



HAL
open science

DE LA GESTION DES INCERTITUDES EN ANALYSE DE CYCLE DE VIE

Yann Leroy, Sébastien Lasvaux

► **To cite this version:**

Yann Leroy, Sébastien Lasvaux. DE LA GESTION DES INCERTITUDES EN ANALYSE DE CYCLE DE VIE. Marché et Organisations, 2013. hal-01790895

HAL Id: hal-01790895

<https://hal.science/hal-01790895>

Submitted on 14 May 2018

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

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

DE LA GESTION DES INCERTITUDES EN ANALYSE DE CYCLE DE VIE

Yann LEROY

Laboratoire Genie Industriel, Ecole Centrale Paris

Yann.leroy@ecp.fr

Sébastien LASVAUX

Division Environnement, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment,

Université Paris-Est

Sebastien.lasvaux@ CSTB.fr

Introduction

L'Analyse de Cycle de Vie (ACV) est une approche reconnue d'évaluation de la performance environnementale des systèmes sur l'ensemble de leurs cycles de vie, qu'il s'agisse d'un produit, d'un service ou d'un procédé. Cependant et bien que fortement préconisée par les normes qui régissent l'ACV, la prise en compte des incertitudes est encore marginale. Différentes approches ont été proposées. Aucune n'est universelle et la nature de l'incertitude dimensionne le type d'approche à implémenter. Certaines classifications des incertitudes ont également été publiées. Pour autant leur localisation dans le processus de réalisation d'une ACV et leur influence potentielle ont été peu investiguées. Après une revue de littérature sur la prise en compte de l'incertitude en ACV, les méthodes de mesure et de gestion utilisées et les classifications des incertitudes, nous proposons une nouvelle classification combinant type et source d'incertitude. Nous proposons également une caractérisation systémique du processus de réalisation d'une ACV. La superposition de ces deux résultats nous permet de retracer fidèlement les flux soumis à ces incertitudes. Ces diagrammes de flux sont enfin discutés et donnent lieu à l'identification de certaines nouvelles pistes de recherche.

1. L'Analyse de Cycle de Vie

1.1. L'ACV : un outil de d'évaluation environnementale

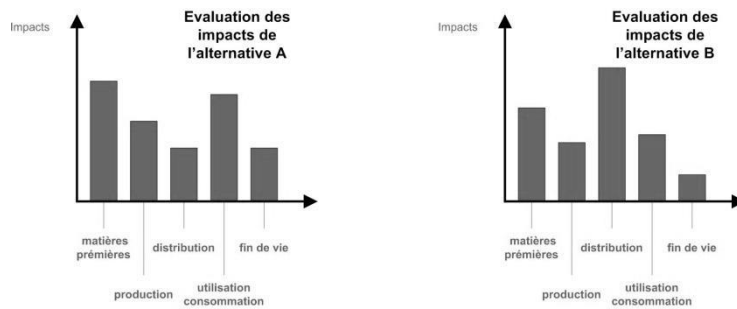
L'ACV est un outil d'évaluation de la performance environnementale des produits, procédés et services sur l'ensemble de leurs cycles de vie, typiquement depuis l'extraction des matières premières jusqu'à la gestion de la fin de vie en passant par les étapes de transformation, de production, de distribution et d'utilisation ou de consommation.

« L'ACV est définie comme étant « une compilation des intrants, des extrants et des impacts environnementaux potentiels d'un système de produits au cours de son cycle de vie » (ISO, 2006a).

Elle trouve aujourd'hui de nombreuses applications dans divers secteurs qu'ils soient privés ou publics. Notons par exemple, la réalisation de diagnostics des performances environnementales des systèmes, l'alimentation de processus d'éco-conception, l'alimentation de processus d'éco-labellisation ou encore le dimensionnement d'instruments législatifs ou d'orientation de politiques publiques (Leroy, 2009, Grisel et Osset, 2004).

L'ACV permet de définir la phase de cycle de vie, le ou les procédé(s), matériaux, usages, flux physiques ou énergétiques les plus contributeurs aux impacts environnementaux caractéristiques du système étudié. Notons que d'ordinaire, l'ACV est réalisée à des fins de comparaison inter-systèmes, l'enjeu étant de déterminer la solution la plus performante. La figure 1 fournit un exemple de profils environnementaux permettant l'évaluation de deux solutions concurrentes.

Figure 1 : Exemple de comparaison des éco-profiles de deux alternatives concurrentes A et B



Source : Leroy, 2009.

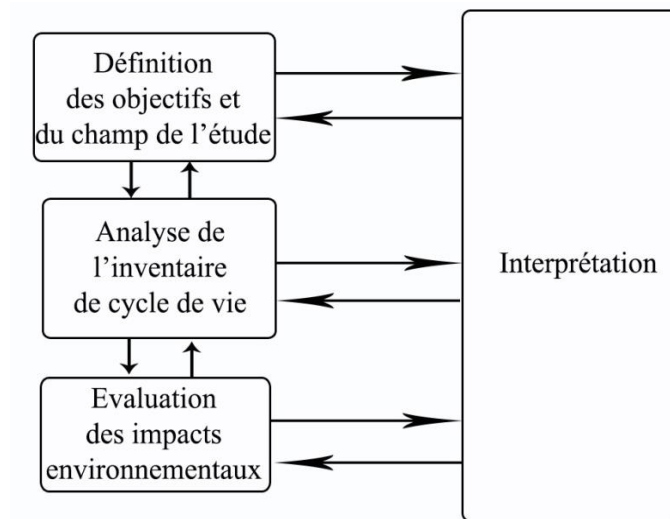
1.2. Les grandes étapes de réalisation d'une ACV

L'ACV telle que décrite dans les documents normatifs (ISO 2006a, ISO 2006b) est réalisée en suivant les quatre grandes étapes reportées dans la figure 2. Deux étapes complémentaires sont parfois citées comme faisant partie intégrante de l'approche :

- la traduction des résultats en **termes** de préconisations d'éco-conception en vue d'améliorer la performance environnementale du système à l'étude,
- une phase de communication.

Cependant dans le premier cas, cette étape n'est valide que si l'ACV est conduite dans ce contexte. Dans le second cas, la communication externe n'est pas une exigence spécifique notamment dans le cadre d'une exploitation en interne.

Figure 2 : Les grandes étapes de réalisation d'une ACV (ISO 2006a)



Source : ISO 14040.

1.2.1. Définition des objectifs et champs d'étude

Cette première phase est primordiale dans le sens où l'ensemble des grandes orientations de l'étude y sont définies. Ces choix portent notamment sur l'objet de l'étude, le périmètre de l'étude, les objectifs de réalisation, l'unité fonctionnelle satisfaite par le système, les catégories d'impact environnementaux qui seront supervisées, l'audience et la portée des résultats finaux.

L'ensemble de ces éléments conditionnent fortement les modèles sous-jacents, les données de collecte alimentant l'Inventaire de Cycle de Vie (ICV) et par conséquent la teneur des profils environnementaux. L'ACV étant très sensible à ces choix de modélisation, il conviendra de définir ces éléments avec justesse et précaution.

1.2.2. Réalisation de l'Inventaire de Cycle de Vie

L'ICV débute en général par la construction d'un diagramme de flux répertoriant l'ensemble des entrants et sortants nécessaires à la réalisation de l'unité fonctionnelle du système. Ceux-ci sont caractérisés par leur nature. Sur la base de ce modèle, une stratégie puis une campagne de collecte sont alors entreprises. Une fois collectés puis validés, les entrants et sortants sont normalisés par rapport à un flux dit de référence correspondant à l'unité de service rendu par le système. L'ICV se définit donc comme une compilation des entrants et sortants du système étudié.

Cette étape demeure à ce jour la phase la plus coûteuse en **termes** de mise en œuvre. Ceci s'explique notamment par la faible disponibilité des données d'inventaire. Pour pallier cette carence,

différentes bases de données commerciales ou gratuites sont accessibles. Cependant les informations y sont souvent génériques ce qui questionne sur le niveau de représentativité de l'ICV. Cette étape est finalisée par une phase d'interprétation durant laquelle l'inventaire est validé notamment à l'aide de bilans énergie-matière, de mesures de complétude et d'analyse de qualité. Si toutefois celui-ci ne satisfait pas aux exigences, une nouvelle campagne de collecte peut être envisagée pour combler les carences informationnelles.

1.2.3. Evaluation environnementale

Une fois l'ICV constitué et validé, les émissions et les consommations sont traduites **en termes** d'impacts environnementaux. Cette étape est réalisée à l'aide d'une méthode de caractérisation appelée également éco-indicateur. Le praticien a d'ailleurs le choix d'utiliser une ou plusieurs méthodes comptant parfois jusqu'à une vingtaine de catégories d'impacts environnementaux. Deux étapes se succèdent alors. La classification (1) consiste à classer les flux par catégories d'impacts auxquels ils contribuent. La caractérisation (2) convertit chaque flux en impact environnemental exprimé par unité représentative de la catégorie d'impact, et ce, à l'aide de facteurs d'équivalence (FE).

La figure suivante décrit la procédure d'évaluation faisant intervenir ces deux phases successives. L'ICV identifie dans cet exemple trois émissions aériennes, respectivement de dioxyde de carbone (CO₂), de méthane (CH₄) et de dioxyde d'azote (NO₂). Lors de la phase de classification, le CO₂ et le CH₄ sont identifiés comme étant contributeurs au potentiel de réchauffement climatique (*Global Warming Potential*) alors que le NO₂ est identifié comme contributeur à la catégorie acidification. Une fois converti dans l'unité représentative de la catégorie d'impact considérée, un kg de CH₄ correspondant à l'émission de 23kg de CO₂ équivalent (FE=23) et le CO₂ étant l'unité de référence pour le potentiel de réchauffement climatique, ces émissions sont sommées afin de rendre compte de l'impact environnemental global. Dans notre exemple, le potentiel de réchauffement climatique sera donc de 2300g + 140 g de CO₂ eq émis dans l'atmosphère. Cette procédure est réitérée pour l'ensemble des catégories d'impacts supervisées.

Figure 3 : Exemple de traduction des flux physiques et énergétiques en **termes** d'impacts environnementaux



Source : Auteur.

Deux étapes facultatives peuvent également être implémentées : la pondération et la normalisation. Toutes deux, par l'introduction de facteurs de pondération, permettent d'agréger les résultats de différentes catégories d'impacts en un score unique. Ces deux étapes visent essentiellement à simplifier la représentation des résultats en limitant le nombre d'indicateurs à superviser et à les rendre commensurables pour l'analyste (normalisation).

1.2.4. Interprétation

La phase d'interprétation est présente tout au long du processus de réalisation d'une ACV. Elle a pour objectif de garantir la cohérence de l'analyse au regard des objectifs préalablement définis ; le périmètre d'étude permet-il d'apporter la réponse souhaitée ? L'unité fonctionnelle définie permet-elle de garantir la comparabilité entre les systèmes concurrents ? Le modèle et les données d'ICV sont-ils suffisamment représentatifs du système pour assurer la robustesse des résultats ?

Outre le fait de garantir le bon déroulement de l'étude, l'interprétation alimente les conclusions finales. Elle requiert en effet l'identification des phases de cycle de vie, procédés ou flux physiques significativement responsables de l'impact environnemental du système. Les analyses de sensibilité et d'incertitude sont souvent réalisées lors de cette étape afin de consolider les conclusions finales.

1.3. Limites de l'approche

Malgré sa très large utilisation et les développements dont elle a bénéficié, l'ACV présente toute de même certaines limites fragilisant les décisions qu'elle alimente. Ces dernières ont notamment été recensées par Reap et al (2008a et 2008b) et sont rappelées dans le tableau 1. Notons que les problématiques identifiées se focalisent essentiellement sur la phase d'orientation fortement tributaire de choix subjectifs.

Tableau 1 : Problématiques identifiées par grande étape de réalisation d'une ACV

Phase ACV	Problème
Phase d'orientation	<ul style="list-style-type: none"> • Définition de l'unité fonctionnelle • Définition des limites du système • Appréhension des aspects sociaux et économiques • Considération des scénarios
Inventaire de cycle de vie	<ul style="list-style-type: none"> • Allocations • Définition des contributions négligeables
Evaluation environnementale	<ul style="list-style-type: none"> • Sélection de l'éco-indicateur et des catégories d'impacts à évaluer • Prise en compte de la <i>variabilité</i> spatiale • Prise en compte de la dynamique de l'environnement • Prise en compte du facteur temporel
Interprétation	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluation et pondération • <i>Incertitude</i>
Toute	<ul style="list-style-type: none"> • La disponibilité de l'information et <i>sa qualité</i>

Source : Reap et al., 2008.

Outre ces limites, l'ACV est toujours décriée pour la difficulté d'obtention des données d'ICV, le niveau d'expertise nécessaire ou encore le temps et le coût de mise en œuvre. L'intégration de l'incertitude quant à elle, souffre essentiellement d'un manque de consensus quant aux approches à employer. Nombre d'entre elles requièrent l'acquisition de données additionnelles ce qui tend à alourdir les campagnes de collecte et le temps de réalisation. Toutefois l'absence d'intégration de cette dimension peut s'avérer dommageable notamment par l'établissement de conclusions erronées (Leroy et Froelich, 2010, Notten et Petri, 2003).

2. L'incertitude en ACV

2.1. Définitions

L'intégration d'incertitude en ACV n'est pas systématique comme nous le détaillons dans les sections suivantes. Ciroth (2004) explique en partie ce fait par l'absence de consensus sur la définition du terme « incertitude ». Régulièrement variabilité et incertitude ne sont pas dissociées, et d'autres éléments tels que la qualité s'insinuent dans les définitions respectives. Dans un souci de clarté, nous appuyons nos définitions sur les travaux de Vose (2008). Nous distinguons l'incertitude et la variabilité et considérons :

- l'incertitude comme une représentation du degré de méconnaissance, celui-ci pouvant évoluer par l'acquisition de connaissance,
- la variabilité comme intrinsèque au système et ne pouvant être réduite que par la modification physique du système.

2.2. Méthodes et outils de mesure et de propagation de l'incertitude

Différentes méthodologies ou approches ont été développées ces trente dernières années pour mesurer et gérer l'incertitude en ACV. Trois catégories d'approches sont généralement utilisées :

- les méthodologies couplant certaines méthodes et outils pour gérer les incertitudes, parmi lesquelles nous comptons les modélisations non linéaires, les modélisations multi-média (Björklund, 2002), l'utilisation de modèles simplifiés (Wegener et al., 1996, Huijbregts, 2001, Potting et al., 1997)
- les approches quantitatives visant à chiffrer l'incertitude telles que les méthodes analytiques de propagation (Heijungs, 1996), l'analyse et propagation d'intervalles (Huijbregts, 2001, Kota et Chakrabarti, 2010), les simulations de Monte Carlo (Sonnemann et al., 2003), ou encore la théorie des ensembles flous (Weckenmann et Schwan, 2001, Benetto et al., 2005, Tan et al., 2007)
- les autres approches quantitatives, qualitatives ou hybrides : l'analyse statistique Bayésienne (Huijbregts, 2001, Björklund, 2002, Benetto et al., 2005), l'analyse de sensibilité (Björklund, 2002), l'analyse de scénarios (Björklund, 2002), la matrice de pedigree (Weidema et Waenaes, 1996, Leroy, 2009).

Cependant aucune de ces approches ou méthodes n'est universelle et chaque type d'incertitude à superviser nécessite l'implémentation d'une méthodologie qui lui est propre (Huijbregts, 2001). D'autre part, les objectifs de l'étude conditionnent en grande partie le niveau d'incertitude

acceptable dans le cadre d'un processus de décision (Leroy et Froelich, 2010). Il est donc très important de définir si oui ou non une analyse d'incertitude doit être réalisée et si oui quelle est la stratégie à mettre en œuvre. Que supervise-t-on ? Par quels moyens ? A quels coûts ?

2.3. Etat de la prise en compte de l'incertitude

Pour l'heure et malgré le fait que la prise en compte de l'incertitude soit fortement préconisée par les différents documents normatifs tels que l'ISO 14040 et 14044 (ISO 2006a ; ISO, 2006b) et guides de réalisation (ILCD 2010a, ILCD 2010b, Tillman et Baumann, 1995), celle-ci demeure épisodique et très hétérogène (Leroy et Froelich, 2010, Leroy, 2009).

Ross et al. (2002) confirment d'ailleurs cette tendance. Sur une revue de trente ACV, la moitié d'entre elles mentionne le terme d'incertitude mais seulement trois font état de l'implémentation d'une approche de management de ces incertitudes. Plus récemment, Ye (2010) a réalisé une revue similaire portant sur 25 ACV publiées dans le secteur de la construction. Les résultats renforcent à nouveau cet état de fait. En effet, le terme incertitude n'apparaît que dans 48% des cas. Seulement 16% de ces études font état de l'utilisation d'une approche qualitative ou quantitative.

La mise en pratique est donc loin d'être systématique. Ciroth (2003) propose d'ailleurs un nouvel éclairage sur les raisons qui poussent à cette non intégration (tableau 2). Le manque de consensus sur les méthodes à mettre en œuvre et l'effort de collecte additionnel ressortent comme des freins majeurs

Tableau 2 : Les raisons pour et contre l'intégration de l'incertitude en ACV

Pour	Contre
Nécessité d'un support de décision	Analyse multicritère – source de confusion
Besoin de transparence	Effort additionnel
Amélioration de la qualité	Manque de méthode
	Source d'erreurs additionnelles

Source : Ciroth, 2003.

2.4. Classification et localisation de l'incertitude

Bien que nombre d'approches aient été développées, s'attachant à quantifier l'incertitude ou à mesurer le degré de représentativité des modèles et données, peu de travaux font référence à l'identification des sources d'incertitude et à leur influence dans le processus de réalisation d'une

ACV. Différentes classifications ont été proposées. Citons notamment Funtowicz et Ravetz (1990) qui relie l'incertitude aux données d'entrée, aux modèles et à la complétude de l'ICV. Heijungs et Huijbregts (2004) limitent, quant à eux, cette analyse à la simple accessibilité aux données d'ICV. Huijbregts (2001) puis Björklund (2002) enfin, proposent une classification plus précise intégrant incertitude et variabilité tout en positionnant leurs sources dans le processus de réalisation d'une ACV (tableau 3).

Tableau 3 : Localisation des différents types d'incertitudes dans le processus de réalisation d'une ACV

Type d'incertitude	Orientation	Inventaire	Evaluation	Caractérisation
Inexactitude		Mesure ou valeur inexacte		Inc. Liée à la réelle contribution de la substance ou du matériaux
Carence		Manque de données		Absence d'info./ impact
Représentativité		Manque de représentativité		
Choix	Définition de l'étude	Choix des allocations, niveau d'analyse, type d'info à collecter...	Troncature, choix des cat. impacts	Choix de la méthode d'évaluation
Var. spatiale		Variation spatiale des conso. et émissions		Var. sensibilité du milieu
Var. temporelle		Variation temporelle des conso., émissions, production...		Var. sensibilité et caractéristique du milieu
Var. objet vs. Source		Variation de comportement d'un système à un autre		
Inc. épistémologique	Méconnaissance du système	Méconnaissance des sous systèmes modélisés	Méconnaissance des catégories d'impacts et des indicateurs	Méconnaissance des facteurs de caractérisation

Source : Leroy, 2009

Certes, les grandes étapes de l'ACV sont identifiées comme étant plus ou moins sensible à ces incertitudes, cependant les travaux cités ne fournissent qu'une information sommaire sur les réelles sources d'incertitudes.

Où sont-elles localisées ? Quels leviers actionner pour les réduire ou à défaut les manager ? Il est donc nécessaire de retracer les réelles sources d'incertitudes avant d'envisager les mesurer, les réduire et les intégrer aux conclusions d'ACV.

3. Identification et localisation des sources d'incertitudes en ACV

3.1. Caractérisation du processus de réalisation d'une ACV

Comme nous l'avons évoqué précédemment, une des causes majeures de non prise en compte des incertitudes en ACV est l'absence de consensus quant aux approches à utiliser. Il n'existe pas de méthode universelle et le type d'incertitude impose la stratégie de mesure et de management.

D'autre part, la portée des études ACV peut varier compte tenu du contexte d'exploitation. La profondeur d'analyse et la complexité du modèle influencent significativement la nature et la quantité de données nécessaires.

En conséquence, quelles approches doit-on utiliser compte tenu des objectifs de l'étude et de la nature des sources d'incertitudes que l'on veut superviser ?

Pour répondre à cette question nous proposons, dans cette section, une classification des types et sources d'incertitude, une analyse systémique du processus de réalisation d'une ACV afin de les localiser et de suivre leur propagation au cours de la démarche. Ces résultats exploratoires nous permettent d'entrevoir de nouvelles pistes de recherche visant à mieux appréhender l'incertitude en ACV.

3.2. Proposition de classification des incertitudes

Nous proposons, dans ces travaux, de classer les sources d'incertitudes en combinant des travaux antérieurs. Ceux-ci reposent sur la classification de Huijbregts (2001) et les apports de Sonnemann (2003) (tableau 4). Notons que nous dissociions ce qui tient de l'incertitude de ce qui est de l'ordre de la variabilité.

Nous distinguons dans un premier temps le type d'incertitude et dans un second temps la nature de la source de l'incertitude. Nous supportons le fait que différent type d'incertitude peuvent provenir de sources similaires.

Tableau 4 : Proposition de classification des incertitudes rencontrées en ACV combinant le type et la nature de la source d'incertitude

Type d'incertitude et variabilité	Source d'incertitude
Incertitude de paramètre	Incertitude épistémique
Incertitude de modèle	Incertitude méthodologique
Incertitude due au choix	Incertitude technique
Variabilité spatiale	
Variabilité temporelle	
Variabilité source/objet	

Source : Auteur.

Les types d'incertitudes recouvrent à la fois les incertitudes de paramètres liées à la validité des grandeurs utilisées et donc aux données d'ICV, les incertitudes de modèles les incertitudes de choix, étroitement corrélées à l'expérience, à la connaissance et aux habitudes de l'analyste, et les différents type de variabilité permettant d'estimer la représentativité des données d'ICV.

Les sources d'incertitude, quant à elles, regroupent l'incertitude épistémique, l'incertitude liée à l'implémentation d'outils méthodologiques et enfin l'incertitude dite technique relevant des appareils de mesure (métrologie).

Cette classification est utilisée par la suite pour alimenter la cartographie des incertitudes en ACV.

3.3. Analyse systémique du processus de réalisation d'une ACV

3.3.1. Méthodologie

Nous avons dans un premier temps, réalisé une cartographie du processus de réalisation d'ACV à l'aide d'une analyse systémique. Ce modèle est basé sur l'analyse des normes de la série ISO 1404X régissant la méthodologie (ISO, 2006b) et sur divers ouvrages de référence tel que le ILCD Handbook édité par le *Joint Research Center* de la Commission Européenne (ILCD, 2010). Une fois générés, les résultats ont été soumis à un groupe de 4 experts ACV afin de valider la cohérence et la pertinence du modèle.

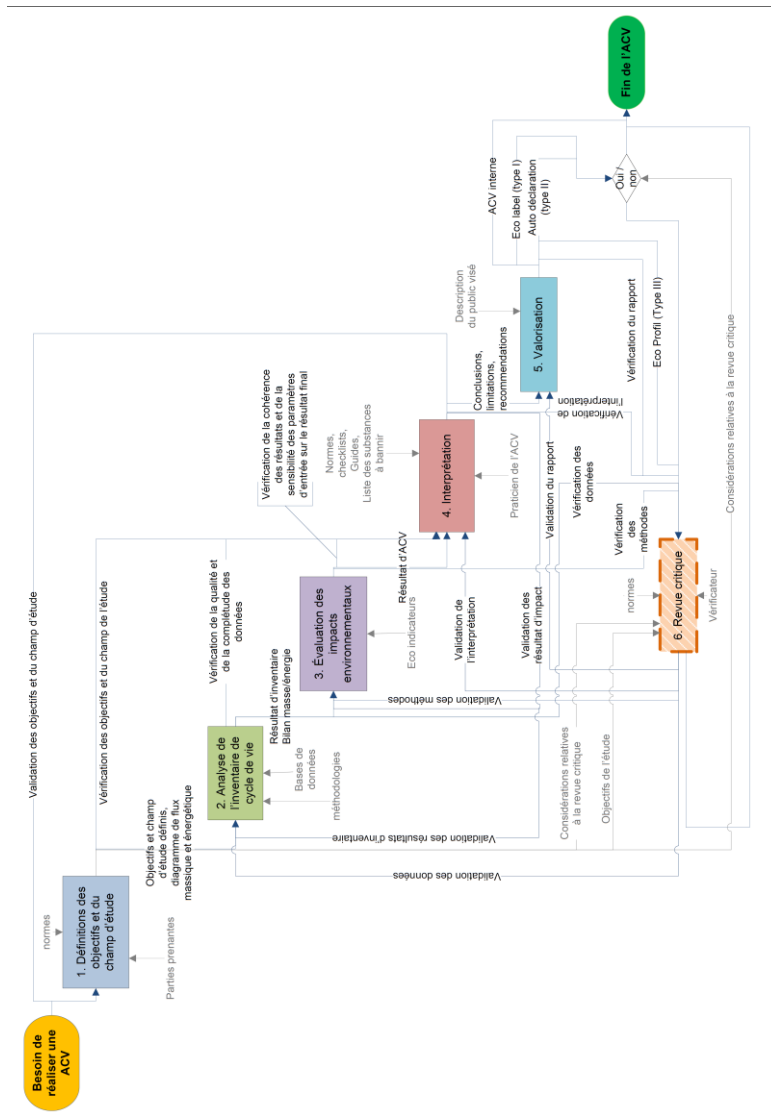
Pour ce faire nous avons analysé chacune des étapes de réalisation d'une ACV, phase par phase, et identifié les flux transformés par ces processus, les résultats produits, les outils ou méthodes nécessaires à leur réalisation ainsi que leurs moyens de contrôle et enfin les parties prenantes. Une première description du processus est présentée en figure 4. Nous y retrouvons les quatre étapes de l'ACV ainsi qu'une phase de valorisation des résultats.

Dans un second temps, à la lumière de notre modèle initial, nous avons catégorisés chacun des flux identifiés selon le type d'incertitude et la nature de la source d'incertitude auxquels ils sont susceptibles d'être soumis. Cette seconde cartographie est représentée en figure 5.

3.3.2. Représentation

Dans un souci de clarté nous avons utilisé le formalisme SADT, *Structured Analysis and Design Technique*, afin de représenter le processus de réalisation d'une ACV. Il s'agit d'outil de communication représentant la répartition du travail en équipe, l'expression des besoins et les niveaux de hiérarchie. Le système est décomposé en diagrammes dans lesquels chaque boîte représente une étape. Les boîtes sont enchaînées de façon à indiquer la séquence des étapes. Celui-ci considère en outre les flux d'entrée qui sont transformés par le processus, les flux de sortie ainsi que l'ensemble des données de contrôle et les ressources nécessaires.

Figure 4 : Représentation systémique du processus de réalisation d'une ACV



Source : Auteur.

Figure 5 : Caractérisation des types et sources d'incertitudes véhiculées durant la réalisation d'une ACV

4. Discussion

La superposition de deux cartographies nous permet :

- de déterminer les phases les plus soumises à l'incertitude,
- de localiser de façon précise les différents types et sources d'incertitude dans le processus de réalisation,
- d'observer de façon qualitative la nature de la propagation de ces incertitudes au long du processus.

Ainsi la figure 5 montre distinctement que la phase d'orientation de l'étude est largement soumise à des incertitudes liées à des choix de modélisation et dont la nature est souvent épistémique. Dans ce contexte, l'expérience du praticien, sa connaissance du système et du secteur industriel mais également du contexte général actuel et à venir peuvent fortement contribuer à réduire le degré de méconnaissance et donc d'incertitude.

La deuxième étape relative à la réalisation et à l'interprétation de l'ICV reçoit en entrée des incertitudes de type choix et les transforme en incertitudes de paramètres ou de modèles. Ceci s'explique notamment par le fait que les choix d'orientation une fois cristallisés, donnent lieu à l'établissement d'un modèle ACV dont les paramètres sont définis. Ces derniers sont ensuite alimentés par des données spécifiques ou génériques, elles-mêmes sources d'incertitudes. A ce stade, l'incertitude véhiculée par le savoir-faire du praticien est limitée, la source majeure d'incertitude reposant sur la complétude de l'ICV et les attributs des données collectées.

L'étape d'évaluation environnementale quant à elle fait intervenir une part d'incertain peu maîtrisable par le praticien. Comme nous l'avons mentionné dans la section A, cette étape est tributaire d'un algorithme de traduction des flux physiques et énergétiques en impacts environnementaux. Cet éco-indicateur recèle également des incertitudes paramétriques ou de modèles. La seule influence de l'analyste lors de cette étape est le choix de la méthode à employer. Enfin l'étape d'interprétation est une des phases les plus sensibles à l'incertitude. Nous y retrouvons les types et sources mentionnées aux étapes précédentes. Durant cette phase, l'analyste se doit de valider les grandes étapes de réalisation au fil de l'eau en intégrant de façon plus ou moins formalisée les incertitudes correspondantes. De nouveaux choix (méthode de validation, analyse d'incertitude, analyse de qualité de l'ICV...) s'opèrent à ce stade au même titre que les interprétations et la rédaction des conclusions finales.

Certes toutes les phases de l'ACV sont soumises à incertitude. Cependant les cartographies que nous dressons mettent l'accent sur le fait que ces mêmes phases ne véhiculent pas les mêmes

incertitudes. Les stratégies de mesure et de réduction doivent donc être dimensionnées en conséquence.

Enfin, outre les incertitudes liées aux paramètres et donc aux données d'entrée, l'ACV est fortement influencée par les incertitudes de choix dont l'analyste est responsable. Ce constat questionne sur l'influence des attributs de celui-ci sur les résultats finaux. Comment l'expérience, la connaissance du contexte d'étude ou encore les habitudes de modélisation peuvent influencer la validité des conclusions de l'étude ?

5. Conclusions et perspectives

L'incertitude est encore peu prise en compte lors de la réalisation d'une ACV. Ceci s'explique notamment par l'absence de consensus sur les méthodes à employer. Différentes approches ont été proposées ces trente dernières années, cependant aucune n'est universelle et chaque type d'incertitude doit être traité avec une méthode adaptée. Les types et sources d'incertitudes en ACV ont déjà été investiguées notamment sous l'angle des classifications. Or peu de travaux traitent de leur localisation dans le processus de réalisation d'une ACV.

De par l'étude bibliographique que nous avons réalisée, nous avons proposé une nouvelle classification combinant les types et sources d'incertitudes. Cette classification couplée à une analyse systémique du processus de réalisation d'une ACV, nous a permis de caractériser les flux d'incertitude au cours du projet. Nous démontrons que la nature des incertitudes est différente selon les grandes étapes de l'ACV. La phase d'orientation est largement soumise à des choix subjectifs alors que les phases d'inventaire et d'évaluation environnementale sont soumises à des incertitudes de paramètres et de modèles.

Ces travaux exploratoires ouvrent de nombreuses perspectives quant au management des incertitudes en ACV. Il est aujourd'hui possible de localiser les sources d'incertitudes et de définir des leviers favorisant leur prise en compte et leur réduction. Les attributs de l'analyste en termes de connaissance et d'expérience en sont des exemples. Peut-on également formaliser une méthodologie de gestion des incertitudes intégrant à la fois les objectifs visés par l'ACV, les ressources qui y sont allouées et les méthodes d'évaluation et de propagation existantes ? Doit-on mieux encadrer la phase d'orientation pour s'affranchir des incertitudes liées aux choix subjectifs ? Si oui, dans quel cadre doit-on le faire et par quel biais ?

Remerciements

Ces travaux ont en partie été réalisés dans le cadre de la chaire « Bâtir Durable et innover » financée par Bouygues Construction. Je tiens à remercier l'ensemble des membres du Groupe de Travail Analyse de Cycle de Vie pour leur concours et dont les apports ont été précieux.

BIBLIOGRAPHIE

- BENETTO, E, DUJET, C, 2003, *Uncertainty Analysis and MCDA. A case study from the Life Cycle Assessment (LCA) practice*. In: Proceedings of the 57th Meeting of the European Working Group on Multicriteria Decision Aiding Viterbo (ITALY) 27-29 March 2003.
- BJORKLUND A., 2002, *Survey of Approaches to Improve Reliability in LCA*. Int J LCA, vol. 7 (2), pp. 64-72.
- CIROTH, A., 2003, *Uncertainty calculation for LCI data: reasons for, against, and an efficient and flexible approach for doing it*. Proceeding of the International Workshop on Quality of Life Cycle Inventory (LCI) data. Karlsruhe.
- CIROTH, A., 2004, *Uncertainties in Life Cycle Assessment*. Int. Journal of LCA 9 (3), pp 141-142
- FUNTOWICZ, S,O, RAVETZ, J, R, *Uncertainty and quality in science for policy*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1990. 229 pp. ISBN: 0792307992
- GRISEL, L, OSSET, P, *L'analyse du cycle de vie d'un produit ou d'un service. Applications et mise en pratique*. Paris, AFNOR 2004. 357p. ISBN : 2-12-475091-7
- HEIJUNGS, R, HUIJBREGTS, M. 2004, *A review of approaches to treat uncertainty in LCA*. Proceeding of International Environmental Modelling and Software Society IEMSS
- HEIJUNGS, R., 1996, *Identification of key issues for further investigation on improving the reliability of life-cycle assessment*. Journal of Cleaner Production Vol.4 N° 3-4, pp, 159-166
- HUIJBREGTS. M., *Uncertainty and variability in environmental life-cycle assessment*. PhD Dissertation, University of Amsterdam, 192p, 2001.
- ILCD Handbook, *Analysis of existing Environmental Impact assessment methodologies for use in Life Cycle Assessment*. Joint Research Center - European Commission, 2010b
- ILCD Handbook, *General guide for Life Cycle Assessment*. Joint Research Center – European Commission, 2010a
- ISO 2006a, Association française de normalisation. *Management Environnemental : Analyse Du Cycle De Vie : Principes Et Cadre*. Paris La Défense: AFNOR, 2006, 2006. NF EN ISO14040

ISO 2006b, Association française de normalisation. *Management Environnemental : Analyse Du Cycle De Vie : Exigences Et Lignes Directrices*. Paris La Défense: AFNOR, 2006, 2006. NF EN ISO 14044

KOTA, S., CHAKRABARTI, A, 2010, *A method for Estimating the Degree of Uncertainty With Respect to Life Cycle Assessment During Design*. Journal of Mechanical Design., Vol.132 n°9.

LEROY, Y & FROELICH, D, 2010, *Qualitative and quantitative approaches dealing with uncertainty in life cycle assessment (LCA) of complex systems: towards a selective integration of uncertainty according to LCA objectives*. International Journal of Design Engineering., Vol. 3 n°2, p 151-171.

LEROY, Y. *Développement d'une méthodologie de fiabilisation des prises de décisions environnementales dans le cadre d'analyses de cycle de vie basée sur l'analyse et la gestion des incertitudes sur les données d'inventaires*, Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure des d'Arts et Métiers, Paris, 2009.

NOTTEN. P., PETRIE. J., 2003, *An integrated approach to uncertainty assessment in LCA*. Proceeding of the International Workshop on Quality of Life Cycle Inventory (LCI) data. Karlsruhe.

POTTING, J., HAUSCHILD, M, WENZEL, H, 1999, "Less is better" and "only above threshold": Two incompatible paradigms for human toxicity in life cycle assessment ?. Int J LCA, Vol. 4 n°1, p 16-24.

REAP, J, ROMAN, F, DUNCAN, S, BRAS, B, 2008a, *A survey of unresolved problems in life cycle assessment. Part 1: goal and scope and inventory analysis*. Int J LCA 13 (4), pp 290-300

REAP, J, ROMAN, F, DUNCAN, S, BRAS, B, 2008b, *A survey of unresolved problems in life cycle assessment. Part 2: impact assessment and interpretation*. Int J LCA 13 (5), pp374-388

ROSS,S, EVANS, D, WEBBER, M, 2002, *How LCA studies Deal with Uncertainty*, Int J LCA, 7 (1) pp 47-52

SONNEMANN, G.W., SCHUHMACHER, M., CASTELLS, F., 2003, *Uncertainty assessment by a Monte Carlo simulation in a life cycle inventory of electricity produced by a waste incinerator*. Journal of Cleaner Production, Vol. 11 n°3, p 279-292.

TAN, R,R, 2008, *Using fuzzy numbers to propagate uncertainty in matrix-based LCI*, Int J LCA,13:pp 585-592

TILLMAN, A,M, BAUMANN, H, *Description of Life Cycle Assessment Methodology. Report 1995:5. Technical Environmental Planning*. Chalmers University of Technology. Göteborg 2005. ISBN/ISSN : 992-290611-2

VOSE, D, *Risk Analysis. A quantitative guide*, Third Edition, Wiley & Sons Ltd. 2008. ISBN 978-0-470-51284-5. 752 pages

WECKENMANN, A, SCHWAN, A, 2001, *Environmental life cycle assessment with support of fuzzy-sets*, Int J LCA 6 (1), pp 13-18 WEIDEMA, B, WAENAES, M,S, 1996, *Data quality management for life cycle inventories – an example of using data quality indicators*, Journal of Cleaner Production, Vol. 4, N° 3-4, pp 167-174

WEGENER SLEESWIJK, A., HEIJUNGS, R, 1996, *Modelling fate for LCA. Int J LCA*, Vol. 1 n°4, p 237-240.

YE, Y, *La prise en compte de l'incertitude en ACV depuis 2005 à ce jour* [Mémoire thématique]. Master Recherche MoMac Ecole Centrale Paris. 2011