., & Zhang, L. (2012). Discussion on Environment Impact Assessment in the Lifecycle of PV Systems. *Energy Procedia*, 16, 234–239. doi:10.1016/j.egypro.2012.01.039
- Zhong, Z. W., Song, B., & Loh, P. E. (2011). **LCAs** of a polycrystalline photovoltaic module and a wind turbine. *Renewable Energy*, 36(8), 2227–2237. doi:10.1016/j.renene.2011.01.021

Annexe II. Sources intégrées dans la base

Ademe (2012). Déchets Chiffres clés - Edition 2012.

Adrien BETON, Debora DIAS, Laura FARRANT, Thomas GIBON, Yannick LE GUERN, Marie DESAXCE, ... es BOUFATEH. (2012). *Environmental Improvement Potential of Textiles (IMPRO-Textiles)*. Draft

Almansour Essam (2011). Thèse : Bilans énergétiques et environnementaux de filières biogaz : Approche par filière-type. *Université de Bordeaux I*.

Al-Salem, S. M., Evangelisti, S., & Lettieri, P. (2014). Life Cycle Assessment of alternative technologies for Municipal Solid Waste and Plastic Solid Waste management in the Greater London area. *Chemical Engineering Journal*, 244, 391–402. doi:10.1016/j.cej.2014.01.066

Angelika Mettke, & Sören Heyn. (2010). *Ökologische Prozessbetrachtungen - RC-Beton (Stofffluss, Energieaufwand, Emissionen)*. Cottbus. Retrieved from http://www.rc-beton.de/vortraege_pdfs/Stofffluss-Energieaufwand-RC-Beton101102.pdf

Arena, U., Mastellone, M. L., & Perugini, F. (2003). Life Cycle assessment of a plastic packaging recycling system. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 8(2), 92–98. doi:10.1007/BF02978432

Astrup, Thomas; Fruergaard, Thilde; Christensen, Thomas H (2002). Miljømæssige fordele og ulemper ved genvinding af plast (Environmental advantages and disadvantages of plastic recycling).

Bernie Thomas, Matt Fishwick, James Joyce, & Anton van Santen. (2012). *A Waste Footprint Assessment for UK Clothing*.

Beylot, A., & Villeneuve, J. (2013). Environmental impacts of residual municipal solid waste incineration: a comparison of 110 French incinerators using a life cycle approach. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 33(12), 2781–8. doi:10.1016/j.wasman.2013.07.003

Bigum, M., Brogaard, L., & Christensen, T. H. (2012). Metal recovery from high-grade WEEE: a life cycle assessment. *Journal of Hazardous Materials*, 207-208, 8–14. doi:10.1016/j.jhazmat.2011.10.001

CITEPA. (2013). ORGANISATION ET METHODES DES INVENTAIRES NATIONAUX DES EMISSIONS ATMOSPHERIQUES EN FRANCE, (February).

Craighill, Amelia; Powell, Jane (1996). Lifecycle assessment and economic evaluation of recycling: a case study . *Ressources, Conservation and Recycling*. Vol. 17. pp 75-96

Daniel, S. E., Pappis, C. P., & Voutsinas, T. G. (2003). Applying life cycle inventory to reverse supply chains: a case study of lead recovery from batteries. *Resources, Conservation and Recycling*, 37(4), 251–281. doi:10.1016/S0921-3449(02)00070-8

Doka G. (2009). Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services

Ehrenberger, S. (2013). *Life Cycle Assessment of Magnesium Components in Vehicle construction*.

« DONNEES DISPONIBLES POUR LA MODELISATION ACV DES FILIERES DE TRAITEMENT ET DE VALORISATION DES PRODUITS EN FIN DE VIE »

Elsa Olivetti, Jeremy Gregory, R. K. (2011). *Life cycle impacts of alkaline batteries with a focus on end-of-life*.

Esther Roldán, M^a Rosa Pino, Alba Bala, Pere Fullana (2013). COMPARATIVE LIFE CYCLE ASSESSMENT OF THE USE OF RECOVERED GLASS IN GLASS PACKAGING FOR FOOD. The 6th International Conference on Life Cycle Management in Gothenburg 2013 .

ETHOS Research (2012). Carbon footprints for recycled solvents. Study for the European Solvent Recycler Group (ESRG)

European Commission – DG ENV (2011). Comparative Life-Cycle Assessment of nickel-cadmium (NiCd) batteries used in Cordless Power Tools (CPTs) vs. their alternatives nickel-metal hydride (NiMH) and lithium-ion (Li-ion) batteries. Final Report

European Commission – Joint Research Centre. European Reference Life Cycle Database 2.0

Ferreira, S., Cabral, M., da Cruz, N. F., Simões, P., & Marques, R. C. (2014). Life cycle assessment of a packaging waste recycling system in Portugal. *Waste Management (New York, N.Y.)*. doi:10.1016/j.wasman.2014.05.007

FRANKLIN ASSOCIATES. (2010). *FINAL REPORT LIFE CYCLE INVENTORY OF 100% POSTCONSUMER HDPE AND PET RECYCLED RESIN FROM POSTCONSUMER CONTAINERS AND PACKAGING; PREPARED FOR THE PLASTICS DIVISION OF THE AMERICAN CHEMISTRY COUNCIL, INC., THE ASSOCIATION OF POSTCONSUMER PLASTIC RECYCLERS* (A. Kansas. Retrieved from http://www.napcor.com/pdf/FinalReport_LCI_Postconsumer_PETandHDPE.pdf

Funazaki, A. (2003). Automobile life cycle assessment issues at end-of-life and recycling. *JSAE Review*, 24(4), 381–386. doi:10.1016/S0389-4304(03)00081-X

Hirschier R. (2007). Life Cycle Inventories of Electric and Electronic Equipment – Production, Use & End-of-Life

Holcim. (2010). *Ökobilanzen rezyklierter Gesteinskörnung für Beton. Ein Forschungsbericht der Holcim (Schweiz) AG*. Retrieved from http://www.iip.kit.edu/downloads/Holcim_Forschungsbericht_dt_2011.pdf

Hong Ren (2012). Master Thesis: Plastic Waste Recycling and Greenhouse Gas Reduction. Aalborg University, Denmark

Irma T. Mercante, María D. Bovea, Valeria Ibáñez-Forés, & Alejandro P. Arena. (2011). Life cycle assessment of construction and demolition waste management systems: a Spanish case study. *Int J Life Cycle Assess*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/257680054_Life_cycle_assessment_of_construction_and_demolition_waste_management_systems_a_Spanish_case_study

Jeong, K. M., Hong, S. J., Lee, J. Y., & Hur, T. (2007). Life Cycle Assessment on End-of-Life Vehicle Treatment System in Korea, 13(4), 624–630.

Jong hyun Lim (2012). Master Thesis. Assessment of the Sludge Management Options in a Waste Water Treatment Plant. Massachusetts Institute of Technology.

Jungbluth N. (2007). Life Cycle Inventories of Bionenergy

Karen Fisher, Erika Wallén, Pieter Paul Laenen and Michael Collins (2006). Battery waste management Life cycle assessment. Final Report for publication http://www.epbaeurope.net/090607_2006_Oct.pdf

- Mancini, G., Tamma, R., & Viotti, P. (2010). Thermal process of fluff: preliminary tests on a full-scale treatment plant. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 30(8-9), 1670–82. doi:10.1016/j.wasman.2010.01.037
- Menikpura, S. N. M., Santo, A., & Hotta, Y. (2014). Assessing the Climate Co-benefits from Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) Recycling in Japan. *Journal of Cleaner Production*. doi:10.1016/j.jclepro.2014.03.040
- Mills, N., Pearce, P., Farrow, J., Thorpe, R. B., & Kirkby, N. F. (2014). Environmental & economic life cycle assessment of current & future sewage sludge to energy technologies. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 34(1), 185–95. doi:10.1016/j.wasman.2013.08.024
- Müller, A., Wambach, K., & Alsema, E. (2006). Life Cycle Analysis of Solar Module Recycling Process, 895, 1–6.
- Nzihou, A., Themelis, N. J., Kemiha, M., & Benhamou, Y. (2012). Dioxin emissions from municipal solid waste incinerators (MSWIs) in France. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 32(12), 2273–7. doi:10.1016/j.wasman.2012.06.016
- Oguchi, M., Sakanakura, H., Terazono, A., & Takigami, H. (2012). Fate of metals contained in waste electrical and electronic equipment in a municipal waste treatment process. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 32(1), 96–103. doi:10.1016/j.wasman.2011.09.012
- Oko-Institute. (2003). Recovery Options for Plastic Parts from End-of-Life Vehicles : an Eco-Efficiency Assessment Final Report.
- Perugini, F., Mastellone, M. L., & Arena, U. (2005). A life cycle assessment of mechanical and feedstock recycling options for management of plastic packaging wastes. *Environmental Progress*, 24(2), 137–154. doi:10.1002/ep.10078
- RDC-Environnement (2010). Analyse de Cycle de Vie (ACV) de l'incinération de déchets dangereux en four rotatif et développement d'un outil ACV
- Rigamonti, L., Grosso, M., Møller, J., Martinez Sanchez, V., Magnani, S., & Christensen, T. H. (2014). Environmental evaluation of plastic waste management scenarios. *Resources, Conservation and Recycling*, 85, 42–53. doi:10.1016/j.resconrec.2013.12.012
- Rubin, R. S., Castro, M. A. S. de, Brandão, D., Schalch, V., & Ometto, A. R. (2014). Utilization of Life Cycle Assessment methodology to compare two strategies for recovery of copper from printed circuit board scrap. *Utilization of Life Cycle Assessment Methodology to Compare Two Strategies for Recovery of Copper from Printed Circuit Board Scrap*, 64, 297–305. doi:10.1016/j.jclepro.2013.07.051
- Santini, A., Morselli, L., Passarini, F., Vassura, I., Di Carlo, S., & Bonino, F. (2011). End-of-Life Vehicles management: Italian material and energy recovery efficiency. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 31(3), 489–94. doi:10.1016/j.wasman.2010.09.015
- Scharnhorst, W., Althaus, H.-J., Classen, M., Jolliet, O., & Hilty, L. M. (2005). The end of life treatment of second generation mobile phone networks: Strategies to reduce the environmental impact. *Environmental Impact Assessment Review*, 25(5), 540–566. doi:10.1016/j.eiar.2005.04.00
- Schmidt J H. (2012). *Plastberegner.dk - LCA tool for plastics converters in Denmark - Documentation of the tool and database*. . Copenhagen. Retrieved from http://plastberegner.dk/LCA-report_20121008.pdf

- Simone Ehrenberger (2013). Life Cycle Assessment of Magnesium Components in Vehicle Construction. German Aerospace Centre e.V.
http://www.intlmag.org/pdfs/reports/111913_LCA_report_public.pdf
- Soon-Jik Hong (2012). Recovery of indium from used LCD panel by a time efficient and environmentally sound method assisted HEBM. *Waste Management*, 33 (3), 730-734.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X12004643>
- Suh, Y.-J., & Rousseaux, P. (2002). An **LCA** of alternative wastewater sludge treatment scenarios. *Resources, Conservation and Recycling*, 35(3), 191–200. doi:10.1016/S0921-3449(01)00120-3
- Thomas, V., & Spiro, T. (1995). An estimation of dioxin emissions in the US. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 50, 1–37.
- Umberto Arena, Maria Laura Mastellone, & Floriana Perugini. (2003). Life Cycle assessment of a plastic packaging recycling system. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 8(2), 92–98. Retrieved from <http://link.springer.com/article/10.1007/BF02978432>
- Valerio, F. (2010). Environmental impacts of post-consumer material managements: recycling, biological treatments, incineration. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 30(11), 2354–61. doi:10.1016/j.wasman.2010.05.014
- Vossberg, C., Mason-Jones, K., & Cohen, B. (2014). An energetic life cycle assessment of C&D waste and container glass recycling in Cape Town, South Africa. *Resources, Conservation and Recycling*, 88, 39–49. doi:10.1016/j.resconrec.2014.04.009
- Woolridge, A. C., Ward, G. D., Phillips, P. S., Collins, M., & Gandy, S. (2006). Life cycle assessment for reuse/recycling of donated waste textiles compared to use of virgin material: An UK energy saving perspective. *Resources, Conservation and Recycling*, 46(1), 94–103. doi:10.1016/j.resconrec.2005.06.006
- Yellishetty, M., Mudd, G. M., Ranjith, P. G., & Tharumarajah, A. (2011). Environmental life-cycle comparisons of steel production and recycling: sustainability issues, problems and prospects. *Environmental Science & Policy*, 14(6), 650–663. doi:10.1016/j.envsci.2011.04.008

Annexe III. Description des principaux outils d'ACV Déchets

Cette partie regroupe une sélection de logiciels ACV Déchets pertinents, encore utilisables.

EASETECH (Environmental Assessment System for Environmental Technologies)

Le logiciel EASETECH (anciennement EASEWASTE) a été conçu et développé par les chercheurs du DTU (Technical University of Denmark). Il est dédié totalement à l'analyse des modes de traitement des déchets. De l'avis des développeurs, il s'agit d'un logiciel convivial, bien documenté et proposant un système de modélisation très flexible.

Le niveau de paramétrisation est très élevé et permet à l'utilisateur d'ajuster la modélisation selon ses spécificités (de la définition de la composition du déchet par fraction ou par composition chimique, à la modélisation des procédés de traitement de déchets). Il prend en charge toutes les étapes du cycle de vie des déchets ; La liste des procédés contient l'ensemble des technologies actuellement utilisées dans le secteur du traitement des déchets ménagers.

Plus d'informations : www.easetech.dk

WISARD (Waste Integrated Systems Assessment for Recovery and Disposal)

Ce logiciel a été développé par la société EcoBilan en 1999, en collaboration avec Eco-Emballages, l'ADEME et l'Agence de Protection de l'Environnement anglaise. Les dernières versions permettent de mesurer les impacts environnementaux d'un scénario dans son entier (collecte, transport, traitement, valorisation, etc.). Cet outil a été utilisé par les autorités locales en Angleterre, l'agence environnementale écossaise, en France et en Nouvelle Zélande. WISARD est construit selon le modèle du logiciel TEAM.

Plus d'informations : http://www.ecobalance.com/uk_wisard.php

WRATE (Waste and Resources Assessment Tool for the Environment)

Cet outil a été développé par les Agence de Protection de l'Environnement anglaise et écossaise et le département environnement de l'Irlande du Nord pour étudier les impacts d'un scénario de gestion des déchets sur l'environnement. L'objectif était de proposer un outil pour des utilisateurs non experts en ACV pour modéliser leur scénario de gestion de déchets avec des données propres ou avec des données issues de la base de données. Le logiciel supporte un haut degré de flexibilité et nécessite une période de formation. Deux sessions d'entraînement sont proposées, une pour la version Standard et une autre pour la version Expert. Une version d'essai permet d'accéder aux inventaires de cycle de vie sans que les résultats ne soient accessibles.

Plus d'informations : www.wrate.co.uk.

ORWARE (Organic Waste Research)

L'outil ORWARE en développement depuis 1993 a été créé par plusieurs instituts de recherche et universités suédoises, dont KTH. Initialement, l'outil se focalisait sur l'analyse de scénarios de gestion des déchets organiques. Il est devenu de plus en plus complexe en s'enrichissant de nouvelles données (procédés de traitement des déchets, et fractions de déchets). Toute modification (même celle d'un procédé) s'effectue via Matlab, le logiciel sur lequel repose ORWARE.

Aucune version commerciale ne peut être obtenue, ORWARE étant un outil utilisé principalement pour des sujets de recherches suédois.

Plus d'informations : http://www.ima.kth.se/im/orware/Documents/paper2_ola_lic3.pdf

Etude SCORE LCA n° 2013-003 – Rapport Final

Quantis- 2014

MSW-DST or ISWM-DST (Municipal Solid Waste Decision Support Tool)

Cet outil a été développé par l'US-EPA, l'Université de l'état de la Caroline du Nord, l'institut de recherche Triangle et l'université du Wisconsin. Il a été développé pour étudier et évaluer les impacts de scénarios de gestion des déchets, et pour proposer des alternatives sur un plan environnemental (monocritère carbone) et économique. MSW-DST est conçu spécifiquement dans un contexte Nord Américain. Le modèle est très complexe et fournit à l'utilisateur un large choix de données relatives à la collecte des déchets et aux centres de transfert.

Plus d'informations : <https://mswdst.rti.org/>