

Titre: Utilisation d'un système ERP pour soutenir la réalisation d'une ACV
Title:

Auteur: Éric Muller
Author:

Date: 2010

Type: Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

Référence: Muller, É. (2010). Utilisation d'un système ERP pour soutenir la réalisation d'une ACV [Master's thesis, École Polytechnique de Montréal]. PolyPublie.
Citation: <https://publications.polymtl.ca/246/>

Document en libre accès dans PolyPublie

Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/246/>
PolyPublie URL:

Directeurs de recherche: Robert Pellerin, & Manuele Margni
Advisors:

Programme: Maîtrise recherche en génie industriel
Program:

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

UTILISATION D'UN SYSTÈME ERP POUR SOUTENIR
LA RÉALISATION D'UNE ACV

MULLER ERIC

DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES ET DE GÉNIE INDUSTRIEL
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES
(GÉNIE INDUSTRIEL)
FÉVRIER 2010

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

UTILISATION D'UN SYSTÈME ERP POUR SOUTENIR
LA RÉALISATION D'UNE ACV

présenté par : MULLER Éric

en vue de l'obtention du diplôme de : Maîtrise ès sciences appliquées
a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

M. BAPTISTE Pierre, ing., Doct., président

M. PELLERIN Robert, ing., Ph.D., membre et directeur de recherche

M. MARGNI Manuele, D.Sc., membre et codirecteur de recherche

Mme BÉCAERT Valérie, Ph.D., membre

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier toutes celles et ceux qui ont participé de près ou de loin à me soutenir tout au long de ma maîtrise. En premier lieu, je tiens à remercier mes directeurs de recherche, Robert Pellerin et Manuele Margni. Un remerciement particulier à Valérie Bécaert qui m'a guidé dans ma recherche et fait découvrir l'analyse du cycle de vie. Je remercie aussi Julie-Anne Chayer pour sa disponibilité et m'avoir patiemment expliqué toutes les subtilités de l'étude de cas autour de laquelle est écrit ce mémoire. Par la confiance qu'ils m'ont accordée et avec leurs recommandations, ils ont tous contribué à définir un sujet de recherche qui correspond pleinement à mes intérêts ainsi qu'à ceux du CIRAI et de ses partenaires industriels.

Mes amis venus de tous horizons ont été un soutien central et déterminant qui a grandement contribué à ma réussite. Chacun à sa manière, ils m'ont tous soutenu en aiguisant ma curiosité, en partageant leurs expériences et en me donnant l'énergie de continuer au quotidien comme dans les moments difficiles. En bref, ils m'ont fait me sentir à l'aise pendant mes études.

Je réserve une place particulière dans ces remerciements à ma famille à qui je dois d'avoir pu réaliser les études que j'ai souhaitées. Enfin, un remerciement spécial à ma douce moitié qui a su me soutenir et me pousser quant il le fallait (même à Beijing!).

Cette maîtrise fut réellement une expérience d'une grande richesse au point de vue humain et intellectuel. Elle m'ouvre à présent la porte à de nouveaux horizons.

RÉSUMÉ

Ce mémoire propose d'aborder la problématique de l'utilisation d'un système *enterprise resource planning* (ERP) pour soutenir la réalisation d'une analyse de cycle de vie (ACV) par une récupération efficace des données pertinentes.

Les objectifs de cette recherche sont multiples et visent tout d'abord à définir les problématiques actuelles en ACV. Un objectif additionnel est de déterminer dans quelle mesure un système ERP, aujourd'hui couramment utilisé par les grandes et moyennes entreprises, peut soutenir la réalisation d'une ACV. Enfin, l'emploi d'un système ERP pour contribuer à la réalisation d'une ACV sera soutenu par la proposition d'une méthodologie d'implémentation empirique.

La méthode de l'ACV est dans un premier temps présenté dans ses grandes lignes. Les principales difficultés rencontrées en ACV sont par la suite exposées, de même que les spécificités couvertes par les différents types de données. On remarque que la disponibilité et la qualité des données en ACV est une difficulté majeure à laquelle aucune solution satisfaisante n'a encore été apportée.

Au cours de la revue de littérature, les systèmes ERP et *Product Lifecycle Management* (PLM) sont tout d'abord exposés de façon succincte. L'état actuel de la recherche dans le domaine de l'intégration de ces systèmes d'information (SI) avec l'ACV est par la suite présenté et les différentes approches sont développées avec leurs facteurs de succès. Enfin, une synthèse dresse un constat critique qui révèle les limitations de ces recherches.

Ensuite, une étude de cas issue d'une entreprise manufacturière permet de confirmer a posteriori le fait qu'un système ERP est utile pour supporter la réalisation d'une ACV, en particulier pour l'étape d'inventaire du cycle de vie (ICV). Plus précisément, un système ERP contient pratiquement l'ensemble des données requises à l'ICV de la phase de

production. Pour les autres phases, principalement l'approvisionnement et la distribution, certaines données contenues dans un système ERP peuvent être utilisées, mais elles ne seraient pas suffisantes à elles seules pour couvrir l'ensemble des besoins informationnels d'un ICV. De plus, les données d'un système ERP utiles à un ICV sont présentées et identifiées selon qu'elles soient des données maîtresses ou des données transactionnelles. Le lien entre d'une part les données maîtresses et transactionnelles d'un système ERP et d'autre part les données d'ACV (données d'avant-plan et d'arrière-plan) a également été présenté. Enfin, cette étude de cas sert également de base de travail pour concevoir a posteriori une méthodologie applicable de manière générique qui vise à guider une organisation dans la réalisation d'une ACV supportée par un système ERP.

Le dernier chapitre de ce mémoire présente une méthodologie générique permettant de réaliser une ACV en tirant au maximum parti d'un système ERP. Élaborée d'un point de vue pragmatique, cette méthodologie vise à faciliter la réalisation d'une ACV en tirant parti de la capacité qu'offrent les systèmes ERP à collecter rapidement de l'information fiable. Cette méthodologie répondra donc aux besoins des entreprises manufacturières qui souhaitent réaliser une ACV avec le plus d'efficacité possible.

Plusieurs contributions découlent de cette recherche. Tout d'abord, une revue de littérature exhaustive dresse l'état de l'art de la recherche sur l'utilisation des systèmes ERP pour la réalisation d'une ACV. Ensuite, au-delà de confirmer qu'un système ERP peut être utile à la réalisation d'une ACV, nous avons spécifié par une étude de cas dans quelle mesure il l'est. Nous avons également fait le lien entre la distinction de données en ACV (entre les données d'avant-plan et d'arrière-plan) et la distinction de données des systèmes ERP (entre les données maîtresses et les données transactionnelles). Enfin nous avons proposé une méthodologie permettant de réaliser une ACV en tirant au maximum parti d'un système ERP, qui est applicable de façon générique et immédiate.

Les résultats de cette recherche participeront à rendre la réalisation d'une ACV dans une entreprise manufacturière plus aisée, ce qui favorisera ultimement sa démocratisation.

ABSTRACT

Today, information systems like enterprise resource planning (ERP) are widely used by middle and big companies. This thesis will address the problematic pertaining to the data in life cycle assessments (LCA). More precisely, we will study the opportunity to use an ERP system to support a LCA for the efficient retrieval of appropriate data.

The aims of this research are multiple. The first one is to present briefly the LCA. Further, we will investigate how an ERP system can help support conducting an LCA. Finally, a methodology designed to support the use of an ERP system to perform an LCA will be developed.

The LCA methodology will first broadly be presented. The present shortcomings encountered in LCA are then presented, as well as the specificities of the different kind of data. It is to be pointed out that the availability and the quality of LCA's data is a major difficulty to which no satisfying solution has been proposed to date.

In the literature review, the ERP and *Product Lifecycle Management* (PLM) systems have first both briefly been presented. Then, the state-of-the-art of the research in the domain of the integration of these information systems with LCA software have been presented and the different approaches been developed, along with their success factors. Finally, a discussion revealed the shortcomings of these researches.

A case study about a manufacturing company allowed *a posteriori* to confirm that an ERP system is useful to support an LCA, in particular, for the life cycle inventory (LCI) phase. More precisely, an analysis revealed that almost all data required for the production step LCI were contained in the ERP system. For the supplying and distribution steps, some data contained in the ERP system can be useful. Nevertheless, those data will never cover all the information required for an LCI. The data contained in an ERP system useful for an LCI

have then been identified and divided as they are master and transactional data. Afterwards, the link between these data types has been made: on the one hand the ERP data classification (master and transactional data) and on the other hand the LCA data classification (foreground and background data). Lastly, this case study also provides a working basis for conceiving a generic applicable methodology designed to support a manufacturing company for the use of an ERP system to perform an LCA.

This methodology is presented in the last chapter. Built in a pragmatic point of view, this generic methodology tends to ease the performance of an LCA by building on the capability of ERP systems to easily and rapidly provide reliable information. In this methodology, there is no need to develop a software prototype. This methodology will therefore answer the needs of manufacturing companies which want to realize an LCA with the most possible efficiency.

This research achieved many contributions. First, an exhaustive literature review provided us with the state-of-the-art of the research in the use of ERP systems to support an LCA. Then, a case study confirmed that an ERP system is useful to support an LCA, and in which case it is useful. Also, we distinguished ERP- and LCA data types and we linked them. Finally, a methodology designed to support a manufacturing company in the use of an ERP system to perform an LCA was presented. Furthermore, this methodology can immediately and generically be implemented.

This research will help to realize an LCA in a manufacturing company more easily, so that it will contribute to the spread of LCA in industry as an everyday business practice.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	iii
RÉSUMÉ	IV
ABSTRACT	VI
TABLE DES MATIÈRES	VIII
LISTE DES TABLEAUX	XI
LISTE DES FIGURES	XII
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	XIV
LISTE DES ANNEXES	XV
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 : L'ANALYSE DU CYCLE DE VIE	4
1.1 Définition	4
1.2 Méthodologie	5
1.3 Types de données	8
1.4 Difficultés	9
1.5 Conclusion	13
CHAPITRE 2 : REVUE CRITIQUE DE LA LITTÉRATURE	14
2.1 Systèmes d'information	14
2.1.1 Définitions	14
2.1.2 Système PLM	14
2.1.3 Système ERP	17
2.2 Formes d'intégration avec un logiciel ACV	18
2.2.1 Approche hybride	20
2.2.2 Approche par interface	22
2.2.3 Approche par intégration	23
2.2.4 Facteurs de succès pour l'intégration	29

2.3	Discussion	30
2.4	Hypothèse, objectifs et méthodologie de recherche.....	31
2.5	Conclusion	32
CHAPITRE 3 : ÉTUDE DE CAS.....		33
3.1	Contexte de l'étude ACV	33
3.1.1	Le système d'information de l'entreprise	33
3.1.2	Le produit étudié	33
3.2	L'étude ACV	34
3.2.1	Définition des objectifs et du champ de l'étude.....	34
3.2.2	Inventaire du cycle de vie	35
3.2.3	Évaluation de l'impact du cycle de vie	37
3.2.4	Interprétation et analyse des opportunités d'amélioration	37
3.3	Analyse du cas d'étude.....	37
3.3.1	Réalisation de l'ICV	37
3.3.2	Analyse a posteriori de l'utilité d'un système ERP pour un ICV	39
3.3.3	Sources de données d'ICV dans un système ERP	42
3.3.3.1	Structure des données d'un système ERP	42
3.3.3.2	Les données d'un système ERP utiles à un ICV	44
3.3.4	Conclusions sur l'analyse du cas d'étude.....	46
3.4	Conclusion	47
CHAPITRE 4 : MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE DU CYCLE DE VIE SUPPORTÉE PAR UN SYSTÈME ERP.....		48
4.1	Fondement théorique.....	48
4.2	Formalisme de modélisation	49
4.2.1	Choix du formalisme de modélisation	49
4.2.2	Formalisme de modélisation EPC.....	50
4.3	Méthodologie de réalisation d'un ACV à l'aide d'un système ERP.....	52
4.3.1	Sous-processus 1 : Comprendre les activités de l'entreprise	53

4.3.2	Sous-processus 2 : Définition des objectifs et du champ de l'étude	56
4.3.3	Sous-processus 3 : Création du modèle ACV pour le flux d'inventaire.....	56
4.3.4	Sous-processus 4 : Réaliser l'ACV	57
4.3.5	Sous-processus 5 : Analyser le système d'information de l'entreprise	60
4.3.6	Sous-processus 6 : Collecter les données primaires du système ERP	63
4.3.7	Sous-processus 7 : Collecter d'autres données primaires	68
4.3.8	Sous-processus 8 : Collecter les données secondaires	69
4.3.9	Sous-processus 9 : Mise à jour du modèle ACV	71
4.3.10	Sous-processus 10 : ACVI et interprétation.....	73
4.4	Conclusion	74
	CONCLUSION	75
	RÉFÉRENCES.....	78
	ANNEXES	84

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1	Synthèse des problèmes actuels rencontrés en ACV.....	12
Tableau 2.1	Exemple de données d'ICV récoltées par un système PLM.....	28
Tableau 3.1	Disponibilité des données du système ERP selon la phase du cycle de vie.....	41
Tableau 3.2.	Disponibilité des données d'ICV dans le système ERP en fonction des étapes du cycle de vie.....	42
Tableau 3.3	Lien entre les données d'ACV et les données d'un système ERP.....	45
Tableau 3.4	Types de données d'un système ERP utiles à un ICV selon l'étape ACV...	45
Tableau 4.1.	Éléments de formalisme EPC.....	52
Tableau A.1.	Synthèse des problèmes actuels rencontrés en ACV.....	90
Tableau A.2.	Comparaison des alternatives de projet 1 et 2.....	105

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1	Typologie de données en ACV.....	10
Figure 2.1	Approches d'intégration entre système ERP et un logiciel d'ACV pour développer un système de collecte de données en ligne.....	21
Figure 2.2	Mise en relation du diagramme de séquencement des activités du cas d'étude, des fonctions de l'entreprise et des systèmes d'informations correspondants.....	27
Figure 3.1	Types de données d'un système ERP : exemple d'une transaction.....	44
Figure 4.1	Niveau 1: Diagramme général de la méthodologie.....	54
Figure 4.2	Niveau 2, 1 : Comprendre les activités de l'entreprise.....	55
Figure 4.3	Niveau 2, 2 : Définition des objectifs et du champ de l'étude.....	56
Figure 4.4	Niveau 2, 3 : Création du modèle ACV pour le flux d'inventaire.....	59
Figure 4.5	Niveau 2, 4 : Réaliser l'ACV d'évaluation.....	61
Figure 4.6	Niveau 2, 5 : Analyser le système d'information de l'entreprise.....	62
Figure 4.7	Niveau 2, 6 : Collecter les données primaires du système ERP	64
Figure 4.8	Niveau 3, 6.2 : Collecter les données d'acquisition des matières premières du système ERP.....	65
Figure 4.9	Niveau 3, 6.3 : Collecter les données de production du système ERP.....	66
Figure 4.10	Niveau 3, 6.4 : Collecter les données de distribution du système ERP	67
Figure 4.11	Niveau 2, 7 : Collecter d'autres données primaires.....	69
Figure 4.12	Niveau 2, 8 : Collecter des données secondaires.....	71
Figure 4.13	Niveau 2, 9: Mise à jour du modèle ACV.....	72
Figure 4.14	Niveau 2, 10 : ACVI et interprétation.....	73
Figure A.1	Imbrication des cycles de vie d'un projet, d'un bien/procédé et d'un produit.....	97
Figure A.2	Méthodologie proposée.....	102

Figure A.3	Triangle de développement durable.....	106
Figure B.1	Typology in LCA data.....	119
Figure B.2	Relation between vertical and horizontal value chains and data sources from a manufacturing firm point of view.....	120
Figure B.3	Approaches for conducting LCAs with ERP systems.....	122

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

ACV	Analyse du cycle de vie
ACVI	Évaluation des impacts du cycle de vie
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
BOM	<i>Bill of Material</i> (nomenclature)
BPP	<i>Business Process Procedure</i>
BPML	<i>Business Process Master List</i>
CfP	<i>Compliance for Products</i>
CIRAIG	Centre Interuniversitaire de recherche sur l'analyse de cycle de vie, des procédés et des services.
CO ₂	Dioxyde de carbone
CRM	<i>Customer relationship management</i>
EPC	<i>Event-driven Process Chain</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
ICV	Inventaire du cycle de vie
ISO	<i>International Standard Organization</i> (Organisation internationale de normalisation)
MM	<i>Material Management</i>
PLM	<i>Product Lifecycle Management</i>
PP	<i>Production Planning</i>
QM	<i>Quality Management</i> - Gestion de la qualité
SCM	<i>Supply Chain Management</i>
SD	<i>Sales and Distribution</i> (administration des ventes)
SETAC	<i>Society of Environmental Toxicology and Chemistry</i>
SI	Système d'information
UF	Unité Fonctionnelle

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A – Article de conférence : Méthodologie d'évaluation durable de projet.....	84
ANNEXE B – Article de conférence: Potential of use of PLM and ERP as environmental data sources for LCA: a prospective literature review.....	110

INTRODUCTION

En quelques siècles, l'Homme est passé du statut de spectateur impuissant à celui d'acteur sur son environnement. Le génie humain a développé au cours des siècles des sciences, des techniques et des technologies qui lui ont d'abord permis d'assurer la survie de l'espèce humaine, de comprendre l'environnement puis d'accroître toujours plus son pouvoir à le modeler. Il est communément admis que la Révolution Industrielle a commencé avec l'utilisation de la machine à vapeur. C'est aussi le début de l'utilisation massive des ressources énergétiques fossiles. Cette période a été le point de départ d'une accélération fulgurante de la capacité productive mondiale et du rythme des découvertes scientifiques dans de nombreux domaines. A partir de ce moment, la pression que l'Homme exerce sur l'environnement n'a cessé de s'accroître, avec tous les effets positifs et néfastes que l'on constate aujourd'hui. En effet, « on estime que nous déplaçons à présent autant de matériaux que l'ensemble des phénomènes naturels terrestres (érosion, rivières, glissements de terrain...) » (Lévêque et Sciana, 2005). De plus, nous utilisons quotidiennement de nombreux composés chimiques qui ont une durée de vie de plusieurs centaines d'années et qui s'accumulent dans l'atmosphère au fur et à mesure que nous les produisons. Au début du XXIème siècle, sur les quelques 8000 mélanges et substances chimiques produites et utilisées couramment par l'industrie, l'effet sur des systèmes vivants avait été étudié pour environs 3000 d'entre elles seulement (McDonough et Braungart, 2002).

Il paraît donc évident que le modèle de développement hérité de la Révolution Industrielle a aujourd'hui atteint ses limites et la question du contrôle des impacts de l'activité humaine sur l'environnement est aujourd'hui plus que jamais posée.

Comment rendre l'activité industrielle plus respectueuse de l'environnement naturel? Parmi les solutions mises de l'avant à ce jour, l'analyse du cycle de vie se présente comme la méthode la plus prometteuse pour apporter des éléments de réponse à cette question puisqu'elle permet d'évaluer globalement l'impact environnemental d'un

produit ou d'un service et de proposer des solutions d'amélioration sans risquer de déplacer le problème. Pourtant, de nombreux problèmes restent encore à résoudre, dont la collecte des données sur lesquelles cette méthode se base.

Les données des entreprises sont aujourd'hui gérées par des SI de plus en plus évolués et qui gèrent des aspects très divers, de la conception assistée par ordinateur à la mise en production en passant par les relations avec les partenaires d'affaire jusqu'aux ressources humaines. Plus aucun aspect n'échappe à ces SI, parfois très spécialisés, qui sont devenus incontournables. Il est donc très probable que les données nécessaires à la réalisation d'une ACV soient disponibles quelque part, dans une base de donnée d'un SI.

Le but, apparemment simple, de cette recherche est d'identifier l'information dont on a besoin, de savoir où on est susceptible de la trouver pour ensuite aller la chercher, le tout avec le plus d'efficacité possible. Tout cela rendra la réalisation d'une ACV plus aisée, ce qui contribuera ultimement à sa démocratisation.

C'est dans ce contexte que vient se placer ce mémoire qui se situe à la jonction entre deux mondes qu'il paraît pertinent de relier : celui de l'ACV et des SI.

Les objectifs de cette recherche sont donc multiples. Elle vise tout d'abord à présenter l'ACV. Un objectif supplémentaire est de réexaminer la validité les conclusions des études précédentes en ce qui concerne les systèmes ERP, compte tenue des avancées rapides de la technologie dans le domaine. Ceci passe par déterminer dans quelle mesure un système ERP, un SI aujourd'hui couramment utilisé par les grandes et moyennes entreprises, peut soutenir la réalisation d'une ACV. Enfin, s'il devait s'avérer utile d'employer un système ERP pour soutenir la réalisation d'une ACV, il sera pertinent de formuler une proposition d'implémentation empirique.

Pour atteindre ces objectifs de recherche, nous avons suivi la démarche suivante. Dans un premier temps l'ACV est brièvement présentée, de même que sa méthodologie et les problématiques actuellement rencontrées. Ensuite, une revue de littérature présentera les divers SI à l'étude ainsi que l'état de l'art des méthodologies d'intégration d'un système

ERP avec des logiciels spécialisés dans le support d'études d'ACV. Un cas d'étude sur une ACV sera présenté par la suite, suivi par l'analyse de la pertinence de l'emploi d'un système ERP pour le support d'études ACV. Enfin, une méthodologie visant à guider l'emploi d'un système ERP pour le support d'une étude ACV viendra conclure ce mémoire.

CHAPITRE 1 : L'ANALYSE DU CYCLE DE VIE

L'objectif de ce chapitre est de donner un aperçu de ce qu'est l'analyse du cycle de vie (ACV). Après avoir défini l'ACV, nous aborderons sa méthodologie. Ensuite, les spécificités des différents types de données seront exposées, avant d'aborder les principales difficultés actuellement rencontrées en ACV.

1.1 Définition

En accord avec l'organisation internationale de normalisation (ISO), l'ACV se définit comme une :

« Compilation et évaluation des intrants, des extrants et des impacts environnementaux potentiels d'un système de produits au cours de son cycle de vie » (ISO, 2006).

L'ACV peut à la fois être considérée comme un cadre conceptuel et méthodologique visant à évaluer la performance environnementale d'un produit, d'un service, d'un processus ou d'une activité tout au long de son cycle de vie (Wanyama, 2003). L'approche holistique de l'ACV permet d'éviter tout déplacement de pollution entre différentes étapes du cycle de vie. En effet, une ACV distingue généralement cinq phases dans la vie d'un produit, de l'extraction ou transformation des matières premières à la fabrication, en passant par la distribution, l'utilisation et enfin son traitement en fin de vie (CIRAI, 2005).

Les domaines d'application couverts par l'ACV sont variés. En voici un aperçu non exhaustif :

- l'information des décideurs : pour la planification stratégique, la conception ou re-conception de processus ou de produit... etc. ;
- l'innovation : interne à l'entreprise ou induite par le secteur ;
- le marketing : l'étiquetage écologique, les études comparatives destinées à l'information du public (Moon et al., 2003 ; ISO 2006).

1.2 Méthodologie

L'ACV suit une méthodologie itérative composée de quatre phases, comme régit par les normes de la série ISO 14044.

- Définition des objectifs et du champ de l'étude ;
- Inventaire du cycle de vie du produit (ICV) ;
- Évaluation de l'impact du cycle de vie (ACVI) ;
- Interprétation et analyse des opportunités d'amélioration.

Nous allons à présent préciser ces phases. Une ACV commence par la phase de définition des objectifs et du champ de l'étude. Les objectifs d'une ACV doivent clairement indiquer l'application envisagée à l'étude, les raisons de sa réalisation, le public concerné et s'il est prévu que les résultats soient utilisés pour des affirmations comparatives destinées à être divulguées au public. De même, le champ de l'étude doit, en autres, clairement décrire : les frontières du système de produits à étudier, ses fonctions, l'unité fonctionnelle¹ (UF), la méthodologie d'évaluation de l'impact du cycle de vie qui sera utilisée ainsi que les types d'impacts. L'objectif de l'étude servira à préciser la sélection des données nécessaires à l'étude (méthodes de collecte utilisées, facteurs temporels, géographiques et technologiques, sources, précision et représentativité des données...). Cette première phase fournit le plan initial pour réaliser l'ICV (ISO, 2006).

La phase d'ICV consiste à collecter les flux d'intrants et d'extrants du système de produit donné (matières, énergies), à les calculer et à les contrôler. Ensuite, on adapte ces données à

¹ L'UF est une « performance quantifiée d'un système de produits destinée à être utilisée comme unité de référence » (ISO, 2006, p. 4). C'est l'UF qui permet de comparer des produits ou des processus entre eux en rendant possible un raisonnement à service rendu identique.

l'UF (dans le jargon ACV, on exprime cette étape par la mise à l'échelle) : on obtient une certaine quantité par UF.

La phase d'ACVI vise à comprendre et évaluer l'ampleur de l'inventaire et l'importance des impacts potentiels d'un système de produits sur l'environnement au cours de son cycle de vie (ISO, 2006). Cette phase comporte des étapes obligatoires et optionnelles (normalisation, pondération, regroupement). Les étapes obligatoires consistent à sélectionner les catégories d'impact, les indicateurs de catégorie et les modèles de caractérisation.

En pratique, on procède à une évaluation des impacts environnementaux à partir des données d'ICV grâce à des coefficients préétablis (les facteurs de caractérisation) permettant de calculer la contribution de chaque flux élémentaire aux divers impacts environnementaux étudiés. Un facteur de caractérisation est un « facteur établi à partir d'un modèle de caractérisation qui est utilisé pour convertir les résultats de l'inventaire du cycle de vie en unité commune d'indicateur de catégorie » (ISO, 2006, p. 5). Les facteurs de caractérisation des impacts potentiels sont déterminés à l'aide des connaissances scientifiques développées dans chaque domaine: pour exemple, ceux concernant l'effet de serre proviennent de *l'Intergovernmental Panel on Climate Change*. Ainsi, toutes les émissions de gaz à effet de serre (CO₂, méthane, CFC...) peuvent-elles être ramenées à une émission équivalente de CO₂, ce qui simplifie le nombre de données à traiter.

Puis viennent la classification et la caractérisation. Les méthodes de caractérisation pour réaliser l'ACVI peuvent être divisées en deux catégories en fonction de leur positionnement par rapport à la chaîne des causes à effet. On distingue les méthodes orientées problème et les méthodes orientées dommages. D'une part, les méthodes orientés problèmes (également connues sous l'appellation de méthode "*midpoint*") vont s'attacher à catégoriser les impacts de premier ordre, comme par exemple l'émission de CO₂ est caractérisé au niveau d'une augmentation du forçage radiatif dans l'atmosphère et exprimé en kg CO₂-éq. Parmi ces méthodes, citons IMPACT 2002+ (Suisse), TRACI (États-Unis) et LUCAS (Canada, en

cours de développement par le CIRAI). D'autre part, les méthodes orientées dommages (également connues sous l'appellation de méthode "*endpoint*") vont plus loin dans la modélisation des chaînes cause-effet, permettant ultimement de modéliser la contribution des impacts de chaque catégorie orienté problème à des dommages tels que la santé humaine, la qualité des écosystèmes ou bien encore la consommation de ressources. Ces méthodes ont l'avantage rendre l'impact plus éloquent. Ainsi au lieu de parler de radiation ionisante, les catégories de dommages vont-elles quantifier l'impact comme le dommage sur la santé humaine (développement de cancers). Cependant, il s'avère parfois difficile de suivre la chaîne de causes à effet, comme par exemple dans le domaine biologique où la chaîne de causalité ne peut pas toujours être établie avec certitude et les incertitudes du calcul final augmentent. Parmi ces méthodes, citons Eco-Indicator 99 (Pays-Bas), IMPACT 2002+ (Suisse) ou encore EPS 2000d. Ces limitations amènent à garder le débat ouvert entre la pertinence d'utiliser une méthode *midpoint* ou *endpoint* (Bare et al., 2000; Reap et al., 2008b).

Enfin, la phase d'interprétation comprend plusieurs éléments. En se basant sur les résultats de l'ACVI, on y identifie les enjeux significatifs et on procède à plusieurs vérifications (de complétude, de sensibilité, de cohérence, évaluation de la qualité des données...). Enfin tire enfin des conclusions, des recommandations tout en soulignant les limitations de l'étude (ISO, 2006).

Une des caractéristiques de l'ACV est d'être un processus itératif. Plusieurs auteurs soulignent cependant qu'aucune ACV quantitative complète n'a été réalisée à ce jour, ni n'est susceptible de l'être (Graedel, 1998 ; Hur et al., 2005). Une démarche courante est de commencer l'analyse avec un niveau de détail peu élevé et de l'affiner au fur et à mesure de son avancement. Lors de l'évaluation préliminaire (dite « *screening* »), on réalise une analyse simplifiée afin de repérer les ordres de grandeur des différentes contributions. Puis, lors d'une deuxième étape, une analyse détaillée approfondie les points présentant les impacts principaux. Il est à noter que l'acquisition de nouvelles informations peut amener le

praticien à devoir modifier le champ de l'étude au cours de l'analyse (CIRAI 2005 ; Jollet et al., 2005).

Il est aussi à noter que des variantes à la méthode, dues à des contraintes temporelles et/ou budgétaires ont été formulées selon les principes cadres établis par la *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC). Selon le jugement et l'expérience d'experts, il est par exemple possible de limiter les frontières du système à certaines étapes du cycle de vie, à certaines catégories d'impacts ou encore aux contributeurs principaux. Il est également possible d'effectuer une ACV d'un point de vue purement qualitatif ou de se baser sur des données génériques (ou « secondaires ») issues de banques de données ou de la littérature (CIRAI, 2005). Aussi, on peut réaliser des études d'ICV en suivant les recommandations de la norme ISO 2006, évitant ainsi par rapport à une étude ACV la phase d'ACVI. Cependant, une étude d'ICV ne pourra pas être utilisée pour fins d'affirmations comparatives destinées à être divulguées au public. D'une façon générale, selon les objectifs d'une ACV en particulier, la profondeur et l'ampleur des ACV peuvent varier de façon notable (ISO, 2006).

1.3 Types de données

Lors de la réalisation d'une ACV, il paraît important de faire la distinction entre différents types de données.

Tout d'abord, on distingue d'une part les données primaires (spécifiques au système étudié) qui sont contenues dans des bases de données propres à l'entreprise (système ERP, PLM...etc) ou dans des documents internes. Ces données ont l'avantage de refléter au plus près la réalité de l'entreprise. D'autre part, les données secondaires (génériques, c.-à-d. pas spécifiques au système étudié) sont contenues dans des bases de données d'inventaire ACV. Par exemple, la base de donnée *ecoinvent* contient plus de 2500 processus organisés autour de métadonnées et de quatre champs (nom, unité, localisation, et précision s'il s'agit

ou non d'un processus d'infrastructure) (Frischknecht et Rebitzer, 2005). Cependant, la plus grande prudence est requise lorsqu'on utilise ces données car elles ne sont valides que pour une zone géographique spécifique et pour une période définie (Hauschild et al., 2005).

Ensuite, on distingue les données d'avant-plan par opposition aux données d'arrière-plan. Les données d'avant-plan regroupent toute donnée directement en lien avec l'étude (donnée issue d'un système d'information (SI), de statistiques nationales ou d'estimations). Les données d'arrière-plan font référence à toutes les données qui ont été nécessaires pour modéliser l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement (du berceau à la barrière) du processus d'avant-plan. Ces données peuvent être disponibles sous forme désagrégées, comme la plupart des données dans la base de données *ecoinvent* ou sous forme agrégées, comme par exemple la production de polypropylène).

Malgré le fait que la distinction suivante ne soit pas reconnue globalement dans le domaine de l'ACV, il paraît judicieux de distinguer les données sur les processus et les produits entre les données locales et globales. D'un côté, les données de type locales sont valables pour une partie d'un produit et décrivent par exemple le matériau utilisé ou la méthode de recyclage applicable. D'un autre côté, les données de type globales sont valables pour un produit dans son ensemble (le lieu de fabrication par exemple) (Otto et al., 2003). La figure 1.1 synthétise cette typologie de données.

1.4 Difficultés

L'ACV est un outil qui présente des limites d'ordre pratique. Ainsi, la collecte d'informations primaires lors de l'ICV s'avère parfois problématique, puisque de nombreuses phases du cycle de vie d'un produit sont situées en dehors de la sphère d'influence directe de l'entreprise. La réalisation d'une ACV devient d'autant plus difficile dans un contexte de produit fabriqué par plusieurs sous-traitants. Ils refusent souvent de

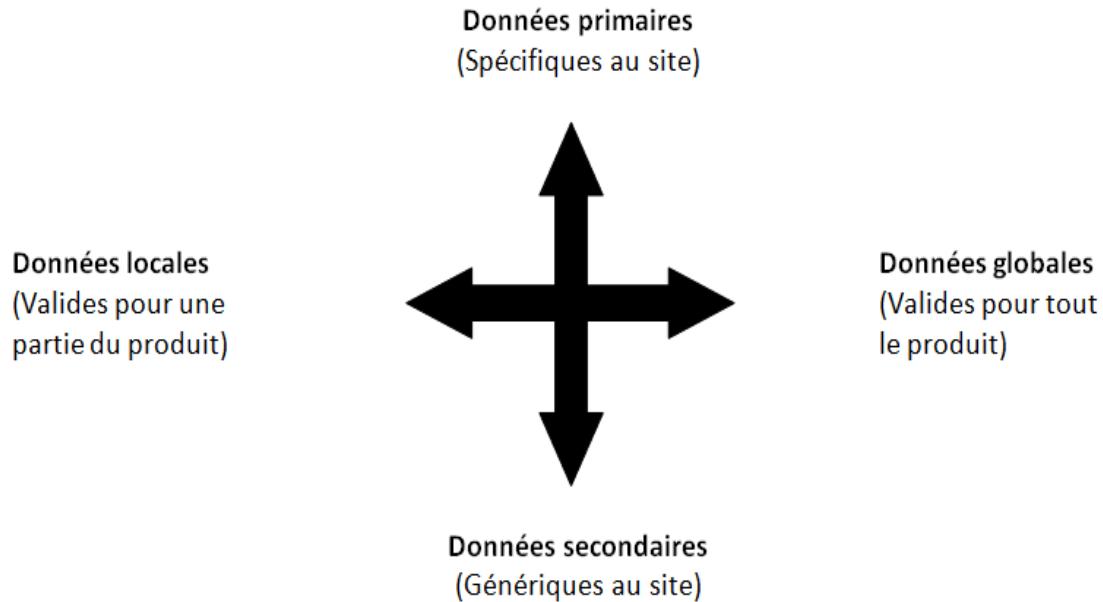


Figure 1.1 : Typologie de données en ACV.

coopérer à fournir des données d'ICV, de crainte de ne pas dévoiler des informations confidentielles sur leur compagnie (Wanyama, 2003 ; Recchioni, 2007).

La complexité et les efforts requis pour la réalisation d'une ACV sont reconnus comme les obstacles principaux à sa diffusion dans l'industrie (Koffler et al., 2008). Hunkeler et Rebitzer (2005) constatent aussi que l'application et l'intégration de l'ACV dans le processus de prise de décision des organisations était loin d'être une pratique courante. Entre autres, ils soulignaient la nécessité de renforcer les recherches et l'attention apportée aux aspects conceptuels, méthodologiques et aux procédures opérationnelles pour que le potentiel de l'ACV puisse être pleinement exploité à grande échelle (Hunkeler & Rebitzer, 2005).

Dans une revue sur l'état de l'art des principaux problèmes rencontrés en ACV, Reap et al. (2008a et 2008b) ont identifié quinze points et problèmes majeurs. Ces auteurs ont tout

d'abord classé les problèmes par phase d'apparition selon la nomenclature des normes de la série ISO 14000. Puis pour chaque problème, ils ont attribué un score de gravité et de pertinence de la solution actuelle. Le tableau 1.1 synthétise les conclusions de cette étude. Un score de gravité de 1 signifie que le problème est minime et 5 qu'il est grave. De même pour le score de pertinence de la solution, 1 signifie que le problème est résolu et 5 que le problème est encore largement ignoré (Reap et al., 2008b).

Il faut chercher à réaliser une ACV de façon efficiente en termes de coûts et de temps de réalisation. Plusieurs pistes de solution sont proposées. Parmi celles-ci, Kührke et al. (2005) soulignent qu'une ACV doit se faire à l'aide de support informatique et utiliser au maximum les données pertinentes déjà disponibles au sein de l'entreprise. Pour Koffler et al., (2008) :

“Yet, the effort involved remains one major obstacle for its wide-spread use. It is well-known that collecting and processing the relevant data is the most-time consuming part while conducting an LCA study of complex systems. It is possible to reduce the workload significantly by automating these processus steps, which also offers advantages in terms of LCA quality” (Koffler et al. 2008).

Il existait à la fin de l'année 2008 environ cinquante outils logiciels capables de supporter une ou plusieurs étapes d'une ACV, d'après une liste publiée par un centre de recherche de la Commission Européenne (*European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability*). Cette liste (disponible à l'adresse suivante : <http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/toolList.vm>) donne pour chaque logiciel un aperçu des fonctionnalités ainsi que le lien vers le site internet du développeur. Parmi ces logiciels, *SimaPro*, *TEAM* ou *GaBi* sont les plus connus et les plus complets. La plupart sont de type « stand-alone » et exigent beaucoup de temps et de ressources humaines pour la collecte des données et donc conduire une ACV. Le développement des logiciels d'ACV de type

Tableau 1.1 Synthèse des problèmes actuels rencontrés en ACV. (Traduit et adapté de Reap et al., 2008b)

Phase	Problème	Gravité	Pertinence de la solution
Définition des objectifs et du champ de l'étude	Définition de l'UF	4	3
	Sélection des frontières du système	4	3
	Impacts sociaux et économiques	3	4
	Considération de scénarios alternatifs	1	5
Réalisation de l'inventaire du cycle de vie du produit	Allocation	5	3
	Critère de coupure ('cutoff')	3	3
	Caractère unique de la technologie locale	2	2
Analyse de l'impact environnemental	Catégorie d'impact et sélection de la méthodologie	3	3
	Variations spatiales	5	3
	Caractère unique de l'environnement local	5	3
	Dynamique de l'environnement	3	4
	Dimension temporelle	2	3
Analyse des opportunités d'amélioration	Pondération et évaluation	4	2
	Incertitude du processus décisionnel	3	3
Toutes	Disponibilité et qualité des données	5	3

client/serveur peut résoudre ces problèmes en enregistrant automatiquement les données d'ACV sur un serveur de base de données après une recherche de donnée en ligne. Par exemple, les logiciels *SimaPro* et *TEAM* sont maintenant d'architecture client/serveur. Cependant, Moon et al. (2003) soulignent qu'il est difficile de lier directement ces outils avec les systèmes de base de données d'une entreprise. Ceci est principalement dû à une structure de base de donnée différente et à leur faible flexibilité à accéder aux données liées aux processus d'une entreprise (Moon et al., 2003).

1.5 Conclusion

L'ACV a été défini et sa méthodologie présentée dans les grandes lignes au cours de ce chapitre. Les spécificités des différents types de données ont par la suite été exposées, de même que les principales difficultés rencontrées en ACV. On remarque que la disponibilité et la qualité des données est une difficulté majeure récurrente en ACV à laquelle aucune solution satisfaisante n'a encore été apportée.

La lecture de ce premier chapitre a familiarisé le lecteur avec la méthodologie au cœur de ce travail de recherche. Il est à présent plus à même de suivre la revue de littérature qui est l'objet du prochain chapitre.

CHAPITRE 2 : REVUE CRITIQUE DE LA LITTÉRATURE

Ce chapitre a deux objectifs. Il s'agit dans un premier temps de définir les termes utilisés pour cette étude. Par la suite, une revue de littérature viendra exposer l'état actuel de la recherche dans le domaine de l'intégration des SI présentés avec l'ACV.

Nous nous proposons tout d'abord de présenter les systèmes PLM et ERP. Puis, l'état actuel des recherches académiques sur l'intégration de l'ACV avec différents SI sera présenté. Enfin, une synthèse viendra clore ce chapitre.

2.1 Systèmes d'information

2.1.1 Définitions

Tout d'abord, quelques définitions généralistes s'imposent. Un processus est défini par Debaecker comme une : « liste et ordonnancement des tâches élémentaires conduisant à un objectif à partir de données d'entrée».

Selon le même auteur, le *workflow* est un « logiciel permettant d'automatiser des flux d'information décrits dans un processus : ordonnancement des tâches, circulation et diffusion de documents ou articles, validation par les différents acteurs » (Debaecker, 2004, p.284).

2.1.2 Système PLM

L'approche de plusieurs méthodes s'inspire directement de la pensée « cycle de vie ». Le concept de PLM (*Product Lifecycle Management*) est apparu à la fin de la décennie 1990 avec l'ambition d'aller au-delà des aspects liés à l'ingénierie des produits pour promouvoir une véritable plate-forme partagée pour la création, l'organisation et la diffusion de savoirs relié au produit à travers l'entreprise étendue (Jun et al., 2007).

Jusqu'à récemment, le support informatique de développement de produit ne couvrait que les étapes allant des spécifications d'ingénierie jusqu'à la réalisation physique, soit seulement une petite partie du cycle de vie d'un produit. Depuis, les données couvertes par les systèmes PLM ont été considérablement étendues, ce qui a eu pour conséquence d'augmenter la complexité liée au volume et à la diversité des informations décrivant le produit (Sudarsan et al., 2005). En effet, le PLM permet aujourd'hui de gérer un produit bien au-delà du bureau d'étude. Il peut soutenir les fonctions liées au marketing, à la gestion de portefeuille produit, ou encore aider à lier les exigences client et de fonction (Debaecker, 2004).

Le PLM peut être défini de différentes manières:

“A strategic business approach that applies a consistent set of business solutions in support of the collaborative creation, management, dissemination, and use of product definition information across the extended enterprise from concept to end of life integrating people, processes, business systems, and information” (CIMdata, 2002).

Il faut comprendre le terme « management » au sens large, comme l'est en français le mot système (Debaecker, 2004). « La définition du cycle de vie du PLM prend en compte le concept initial et les exigences clients, le développement du produit y compris celui de ses moyens de production (industrialisation produit/processus), la vie opérationnelle jusqu'à la fin de vie » (Debaecker, 2004, p.282). Soulignons ici que le cycle de vie PLM est plus restrictif que celui compris en ACV : il ne prend pas en compte la phase d'extraction des matières.

Les solutions de PLM sont des SI, c'est-à-dire des outils informatiques qui sous tendent des modes de travail, d'organisation et de structuration de l'information. Les solutions PLM se composent des trois principales gammes d'outils suivantes :

- Outils de gestion documentaire,

- Outils de gestion des données techniques,
- Outils de production d'information produit : la conception assistée par ordinateur (CAO) et le dessin assisté par ordinateur (DAO), les logiciels de bureautique (tableurs, traitement de texte, etc.) (Debaecker, 2004).

Un PLM agit comme une interface entre les différents départements d'un manufacturier et ses partenaires d'affaire ainsi qu'entre de multiples applications informatiques. Le but est d'automatiser la capture de l'information et du savoir relatif au produit issu des différents départements d'une entreprise. Voici une liste des fonctionnalités typiquement supportées par les systèmes PLM :

- Gestion des items: contrôle de l'information sur l'item tout au long de son cycle de vie en plus des processus ayant trait à leur création et à leur maintenance;
- Gestion des utilisateurs: définition des accès à l'information et des droits de maintenance;
- Gestion de la structure des produits et de leur mise à jour;
- Versionnage (brouillon, accepté, distribué, obsolète) et maintenance de l'information sur le statut des documents et des items (ce qui a été modifié, par qui et quand);
- Récupération d'information: pour utiliser l'information existante et pour trouver des liens entre informations (Gestion documentaire, métadata);
- Gestion de la configuration des produits;
- Gestion des flux de travail (*workflow management*): facilite la communication des entreprises décentralisées (Saaksvuori & Immonen, 2004).

Jun et al. (2007) s'intéressent au concept de PLM en boucle fermée (traduction libre de *closed-loop PLM*). Ces auteurs soulignent qu'il est aujourd'hui technologiquement possible de collecter de précieuses données sur tout le cycle de vie aval d'un produit, grâce à la combinaison des avancées technologies de ces dernières décennies (citons entre autres :

internet, télécommunications mobiles, puces RFID (*radio frequency identification device*). Ces données sont ensuite retransmises aux concepteurs et aux ingénieurs de production, fermant ainsi la boucle de flux informationnel. Certaines compagnies automobile (Ford et Toyota) implémentent ce concept par exemple pour la maintenance préventive ou pour l'optimisation de la récupération du produit à sa fin de vie (Jun et al., 2007).

Une piste de recherche serait d'étudier la possibilité d'utiliser ces technologies pour récupérer des données primaires sur le produit lors de sa phase d'utilisation. Cependant, cette recherche serait avant tout pertinente pour des produits dont l'impact environnemental majeur se situe lors des phases d'utilisation et/ou de fin de vie, tel un véhicule.

2.1.3 Système ERP

L'acronyme ERP (*enterprise resource planing*) désigne un système intégré permettant à l'entreprise de standardiser son SI, d'automatiser et de relier ses processus d'affaire. Un ERP est un logiciel modulaire configurable aux besoins spécifiques d'une organisation. Ses modules supportent au minimum les processus de finance, de gestion des ressources humaines et de gestion des opérations. Il fournit aux utilisateurs les informations nécessaires pour diriger et contrôler les activités de l'entreprise le long de la chaîne logistique, de l'approvisionnement jusqu'à la livraison au client final en passant par la production et la vente. Les informations sont saisies une seule fois et partagées avec tous les systèmes de l'entreprise (O'Brien & Marakas, 2008). Les systèmes ERP sont destinés à capturer de l'information au stade de la fabrication. Ces informations consistent en des procédures (de tests et de fabrication), des nomenclatures (*bill of material - BOM*), des échéanciers ainsi que toute la logistique du processus manufacturier (Cimalore, 2007).

Le développement récent des systèmes ERP se caractérise par quatre tendances majeures :

- L'amélioration de l'intégration et de la flexibilité avec d'autres logiciels. Les systèmes ERP étendus incluent à présent les logiciels de gestion de la chaîne logistique (*supply*

chain management - SCM) et de gestion de la relation client (*customer relationship management - CRM*) ;

- L'extension à des applications de commerce électronique (*e-business*)
- L'élargissement vers de nouveaux utilisateurs: les petites et moyennes entreprises
- L'adoption des technologies de l'internet : (capacité de travail en réseau) qui rendent les ERP plus facile d'utilisation avec les applications des partenaires d'affaire. Cette étape marque l'interface des processus internes d'une entreprise avec les applications tournées vers les processus externes (SCM, CRM) (O'Brien & Marakas, 2008).

Les systèmes ERP sont devenus incontournables dans les grandes entreprises et sont de plus en plus prisés par les entreprises de taille moyenne. Toutefois, il est à préciser que cette tendance affecte avant tout l'Amérique du Nord et l'Europe, puisque ces deux continents représentent 85% du marché mondial des ERP (AMR Research, 2007).

Une revue des différentes formes d'intégration des SI sera décrite à la section suivante, de même que les facteurs de succès entrevus.

2.2 Formes d'intégration avec un logiciel ACV

Plusieurs techniques et méthodes pour communiquer des données entre différents logiciels existent. Citons à titre d'exemples : l'intégration de base de données, le fichier de transfert, *Enterprise Application Integration*, les métadonnées ou encore les différents standards d'interface (XML, COM...). Leur étude est souhaitable pour déterminer le moyen le plus efficace de récupérer l'information environnementale pertinente pour un ICV. Cependant, l'étude de ces méthodes et techniques va au-delà de la problématique abordée dans ce mémoire. Elle ne sera par conséquent pas abordée plus en détail dans ce mémoire mais proposé comme une piste de recherche future. Plusieurs articles peuvent à cet égard donner des pistes de recherche (Debaecker, 2004 pour les concepts de base ; Tanaka et al., 2003).

Les systèmes ERP et PLM supportent des fonctionnalités complémentaires : les premiers étant traditionnellement utilisés pour les processus de fabrication, les seconds pour les processus de développement produit. L'intégration de ces deux systèmes formerait donc un SI efficient (Saaksvuori & Immonen, 2004). Concrètement, un système ERP intégré à un système PLM réduit la duplication de données et accélère les cycles de développement des produits, améliorant ainsi le processus de mise en marché. L'automatisation du processus de changement d'ingénierie permettrait un gain de productivité de l'ordre de 30%. Une fois un changement validé, les systèmes PLM et ERP de l'entreprise prennent en compte l'information la plus récente, en plus de réduire le risque d'erreur dû à la saisie manuelle des données (Cimalore, 2007). Une revue de littérature plus exhaustive des principales recherches sur le domaine est disponible en Annexe B.

Selon Moon et al. (2003), il est techniquement possible de collecter des données en ligne en ayant recours à des systèmes ERP. Jusqu'à présent, trois méthodes ont été proposées pour développer un système de collecte de données en ligne intégrant un système ERP et un logiciel d'ACV (voir figure 2.1). Ces méthodes, développées dans les sous-sections suivantes, consistent à :

- Approche hybride: Extraire du logiciel d'ACV l'étape d'ICV et l'intégrer dans un système ERP, tout en interfaçant les autres étapes avec un logiciel externe d'ACV avec le système ERP. Cette approche a été proposée par Januschkowitz (2001).
- Approche par interface: Interfacer un système ERP avec un logiciel externe d'ACV. Cette approche a été proposée par Bullinger et al. (2002), Moon et al. (2003) et Lang-Koetz et al. (2005). C'est aussi l'approche privilégiée par les principaux développeurs de logiciels d'ACV (Simapro, Pré consultants; Umberto, IFU Hamburg) qui proposent des formats d'échange de données;

- Approche par intégration: Adapter toutes les fonctionnalités d'un logiciel d'ACV dans un système ERP. Cette approche a été proposée par Kührke et al.(2005) et Abele et al. (2006).

2.2.1 Approche hybride

La première approche a été proposée par Januschkowetz (2001) qui a réalisé l'étape d'ICV à partir du système ERP SAP R/3, les étapes d'ACVI et d'interprétation étant réalisées à partir d'un logiciel d'ACV externe. Elle soulignait certaines limitations à utiliser un système ERP pour l'étape d'ICV. Par exemple, l'enregistrement des données est orienté en fonction des processus et non des produits. De plus, le poids des matériaux n'est que partiellement disponible et les données ne sont disponibles qu'à un niveau d'agrégation élevé (usine, bâtiment). Qui plus est, les consommations d'énergie et d'eau ainsi que les émissions générées ne sont pas disponibles dans la plupart des systèmes ERP : ces données doivent être retrouvées dans des logiciels spécifiques. Elle a modifié le progiciel SAP R/3 de façon à palier à ces limitations.

Cette approche se caractérise par une grande flexibilité dans la génération de rapports des données d'ICV et par la maintenance simplifiée des données brutes dans le système ERP. De plus, Januschkowetz estime que l'utilisation de ce système ERP adapté peut réduire les coûts associés à la conduite d'une ACV de 50% comparativement aux coûts actuels d'une étude ayant recours à des bases de données séparées et des études ACV externes (Januschkowetz, 2001).

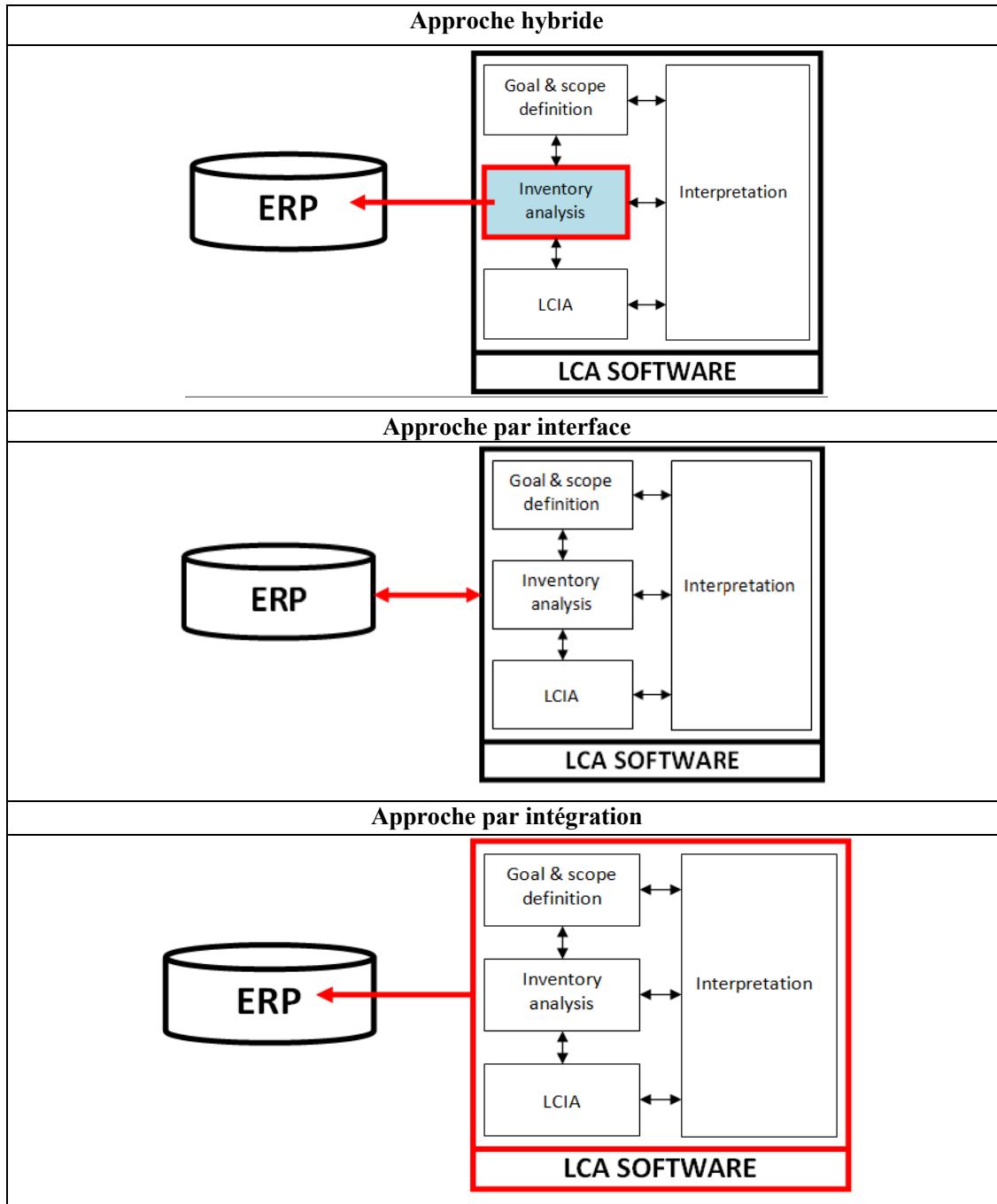


Figure 2.1 : Approches de développement d'un système de collecte de données en ligne entre un système ERP et un logiciel d'ACV.

2.2.2 Approche par interface

Moon et al. (2003) soulignent qu'en suivant cette méthode les résultats d'ICV sont disponibles dans le système ERP, ce qui complexifie par conséquent la gestion des données d'inventaire à partir de plusieurs formats. De plus, ceci suppose que le système ERP contienne toutes les données environnementales nécessaires à la réalisation d'une ACV. Leur approche consiste à développer une solution logicielle pour réaliser des ACV de type client/serveur utilisant entre autres un système ERP. Leur solution repose sur deux parties: un kit d'outil d'ACV et un programme d'interface. Le premier sert d'interface utilisateur pour la prise en main (*handling*) d'un serveur de base de données d'ACV pour exécuter l'analyse (quantité d'énergie, matières premières...). Le programme d'interface connecte un système de *data handling* à un système de collecte de données en ligne. Il récupère des données dans trois systèmes : un ERP, un EMS et un système de serveur d'énergie (*Energy server System*). A travers un cas d'étude, ils comparent trois méthodes pour réaliser un ICV : deux méthodes utilisaient un système en ligne (l'une interfaçant avec l'ERP seul, l'autre avec l'ERP et d'autres systèmes), la dernière méthode était manuelle.

Selon leurs résultats, le système de collecte de données en ligne est près de neuf fois plus efficace pour le temps de réalisation que la méthode manuelle. Les aspects de coût et de fiabilité des données sont également améliorés. La méthode d'interface avec le système ERP seul requiert plus de temps, dû au fait qu'un temps additionnel est requis pour intégrer un module environnemental additionnel dans le système ERP (Moon et al., 2003).

Les recherches de Bullinger et Jürgens (2002) visent à contribuer à l'intégration régulière de l'ACV dans le processus de prise de décision dans l'industrie. Le focus méthodologique porte sur la façon d'utiliser les données de production comme base pour la réalisation d'un ICV. Leur concept rend la réalisation régulière d'un ICV plus aisée grâce à un modèle de données permettant la description détaillée de tous les flux entrants ou sortants des objets d'affaire d'importance pertinents à une ACV. Le modèle de données proposé facilite l'utilisation de données de production existantes provenant d'un système ERP. Ils ont

développé un prototype à partir de ce concept. Les données des objets d'affaire peuvent être importées dans la base de données du prototype via une interface avec le système ERP. Ce prototype a été testé dans deux compagnies industrielles, confirmant de façon empirique son applicabilité (Bullinger & Jürgens, 2002).

2.2.3 Approche par intégration

Kuhrke et al. (2005) proposent une approche portant sur un outil d'ACV « Compliance for Products » (CfP) intégré dans la solution *mySAP Business Suite®*. Cette approche vise à utiliser en premier lieu l'information environnementale déjà disponible en particulier dans les modules :

- material management (MM) pour la nomenclature (BOM),
- production planning (PP) pour le plan de travail (*working plan*) et
- *Environment, Health and Safety* (EH&S) pour les matériaux utilisés.

Les matériaux et les substances reliés aux parties de produits sont contenus dans une base de données de la solution CfP. Ces auteurs soulignent que les informations contenues dans l'ERP ne permettent pas de couvrir celles nécessaires pour la réalisation de l'ICV de la phase d'utilisation, de fin de vie, ni pour le transport. Pour la phase d'utilisation, l'information pertinente est disponible dans les spécifications des exigences en plus d'autres documents. Pour la phase de fin de vie, il faudrait obtenir l'information des compagnies chargées du démantèlement et ceci pour chaque pièce. Enfin, pour le transport, le système SAP ne donne pas de précision sur la localisation géographique des fournisseurs, ni sur le moyen de transport utilisé. Ces informations peuvent cependant être trouvées sur la déclaration de matériel. Les autres processus sont évalués à partir de bases de données d'ACV. Selon les auteurs, l'utilisateur est alors en mesure d'effectuer des

évaluations environnementales ou des ACV préliminaires sur des parties de produit ou des étapes du cycle de vie du produit (Kuhrke et al., 2005).

Koffler et al. (2008) présentent la procédure *Volkswagen slimLCI* qui vise à rendre la réalisation d'une ACV plus efficiente la par semi-automatisation de l'étape d'ICV. Cette procédure s'applique à un véhicule complet (système très complexe) aussi bien qu'à ses composants. L'incorporation de la phase d'utilisation et de fin de vie via des modules paramétrés est possible. Cependant, ce sont des éléments optionnels de la procédure, de même que la provenance des données utilisées lors de l'ICV. Le temps ainsi que la quantité de main d'œuvre nécessaire à la réalisation de l'étape d'ICV d'un véhicule ont été très nettement réduits par l'application de la nouvelle procédure *Volkswagen slimLCI*. En effet, cette procédure présente un gain en efficience de plus de 80%. Le laps de temps de réalisation maximum passe en moyenne de sept mois à six semaines, en plus d'améliorer la qualité des données de l'ACV avec moins d'effort. Cependant, la procédure doit encore être validée sur d'autres véhicules afin d'obtenir un niveau de confiance satisfaisant concernant ces résultats (Koffler et al., 2008).

Allant vers une forme d'intégration plus complexe, Eun et al. (2009) présentent un SI environnemental (traduction libre de *environmental information system*) intégré à un outil d'ACV en ligne produisant des ICV hybrides. Ce système baptisé SMIS (*Sustainability Management Initiative System*) est implanté depuis 2006 et couvre tous les sites mondiaux de la compagnie Samsung SDI. L'architecture de ce SI environnemental repose sur quatre modules fonctionnels et une base de données intégrée. Les fonctions des différents modules sont à présent décrites.

- Le module EMS (*environmental Management System*) contrôle les rapports opérationnels sur les locaux, les émissions de polluants... etc. Ces données sont gérées en temps réel et utilisées comme données de base pour les ACV et l'éco-conception. Ce module réduit la saisie manuelle de données et améliore la qualité des données.

- Le module de comptabilité environnementale supporte l'analyse coût-bénéfice des opérations et des investissements environnementaux. Ces données sont entre autres partagées avec le système ERP et le module EMS.
- Le module *GP/ED* permet la coopération avec les partenaires logistique et d'évaluer la performance environnementale de leurs produits. Grâce au lien avec le BOM de l'ERP, ce module permet de répondre immédiatement aux requêtes du client sur le profil environnemental du produit.
- Enfin, le module ACV génère automatiquement un score d'ACV pour tous les produits développés par l'entreprise.

Les résultats d'ACV du berceau à la porte produits mensuellement de janvier 2006 à décembre 2007 par ce système sont comparés avec ceux d'une étude ACV de type III effectuée en 2002. Il ressort de cette analyse comparative que les résultats entre les deux méthodes sont assez similaires pour trois catégories d'impact (variations inférieures à 9%) et très différents pour d'autres catégories d'impact (variations allant jusqu'à plus de 280%). Pour les trois premières catégories d'impact, les auteurs considèrent que le risque lié au degré d'exactitude des données est acceptable pour des ACV comparatives entre différents modèles de produit d'une même ligne de production (Eun et al. 2009).

Le système développé par Eun et al. (2009) apporte une réponse à certaines limitations de l'ACV dans un contexte particulier mais présente de nombreux inconvénients. D'une part, l'exactitude des résultats n'est pas encore satisfaisante et ne peut fournir tout au plus un aperçu pour l'évaluation de la performance environnementale d'un produit. Ensuite, ce système nécessite en phase opérationnelle que les données soient corrigées. Il peut être aisément déceler des erreurs dans des données séparées, mais cela devient plus compliqué avec des données intégrées en plus de potentiellement prendre beaucoup de temps. Il paraît donc important d'analyser le gain réel offert par ce système en termes de temps et de qualité des données.

Recchioni et al. (2007) ont étudié comment un système PLM commercial d'architecture client/serveur peut supporter la réalisation d'un ICV. Ils partent du constat que la majorité de l'information nécessaire à la réalisation d'un ICV est conservée parmi les données gérées par un système PLM. Leur but est d'identifier au cours du cycle de vie du produit quelle donnée est disponible, et où et quand elle le devient. Leurs recherches portent également sur la façon d'y accéder pour compiler un ICV aussi tôt que possible et de le rendre ensuite disponible pour une ACV au moyen d'un format indépendant de tout SI.

Avec le prototype développé et mis en pratique à travers un cas d'étude impliquant quatre entreprises, ils pouvaient réaliser une ACV préliminaire limitée dans sa portée au niveau de l'étape de production. Leur démarche suit trois étapes. Dans un premier temps ils définissent via un système PLM l'ordonnancement des activités concernées, qu'ils complètent par des informations sur les logiciels et les départements de l'entreprise concernés. Le résultat de cette étape est illustré la figure 2.2.

Ils localisent les données nécessaires à un ICV dans la chaîne logistique en incluant les informations provenant du département de l'entreprise et du logiciel. Ils définissent ensuite les variables qualitatives, quantitatives ainsi que la méthode de calcul dans une seconde étape pour l'affecter à chaque processus de production et source de donnée. Enfin, ils identifient les méthodes d'allocation appropriées pour chaque type de donnée au cours d'une troisième étape. Les données sont échangées entre le fabricant principal et ses partenaires d'affaire via le système PLM (Recchioni et al., 2007). Le Tableau 2.1 synthétise leur résultat et en montre un aperçu.

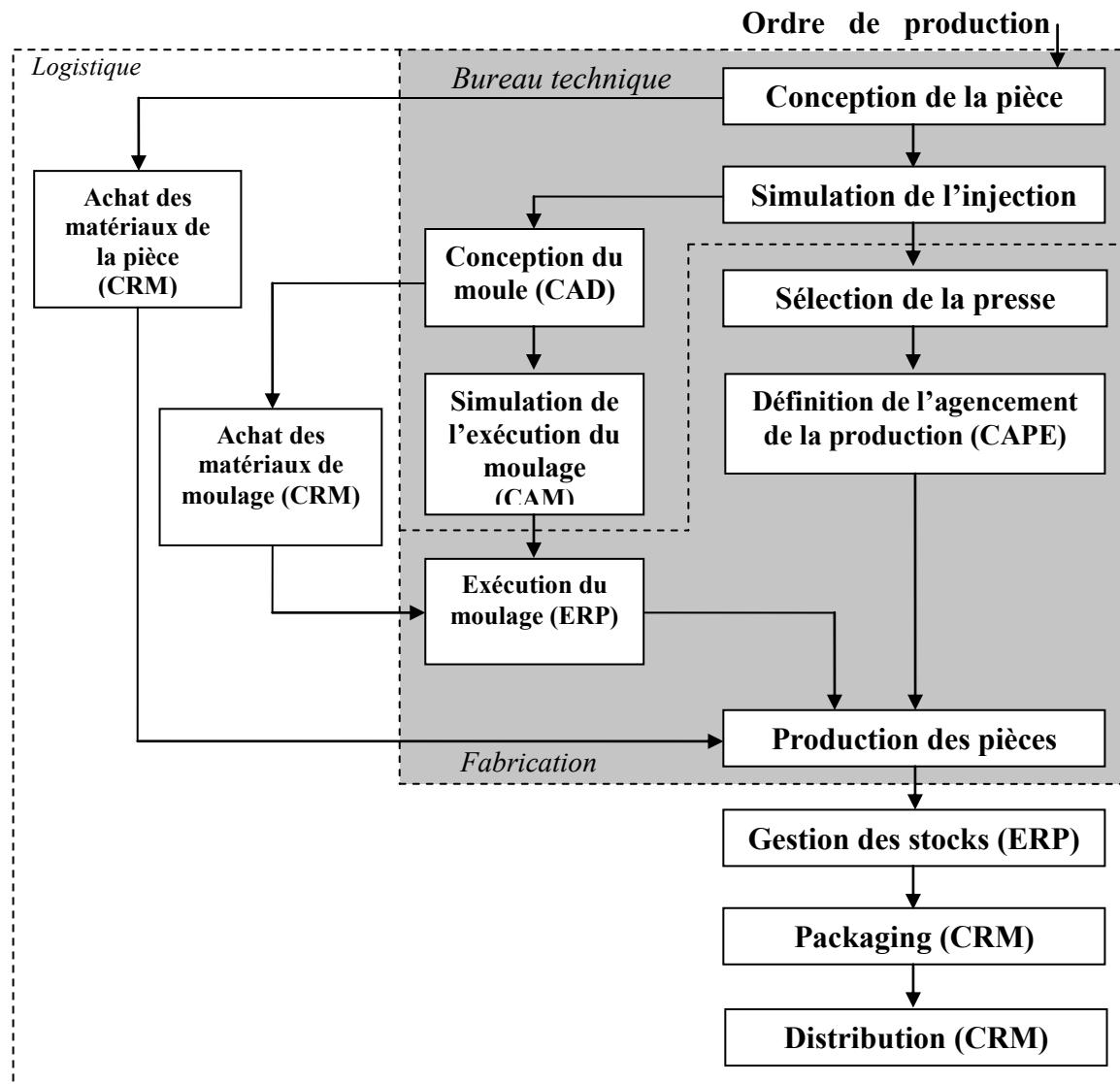


Figure 2.2 : Mise en relation du diagramme de séquencement des activités du cas d'étude, des fonctions de l'entreprise et des systèmes d'informations correspondants. (Source : Traduit et adapté de Recchioni et al., 2007, p. 221)

Tableau 2.1 : Exemple de données d'ICV récoltées par un système PLM (Source : traduit et adapté de Recchioni et al., 2007, p. 222-223)

Données d'ICV		Méthode de calcul	Unité	Disponibilité des données		
Flux d'entrée / de sortie	Champ			Fonction de l'entreprise	Processus de workflow	Outi I
Consommation d'énergie	Machinerie de moulage	Temps de simulation CAM * puissance nominale de la machine * facteur correctif	Watt	Bureau technique	Simulation de machinerie de moulage	CA M
	Manutention interne	Nombre de manutention * puissance de la machine * mètres	Watt	Logistique	Manutention interne	ERP
	Processus d'injection	Puissance nominale de la presse * temps d'injection	Watt	Bureau technique	Simulation d'injection	CAE
Déchets	Rebuts d'acier de machinerie de moulage	Masse d'un bloc d'acier brut – masse d'un moule du modèle CAD	Kg	fabrication	Simulation de machinerie de moulage	CA D, ERP
	Matériel secondaire	Rebut mensuel / production mensuelle de parties	Kg	logistique	Production de parties	CR M, ERP
Transport	Du fournisseur	Calcul de distance	Km	logistique	Achats	CRP , ERP
	Vers le client	Calcul de distance	Km	logistique	distribution	CR M, ERP

Pillep et Schieferdecker (2000) proposent d'étendre les données disponibles d'un système ERP pour prendre en considération les aspects environnementaux lors du processus de planning. Plus précisément, ils ont considéré les tâches reliées aux flux de matériel, de gestion des émissions et de l'énergie ainsi que le contrôle de gestion environnemental.

Des cas d'implémentation ont démontré que des bénéfices économiques et environnementaux peuvent être obtenus grâce à une gestion environnementale intégrée dans l'organisation de la production et dans les SI. Cependant, l'effort initial pour y parvenir est important et doit être ancré dans l'organisation par une amélioration continue. L'approche proposée d'un support intégré par un système ERP environnemental c'est révélée faisable car les processus logiques de planning et de contrôle pour les phases de production et de disposition sont similaires (Pillep et Schieferdecker, 2000).

2.2.4 Facteurs de succès pour l'intégration

Selon Pillep et Schieferdecker (2000), la gestion environnementale ne peut être abordée avec succès par une compagnie manufacturière que si trois conditions sont réunies : une intégration complète dans les processus d'affaire pertinents, un effort organisationnel additionnel minimisé et une incidence positive sur les coûts. Les auteurs identifient comme facteur de réussite décisif l'intégration dans les SI existants tels que les systèmes ERP ainsi qu'un support accru pour les employés (Pillep et Schieferdecker, 2000).

A partir de l'expérience gagnée chez *Samsung SDI*, Eun et al (2009) suggèrent quelques facteurs de succès pour l'implantation d'un SI environnemental. Ils soulignent tout d'abord l'importance d'internaliser la gestion du développement durable dans l'organisation : en effet, même le meilleur système s'avère inutile s'il n'est pas utilisé. De plus, son utilisation doit être simple et éviter si possible de multiples saisies manuelles de données. Ensuite, ils suggèrent de standardiser les processus entre les différents sites d'une entreprise, ceci d'autant plus s'il est prévu de déployer le SI environnemental pour toute l'entreprise. Enfin, il est important de disposer du matériel adéquat pour mesurer les émissions, surtout si ces mesures sont collectées automatiquement par le SI (Eun et al., 2009).

2.3 Discussion

De la revue de littérature qui précède, nous pouvons tirer plusieurs constats. Tout d'abord, du point de vue de l'ACV, la collecte des données (phase d'ICV) est un processus fastidieux. Elle demeure une difficulté majeure de la méthodologie qui freine pour le moment son développement à grande échelle.

Ensuite, peu d'études ont été menées jusqu'à présent sur la réalisation d'ICV soutenue par des SI couramment utilisés par les entreprises tels les systèmes ERP ou PLM. De plus, chaque auteur développe une méthodologie d'intégration propre avec un prototype logiciel développé pour le cas d'étude, ce qui limite la généralisation des résultats. Aussi, peu d'information est disponible quant à la configuration du SI utilisée pour la réalisation des diverses études.

Malgré tout, le potentiel mis à jour par plusieurs de ces études est impressionnant. Aussi, aucune des méthodologies d'intégration mentionnées ne nous semble s'imposer comme nettement supérieure aux autres. Une critique supplémentaire est qu'aucun des prototypes logiciels n'est transférable ou réutilisable rapidement pour une entreprise qui souhaiterait réaliser une première ACV ou rendre la réalisation de ses ACV plus performante.

De plus, malgré le fait que ces études soient relativement récentes (la plus ancienne à notre connaissance date de 2001, Januschkowetz), et compte tenu des avancées rapides dans le domaine de l'informatique, le réexamen des conclusions des études réalisées il y a quelques années serait pertinent.

Finalement, les contributions scientifiques dans le domaine ont surtout été d'ordre technique et non méthodologique. Aucun lien entre les données en ACV et les données des systèmes ERP n'a jusqu'ici été proposé. Aussi, aucune méthodologie générale d'intégration ou d'utilisation de progiciel de gestion pour soutenir une ACV ne ressort. C'est là une lacune importante des travaux précédents à laquelle ce travail cherche à remédier.

2.4 Hypothèse, objectifs et méthodologie de recherche

Après avoir défini les problématiques actuelles en ACV et devant l'ampleur et la complexité de la problématique pluridisciplinaire mise en lumière par cette revue de littérature, il est évident que ce mémoire ne pourrait qu'aborder en surface plusieurs de ces problèmes. Il est le point de départ d'un programme de recherche pluriannuel mené par le CIRAI et des partenaires industriels.

L'hypothèse de recherche sur laquelle se concentre ce mémoire est ainsi de confirmer ou d'infirmer si « l'utilisation d'un système ERP peut contribuer à soutenir la réalisation d'une ACV ».

Les objectifs de cette recherche seront donc multiples :

- Elle vise à dresser l'état de l'art de la recherche sur l'intégration entre les systèmes ERP et les logiciels d'ACV.
- Un objectif supplémentaire est de réexaminer la validité présente des conclusions des études précédentes en ce qui concerne la pertinence de l'utilisation d'un système ERP, compte tenu des avancées rapides de la technologie dans le domaine. Ceci passe par déterminer dans quelle mesure un système ERP, peut aujourd'hui soutenir la réalisation d'une ACV.
- Aussi, il s'agit d'identifier où les données utiles à un ICV sont disponibles dans un système ERP. Pour ce faire, un lien entre les données d'ACV et les données des systèmes ERP pourra être établi.
- Enfin, s'il devait s'avérer utile d'employer un système ERP pour soutenir la réalisation d'une ACV, il serait alors pertinent de formuler une proposition d'implémentation empirique.

Pour atteindre ces objectifs, nous suivrons la méthodologie de recherche suivante. Tout d'abord, un cas d'étude sur une ACV réalisée sera présenté. Il servira de base de travail pour une analyse *a posteriori* sur la pertinence de l'emploi d'un système ERP mis en place par l'entreprise pour le support de cette même étude ACV. Il faut noter que l'ACV initiale a été réalisée à partir de sources d'information multiples, soit avant que l'entreprise ne déploie son système ERP. La première étape de cette méthodologie permet ainsi d'évaluer *a posteriori* dans quelles mesures le système ERP, aujourd'hui en place, aurait permis d'alimenter et accélérer la conduite de l'ACV initiale.

À partir des leçons apprises par l'analyse de ce cas d'étude et des constats de la revue de littérature, nous allons formuler une proposition d'opérationnalisation qui vise à guider l'emploi d'un système ERP pour soutenir la réalisation d'une ACV.

2.5 Conclusion

Au cours de cette revue de littérature, les systèmes ERP et PLM ont tout d'abord été exposés de façon succincte. L'état actuel de la recherche dans le domaine de l'intégration d'un système ERP avec un logiciel d'ACV a par la suite été présenté, les différentes approches développées et les facteurs de succès à ces intégrations énoncés. Enfin, une discussion dresse un constat critique qui révèle les limitations de ces recherches avant de clore ce chapitre en exposant l'hypothèse et les objectifs de recherche.

CHAPITRE 3 : ÉTUDE DE CAS

L'objet de ce chapitre est de fournir un cas réel à partir duquel une analyse de faisabilité sur l'utilisation d'un système ERP pour la réalisation d'une ACV sera conduite. Plus précisément, l'ACV sera analysée sous l'optique de la collecte de données d'inventaire. L'ACV sur laquelle se base ce cas d'étude a été réalisé entre 2007 et 2009 pour le compte de la filiale montréalaise d'une multinationale leader dans le marché des produits d'hygiène personnelle. Elle a été conduite par Chayer et Fugère pour le compte du CIRAIG.

Nous présenterons ainsi le contexte dans lequel l'ACV a été réalisée, à travers les spécificités de son SI et une brève description du produit sur lequel porte l'étude. Dans la section suivante, l'étude ACV sera ensuite expliquée plus en détail. Ensuite, une analyse viendra éclairer comment l'ACV a été réalisée, et dans quelle mesure un système ERP pourra contribuer à la collecte de données d'une ACV avant de conclure ce chapitre.

3.1 Contexte de l'étude ACV

3.1.1 Le système d'information de l'entreprise

Le SI de l'entreprise étudiée est composé de plusieurs logiciels. L'entreprise a implanté au cours de l'étude le système ERP *SAP ECC version 6.0*.

3.1.2 Le produit étudié

Le produit étudié est une serviette hygiénique. Elle est fabriquée par l'usine de Montréal sans avoir recours à la sous-traitance. Les produits prêts à être expédié sont ensuite répartis

entre quatre centres de distribution. Les matières premières du produit incluent les composants du produit lui-même ainsi que l'emballage.

3.2 L'étude ACV

Cette section reprend les éléments principaux du rapport sur l'analyse de cycle de vie réalisée par Chayer et Fugère (2009). Elle est organisée en suivant les quatre phases de l'ACV, telles que suggéré par la norme ISO 14040.

3.2.1 Définition des objectifs et du champ de l'étude

Le but de cette étude est de mieux comprendre les impacts environnementaux de ce produit d'hygiène féminine, dans le but d'élaborer des stratégies pour les minimiser.

L'unité fonctionnelle (UF) représente la quantification de la fonction étudiée. Dans cette étude, elle correspond à l'absorption du flux menstruel d'une consommatrice moyenne sur une période d'un an.

Les flux de référence représentent la quantité de produit requise afin de remplir la fonction exprimée par l'UF. En d'autres termes, ils constituent le lien entre la performance d'un système et l'UF.

Les frontières du système englobent la production et le transport des matières premières jusqu'à l'usine, la fabrication et la distribution de la serviette sanitaire ainsi que l'utilisation et l'enfouissement du produit en fin de vie. Elles incluent aussi la production des ressources consommées et la gestion des rejets générés lors de ces étapes.

3.2.2 Inventaire du cycle de vie

Les sources de données d'inventaire sont différencierées selon qu'elles soient spécifiques ou génériques au site. D'une façon générale, les données spécifiques d'exploitation annuelle de l'entreprise ont été privilégiées. Elles regroupent les consommations d'eau, d'énergie et des matériaux pour la production de la serviette et pour l'emballage, ainsi que les rejets générés. Les éléments manquants ou incomplets ont soit été complétés par des hypothèses, soit par des données génériques d'ICV reconnues par la communauté scientifique internationale.

La plupart des processus figurant dans les systèmes étudiés se retrouvent dans la banque de données génériques d'ICV *ecoinvent*. Afin de maximiser l'uniformité et la cohérence des données utilisées pour les modéliser, cette banque a donc été privilégiée et adaptée lorsque possible (plus particulièrement en ce qui a trait aux contextes énergétiques québécois et nord-américain).

En ce qui concerne la réalisation de l'ICV, les données collectées ont d'abord été rapportées au flux de référence défini en relation avec l'UF. Puis elles ont été modélisées dans le logiciel ACV SimaPro v.7.1.8².

La collecte des données s'est faite selon diverses méthodes : lors de visites du site, par l'intermédiaire de courriels aux personnels adéquats et par la responsable de l'environnement du site.

Les données collectées concernent les ressources consommées, les rejets générés ainsi que les différents transports du produit. Elles sont énumérées plus précisément ci-après, en suivant les étapes du cycle de vie du produit.

² www.pre.nl/simapro

Pour l'extraction des matières premières :

- Production des matières premières et consommation électrique
- Composition et masse du produit
- Composition et masse de l'emballage
- Localisation des principaux fournisseurs et moyen de transport utilisé

Pour la fabrication :

- Fonctionnement de la ligne de production
- Exploitation de fabrication et autre consommation d'énergie
- Fonctionnement d'autres équipements
- Fonctionnement du système de traitement de l'air
- Gestion des déchets solides

Pour l'utilisation, on pose une hypothèse sur la distance de transport entre le lieu d'achat et le domicile de l'utilisatrice et que ce parcours est effectué en voiture.

Pour la fin de vie, la gestion des rejets est prise en compte par des scénarios de répartition des rejets produits aux étapes de production, de distribution et d'utilisation selon la zone géographique étudiée.

La collecte des données nécessaires à la prise en compte des divers transports s'est faite par les données suivantes :

- Localisation des centres de distribution
- Localisation des différents détaillants
- Ventes et volume de production
- Moyen de transport utilisé.

3.2.3 Évaluation de l'impact du cycle de vie

Les données collectées ont été évaluées sur la base de la méthode d'évaluation des impacts du cycle de vie IMPACT 2002+ v2.1 (Jolliet et al., 2003). Selon la méthode *IMPACT 2002+*, les impacts sont classés selon quatre catégories de dommage: santé humaine, qualité des écosystèmes, changement climatique et ressources. Nous allons à présent présenter les résultats marquants de cette étude dans la sous-section suivante.

3.2.4 Interprétation et analyse des opportunités d'amélioration

En analysant le profil environnemental de la serviette sanitaire par étape du cycle de vie, on constate que les impacts environnementaux prépondérants sont causés lors de l'étape de production des matières premières, suivi par la distribution et le transport. On remarquera aussi que l'impact de l'étape de production est minime pour les quatre catégories d'impact. Par conséquent, il paraît judicieux d'analyser plus en détail l'étape d'approvisionnement, que nous identifions comme le principal contributeur. On remarque clairement que l'impact de la production des matières premières compte pour deux-tiers à trois-quarts des impacts de l'approvisionnement, selon la catégorie d'impact. C'est donc lors de l'étape d'approvisionnement que les opportunités d'amélioration environnementale sont les plus importantes, suivie par un effort de la chaîne logistique.

3.3 Analyse du cas d'étude

3.3.1 Réalisation de l'ICV

Nous allons maintenant nous intéresser en particulier aux difficultés rencontrées au cours de cet ICV, que nous allons détailler pour chaque phase d'ACV.

En ce qui concerne l'étape d'approvisionnement, les composants nécessaires à la production du produit ainsi que ses emballages proviennent de plus de dix fournisseurs directs. Les adresses de ces derniers ont été identifiées en se basant sur les documents de spécifications des différents composants. Les distances ont ensuite été calculées grâce aux services de calculateurs de distances disponibles sur internet, de sources fiables et reconnues.

En ce qui concerne l'étape de production, la consommation énergétique pour l'assemblage et l'emballage du produit a été estimé à partir des données de consommation énergétique de la ligne de production ainsi que les données de production. La consommation énergétique est distinguée entre celle directement consommée par la ligne de production et celle concernant les processus de support. Plus précisément, les données de consommation énergétique des processus de support (consommation de gaz naturel, chauffage du bâtiment, l'éclairage ainsi que la ventilation et la climatisation) étaient disponibles pour l'ensemble de l'usine. On a donc procédé à une allocation physique basée sur le volume de palettes produites par le département afin d'obtenir la part que porte chaque produit manufacturé.

Pour l'étape de distribution, l'analyste souhaitait calculer l'impact du transport du produit des centres de distribution jusqu'aux détaillants.

Enfin, une distinction a été faite entre la gestion des rejets et l'étape d'ACV traditionnelle de fin de vie. Tous les transports et la gestion des rejets générés lors de la production, de l'emballage, de la distribution et de l'utilisation du produit sont pris en compte par la gestion des rejets, à l'exception notable du produit lui-même qui est prise en compte par l'étape de fin de vie. Contrairement aux processus directement sous contrôle de l'entreprise, l'impact environnemental de l'étape de fin de vie ne peut être évalué qu'en ayant recours à des données génériques qu'on rapporte à la masse de rejet à traiter.

3.3.2 Analyse a posteriori de l'utilité d'un système ERP pour un ICV

La réalisation de l'ICV de ce cas d'étude a montré des complications, en partie dues à la difficulté à rassembler des données pertinentes de façon simple. Comme mentionné dans la littérature, le problème de la disponibilité des données est récurrent (Januschkowetz, 2001; Reap et al., 2008b) et aucune solution adéquate ne semble avoir été trouvée jusqu'à présent. C'est ici que notre proposition d'étudier le potentiel d'un système ERP déjà en place pour supporter la réalisation d'un ICV prend tous son sens. De plus, ceci ne demande que d'identifier quelle donnée chercher et où la chercher pour être réalisé.

Pour toutes les données nécessaires à la réalisation de l'ACV, cette analyse consiste à préciser leurs sources, dans quelle phase d'ACV elles se trouvent et à déterminer si elles sont disponibles ou non dans un système ERP.

Le résultat de cette analyse est présenté au tableau 3.1 qui résume les données collectées lors de l'ICV du cas d'étude. On distinguera la disponibilité des données dans le système ERP selon les trois nuances suivantes :

- Entière : La donnée recherchée est entièrement disponible dans le système ERP ;
- Partielle : Des fragments nécessaires à l'obtention de la donnée sont disponibles dans le système ERP, sans que ce dernier ne fournisse l'ensemble des informations ;
- N/d : Aucune donnée n'est disponible

Les données provenant d'autres sources sont distinguées entre bases de données externes et hypothèse et ne seront pas détaillées plus finement dans cette analyse.

La fiabilité des données d'un système ERP varie d'une organisation à l'autre. Dans notre cas, elles ont été collectées en ligne à partir d'un système *Manufacturing Execution System* (MES) (les données sont saisies automatiquement) et de terminaux de code à barre.

En portant d'abord notre attention sur la phase d'approvisionnement, on remarquera que le système ERP contient des données sur la composition des matériaux, dans la nomenclature (BOM) ou les ordres d'achat (*Purchase orders – PO*). La quantité d'énergie nécessaire pourra être retrouvée à partir des factures.

Pratiquement toutes les données nécessaires à la phase de production peuvent être trouvées dans un système ERP. La seule exception est la consommation énergétique du chariot élévateur, qu'il a fallu chercher dans les spécifications techniques.

Quant à la phase de distribution, les données à collecter consistent exclusivement à calculer l'impact environnemental des transports du lieu de production vers les centres de distribution de l'entreprise d'une part et des centres de distribution de l'entreprise vers ceux des revendeurs d'autre part. Pour le premier transport, une hypothèse a été formulée pour évaluer la distance moyenne. Pour le second transport, des hypothèses ont été formulées pour évaluer la distance et le mode de transport. Néanmoins, les données de vente d'un système ERP pourraient servir à trouver les adresses des clients clés et par ce fait, aider à calculer les distances exactes (par un service de calculateur de distance sur internet). Ceci aurait contribué à obtenir un résultat plus proche de la réalité, sans effort supplémentaire notable pour une phase identifiée comme le second contributeur pour les quatre catégories d'impact.

Enfin, la phase de fin de vie repose presque exclusivement sur des données externes. La seule donnée utile est la masse de la serviette sanitaire : cette donnée sera utile pour calculer la masse des produits utilisés qui devront être incinérés ou mis à la décharge. Comme on pouvait s'y attendre, le système ERP est d'une aide limitée pour cette phase.

De même que pour la phase de fin de vie, un système ERP peut contribuer à l'évaluation de la gestion des rejets en renseignant sur la masse de rejets solides générés.

Tableau 3.1 Disponibilité des données du système ERP selon la phase du cycle de vie

Phase ACV	Sous-étape / Processus	Sous-processus	Détails du processus		Info dans ERP ?	Source
			Entière	partielle Nd		
Approvisionnement	a. Matières premières (MP), eau	MP	Composants directs et sous-composants	v	v	Inténe
		Eau	Quantité	v	v	Inténe
	b. Matériaux d'emballage		Consommation eau	v	v	Inténe
	c. Énergie (électricité, combustibles)	Électricité	Production totale	v	v	BD exténe
Production	d. Autres ressources matérielles consommées	Technologie de production	Technologie de production	v	v	Inténe
		Mode transport	Mode transport	v	v	BD exténe
		Technologie de transport	Technologie de production (grid mix)	v	v	BD exténe
		Transport (distance, mode)	Technologie de production	v	v	BD exténe
Distribution	a. Transport matières premières vers ligne de production	Aucune	Transport (distance, mode)	v	v	BD exténe
	b. Assemblage de la serviette et emballage	Energie	Consommation équipement (chariot élévateur)	v	v	Fiche technique
		Utilisation	Temps de fonctionnement	v	v	Inténe
		Energie	Chaufferie, éclairage, CVCA	v	v	Inténe
Utilisation	c. Transport produit fini vers quais de distribution	Ligne de production	Ligne de production	v	v	Inténe
		Quantité consommée (type)	Quantité consommée (type)	v	v	Inténe
		Même que Production a)	Même que Production a)	v	v	Inténe
			Mode transport	Type	v	v
Fin de vie	a. Transport du produit fini de l'usine vers le centre de distribution	Distance	Distance	v	v	Inténe
	b. Transport du produit fini du centre de distribution vers le détaillant	Technologie transport	Technologie transport	v	v	Hypothèse
		Mode transport	Type	v	v	Hypothèse
		Distance	Distance	v	v	BD exténe
Gestion des rejets	a. Transport du produit fini par la consommatrice vers lieu de résidence	Technologie transport	Type	v	v	Hypothèse
	b. Utilisation du produit	Mode transport	Type	v	v	Hypothèse
		Distance	Distance	v	v	BD exténe
		Technologie transport	Type	v	v	BD exténe
Gestion des rejets	a. Rejets solides	Mode de gestion	Mode de gestion	v	v	Inténe
		Rejets de production	Mode de gestion	v	v	Inténe
		Rejets de design	Mode de gestion	v	v	Inténe
		Rejets d'emballage		v	v	BD exténe
Gestion des rejets	Primaire	Selon cas	Mode de gestion	v	v	BD exténe
		Secondaire	Mode de gestion	v	v	BD exténe
		Tertiaire	Mode de gestion	v	v	BD exténe
	b. Autres rejets	Transport (distances, mode)	Production	v	v	Inténe
		Distribution	Distribution	v	v	BD exténe
		Mode de gestion	Mode de gestion	v	v	Inténe

Tableau 3.2. Disponibilité des données d'ICV dans le système ERP en fonction des étapes du cycle de vie.

		Approvisionnement	Fabrication	Distribution	Utilisation	Fin de vie	Gestion des rejets
Disponibilité dans l'ERP en %	Entièrement	0,0%	95,5%	90,0%	50,0%	0,0%	0,0%
	Partiellement	94,1%	0,0%	0,0%	0,0%	72,7%	12,5%
	N/d	5,9%	4,5%	10,0%	50,0%	27,3%	87,5%
	Somme	24,3%	31,4%	14,3%	2,9%	15,7%	11,4%

Le tableau 3.2 représente la disponibilité des données d'ICV dans le système ERP en fonction des étapes du cycle de vie. On constate que 80% des informations collectées pour l'ICV sont disponibles de façon entière ou partielle dans le système ERP. Aussi, l'étape de production représente 31,4% des informations collectées pour l'ICV et les données pertinentes sont disponibles à 95,5% de façon entière dans le système ERP. De même, l'étape de distribution représente 14,3% des informations collectées pour l'ICV et les données pertinentes sont disponibles à 90% de façon entière dans le système ERP.

3.3.3 Sources de données d'ICV dans un système ERP

3.3.3.1 Structure des données d'un système ERP

Un système ERP est structuré autour de différents types de données que nous allons présenter afin de donner au lecteur les clés de compréhension nécessaire.

On distingue les objets statiques par opposition aux objets dynamiques. Un objet statique représente une entité décrite par une série de paramètres et permet de modéliser l'entreprise et ses activités. Les éléments organisationnels sont utilisés pour définir la structure d'entreprise. Les données de base définissent les différents acteurs et produits d'une

entreprise et sont gérées centralement et disponibles à partir de tous les modules d'un système ERP.

À l'opposé, un événement est représenté par un objet dynamique de type transactionnel (Par exemple: un ordre de vente ou un ordre de production, ... etc.). Un objet dynamique a en général une durée de vie limitée où chaque état est défini par un statut particulier (en cours, complété,...). Les données de base (*master data*) sont centralisées et disponibles pour l'ensemble des applications et des utilisateurs autorisés. La décomposition de données maîtresses en vues permet de distinguer les différents aspects organisationnels des données: on distinguera ainsi les données sur les articles (*Material master*), les données sur les clients (*Customer master*) et les données sur les fournisseurs (*Vendor master*).

Un élément organisationnel est un objet permettant de définir la structure organisationnelle d'une entreprise d'un point de vue légal ou d'affaires. Lors de l'implantation, un élément organisationnel est tout d'abord défini et ensuite assigné à un autre élément organisationnel (au sein d'une structure). Chaque module définit ses propres éléments de la structure organisationnelle (certains étant communs à plusieurs modules, comme le code de l'entreprise par exemple). Aussi, un lieu physique (ou une unité d'affaires) peut être représentée par plusieurs éléments organisationnels à la fois.

Une transaction est un programme permettant d'exécuter les activités des processus d'affaires d'une organisation. Les données qui peuvent être réutilisées dans plusieurs transactions simultanément sont copiées des données maîtresses, ce qui évite la duplication d'information. Chaque transaction est assignée à un ou plusieurs éléments de la structure organisationnelle de l'organisation. L'intrant d'une transaction pourra être l'information entrée et/ou un document antérieur et l'extrant d'une transaction un document. Après qu'une activité soit complétée (enregistrement), un document d'affaire est généré : c'est sur ce document qu'on pourra retrouver l'information. La figure 3.1 vient illustrer l'imbrication des différents types de données d'un ERP afin d'en visualiser leur utilité.

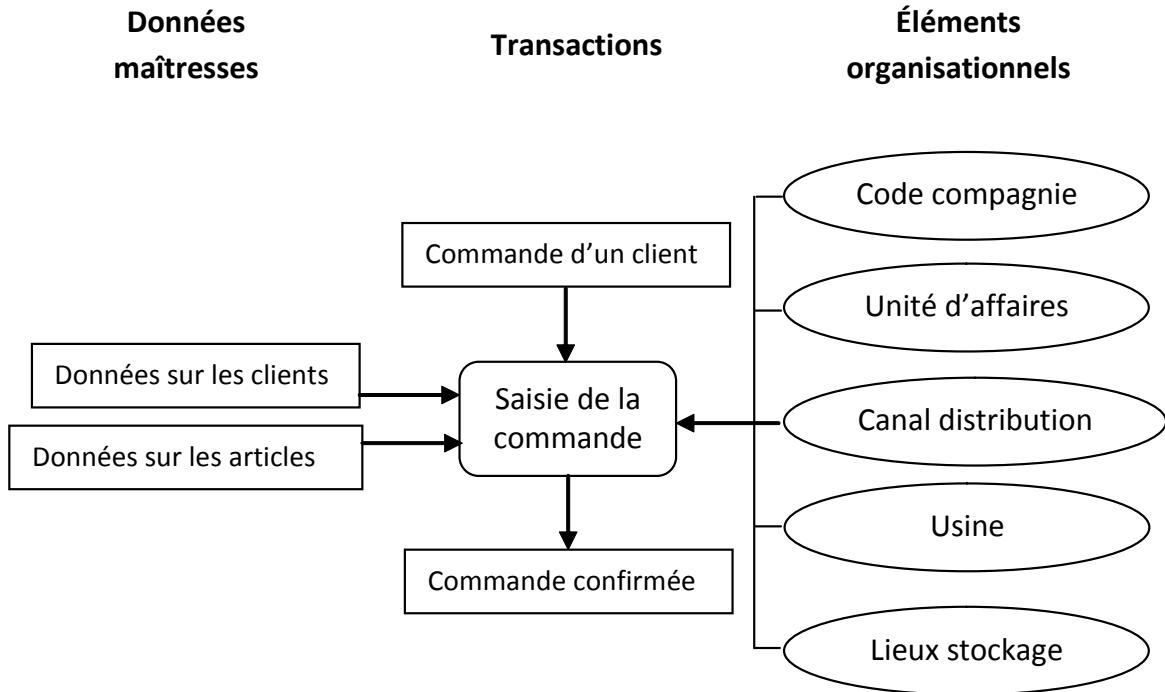


Figure 3.1 Types de données d'un système ERP : exemple d'une transaction.

3.3.3.2 Les données d'un système ERP utiles à un ICV

Au-delà de la distinction des données spécifique à l'ACV présentée au chapitre 1, une distinction supplémentaire dans les données issues d'un système ERP semble incontournable. En effet, un système ERP est structuré autour de deux types de données : les données maîtresses (objets statiques) et les données transactionnelles (objets dynamiques). Cette distinction supplémentaire des données propres aux systèmes ERP pourra être associée à une distinction faite pour l'ACV entre les données d'avant-plan et d'arrière-plan, tel qu'illustré par le tableau 3.3.

Tableau 3.3. Lien entre les données d'ACV et les données d'un système ERP.

Distinction données ACV	Distinction données ERP	Exemple
Données d'avant-plan	Données transactionnelles	Ordres de production
	Données maîtresses	Nomenclature, gamme
Données d'arrière-plan		Processus générique de base de données d'ACV

Comme noté à l'issue de la revue de littérature, très peu a été publié sur comment utiliser le potentiel d'un système ERP de façon empirique. Le tableau 3.4 est proposé comme une première réponse à ce néant en localisant les données de façon générique pour n'importe quel système ERP. Cependant, il est à préciser que les informations comprises dans ce tableau reflètent la version de l'ERP étudiée. Plus de modules ouverts dans le système ERP pourraient donner d'autres possibilités de localisation. Par exemple, il est probable que le module *Environment, Health and Safety* (EHS) puisse contenir des données transactionnelles utiles à la phase ACV de fin de vie ou pour la gestion des rejets.

Tableau 3.4. Types de données d'un système ERP utiles à un ICV selon l'étape d'ACV.

Étape ACV Type de donnée	Approvisionnement	Production	Distribution	Utilisation	Fin de vie	Gestion des rejets
Données transactionnelles	Ordres d'achat + Reçus de marchandises	Ordres de production + Produits finis + Stock de matières premières + Centres de travail	Ordres de vente + Reçus de marchandises			
Données maîtresses	Nomenclature	Nomenclature + Gamme opératoire	Gamme opératoire			

3.3.4 Conclusions sur l'analyse du cas d'étude

De cette analyse, on remarque que les informations contenues dans un système ERP ne sont pas suffisantes pour toutes les phases d'une ACV. Les résultats sont mixtes : presque toutes les données utiles pour la phase de production sont contenues dans le système ERP alors que les données utiles aux autres phases ACV ne le sont, au mieux, que partiellement. Les informations concernant les phases d'approvisionnement et de distribution sont partielles et principalement issues de la nomenclature (BOM), des modules financiers et logistiques du système ERP, alors qu'on ne trouve pratiquement aucune donnée permettant de soutenir la phase de fin de vie.

Cependant, les limitations mentionnées plus haut sur l'utilisation d'un système ERP pour collecter des données d'ICV sont influencées par deux facteurs incontournables : d'une part les spécificités de l'industrie (et du produit) sur lequel porte l'étude, et d'autre part la version du système ERP installée (quels modules sont ouverts). Ces facteurs limitent le potentiel théorique de l'utilité d'un système ERP. Un autre cas d'étude portant sur une entreprise fabriquant un autre produit pourrait bien amener, pour une version semblable du système ERP, à des conclusions différentes. Prenons pour exemple un composant destiné à l'industrie aérospatiale. Il est fortement probable qu'il y est plus de données disponibles pour les phases de distribution et d'utilisation. Pour la phase de fin de vie, les probabilités d'avoir de l'information est encore plus élevée si une régulation législative impose au fabricant la responsabilité de recourir au traitement de fin de vie de son produit.

De l'analyse de ce cas d'étude, on conclue qu'un système ERP peut partiellement contribuer à la collecte de données d'un ICV, dans le sens où seules les données concernant la phase de production y sont entièrement disponibles. Il est donc pertinent d'utiliser un système ERP pour collecter des données d'ICV, mais avec d'autres sources de données.

3.4 Conclusion

Cette étude de cas nous a permis de confirmer a posteriori le fait qu'un système ERP est utile pour supporter la réalisation d'une ACV, en particulier pour l'étape d'ICV. Plus précisément, un système ERP contient pratiquement l'ensemble des données requises à l'ICV de la phase de production. Pour les autres phases, certaines données contenues dans un système ERP peuvent être utilisées, mais elles ne sauraient être suffisantes à elles seules pour couvrir l'ensemble des besoins informationnels d'un ICV. Ensuite, les données d'un système ERP utiles à un ICV ont été présentées. Elles ont aussi été identifiées selon qu'elles soient des données maîtresses ou des données transactionnelles. Le lien avec les données d'ACV (données d'avant-plan et d'arrière-plan) a également été présenté.

Enfin, cette étude de cas nous sert également de base de travail pour concevoir et valider à posteriori une méthodologie qui vise à guider une organisation dans la réalisation d'une ACV supportée par un système ERP. Cette méthodologie sera présentée dans le prochain chapitre.

CHAPITRE 4 : MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE DU CYCLE DE VIE SUPPORTÉE PAR UN SYSTÈME ERP

L'objectif de ce chapitre est de proposer une méthodologie permettant de réaliser une ACV pour une entreprise manufacturière, en tirant au maximum parti des forces d'un système ERP.

Ainsi, une introduction viendra tout d'abord présenter les fondements théoriques de cette méthodologie. Ensuite, la méthodologie sera exposée en détails, en justifiant et en expliquant au préalable le choix du formalisme de présentation. Enfin les principaux points liés à cette méthodologie seront résumés en conclusion de ce chapitre.

4.1 Fondement théorique

L'étude de cas du chapitre précédent a amené à la conclusion qu'un système ERP pouvait contenir pratiquement l'ensemble des données requises à l'ICV de la phase de production. Pour les autres phases, certaines données contenues dans un système ERP peuvent être utilisées, mais elles ne sauraient être suffisantes pour couvrir l'ensemble des besoins informationnels d'un ICV. C'est en tenant compte de ces conclusions que nous proposons une méthodologie permettant de réaliser une ACV en tirant au maximum parti des données disponibles dans un système ERP et des nombreux documents et biens livrables générés dans le cadre de l'implantation du système ERP en question. Pour des raisons de simplicité, nous utiliserons ici la terminologie couramment employée dans le cadre d'une implantation de progiciel SAP, le système ERP le plus répandu dans le monde. Les documents de projets seront ainsi dénotés selon la méthodologie d'implantation ASAP.

La méthodologie proposée repose sur un certain nombre d'hypothèses. La première d'entre elles est qu'il s'agit d'une entreprise manufacturière. La seconde est que l'entreprise dispose d'un système ERP (de type SAP) en place avec au minimum les modules MM, PP et SD ouverts. Ensuite, que toutes les données du système et du projet d'implantation soient consultables par les personnes en charge de réaliser l'ACV. Enfin, le choix des personnes en charge de réaliser l'ACV est délibérément laissé à la discrétion de l'entreprise (responsable environnement, spécialiste en ACV en interne ou consultant externe, ...), puisque la méthodologie se veut être applicable partout et se concentre avant tout sur les processus à suivre, plutôt que de suggérer comment les appliquer.

4.2 Formalisme de modélisation

4.2.1 Choix du formalisme de modélisation

Le choix du formalisme de modélisation de la méthodologie est important, puisqu'il sera la « langue » que devront comprendre les personnes en charge de l'appliquer.

Il existe plusieurs langues de modélisation supportant différents aspects. Dussart et al. (2004) en ont étudié plusieurs (Petri nets, WfMC, UML, ANSI et EPC) dans le cadre de leurs recherches et en présentent brièvement leurs spécificités. Aussi, de nouvelles activités peuvent être expliquées par des arbres fonctionnels et les informations produites ou requises dans un processus par le modèle entité-association (*entity relationship model*) (Kirchmer & Scheer, 2003). Cependant, il paraît important dans notre cas d'avoir recours à un formalisme permettant de répondre à plusieurs critères. Tout d'abord, il doit permettre de représenter les aspects centraux de la réalisation (quelles activités sont nécessaires) et de l'information. Ensuite, la possibilité de représenter les aspects logiciels est également fortement souhaitable. Enfin, le formalisme choisi sera suivi par des personnes issues de

formations hétérogènes. Il devra préférablement être d'une compréhension intuitive, afin de faciliter la collaboration des intervenants.

Le formalisme de modélisation des chaînes de processus orientés vers les évènements (plus connu par son acronyme anglais : *Event-driven Process Chain* – EPC) semble répondre à ces critères. Il permet de décrire la logique d'affaires des processus afin qu'ils puissent être facilement compris et utilisé par les gestionnaires (Dussart et al., 2004). Aussi, il permet de capturer l'ensemble des activités et les évènements qui sous-tendent la réalisation d'un processus d'affaires. De plus, tout le processus y est modélisé en un seul diagramme, qu'il soit traité par un humain ou par une application informatique. Le formalisme EPC a été incorporé dans la plate-forme logicielle ARIS (*Architecture of Integrated Information System*) en 1992 par Keller, Nüttgens et Scheer, et est utilisé par la firme SAP, ce qui a largement contribué à sa diffusion.

La méthodologie proposée se présente donc sous la forme d'une succession de diagrammes de processus, respectant le formalisme de modélisation EPC.

4.2.2 Formalisme de modélisation EPC

La syntaxe et la sémantique du formalisme EPC sont mal définies (Dussart et al., 2004). Pourtant, certaines règles s'appliquent. Le formalisme EPC se présente en trois colonnes. Celle de gauche représente les données, la colonne centrale représente les processus et celle de droite représente les fonctions de l'entreprise impliquées.

Aussi, le formalisme EPC comprend plusieurs niveaux de modélisation. Le premier niveau modélise le processus et le décrit dans son ensemble. Le second niveau « Sous-processus » décrit les événements et activités incluses dans un secteur fonctionnel. Le troisième niveau « tâche » décrit les événements et activités comprises à l'intérieur d'une tâche. La « tâche élémentaire » est le niveau de modélisation le plus bas et décrit une tâche individuelle et

indivisible. Le nombre de niveaux est adapté à la profondeur de morcellement possible des fonctions, mais dépasse rarement quatre niveaux.

Les séquences temporelles et logiques du diagramme sont représentées par des activités (ou fonctions), des événements, des navigateurs et des connecteurs logiques (« ET », « OU »...) reliés par des liens, tel que représenté dans le tableau 4.1. Au niveau du formalisme, tout modèle doit avoir au moins un événement de début et un événement de fin. Dans le modèle, il faut toujours alterner les événements et les fonctions.

Afin de mettre en place la méthodologie proposée, plusieurs étapes ont été nécessaires. Il a d'abord fallu isoler les processus (ou les événements), puis identifier les actions. Par la suite, il faut ordonner les événements et les actions, pour les agencer. Enfin les diagrammes EPC peuvent être dessinés.

Les diagrammes de processus de la méthodologie proposée sont bâtis sur deux niveaux : le premier niveau sert de vue d'ensemble, le second donne le détail de toutes les activités de niveau supérieur. Ils vont à présent être tour à tour illustrés et expliqués en respectant leur séquence logique.

Tableau 4.1. Éléments de formalisme EPC

Éléments	Représentation	Description
Événement		Décrit l'occurrence d'un évènement qui agit à son tour comme élément déclencheur
Activité (fonctions)		Décrit une activité, d'un état initial à un état final
Navigateur		Élément qui raccorde depuis ou vers un autre processus
Information/matériel (systèmes et rapports)		Représente un support physique (ex. papier) ou logique (ex. fichier) nécessaire à la réalisation d'une activité
ET		Tous les liens s'y raccordant doivent être empruntés
OU		Au moins un des liens s'y raccordant doit être emprunté
OU exclusif		Un seul des liens s'y raccordant doit être emprunté
Lien de navigation		Modélise les interdépendances chronologiques des événements, activités et processus
Lien information/matériel		Définit l'information ou le matériel lu, modifié, ou écrit

4.3 Méthodologie de réalisation d'un ACV à l'aide d'un système ERP

Le diagramme de processus de niveau 1 (figure 4.1) décrit dans son ensemble la méthodologie proposée de réalisation d'un ACV à l'aide d'un système ERP. Il se décompose en dix sous-processus (niveau 2) que nous allons à présent détailler, en respectant leur séquence logique. Chaque sous-processus doit être complété pour passer au suivant.

4.3.1 Sous-processus 1 : Comprendre les activités de l'entreprise

Le premier sous-processus intitulé « Comprendre les activités de l'entreprise » (illustré à la figure 4.2) se décompose en cinq activités. Celles-ci visent trois objectifs :

- familiariser les auteurs de l'ACV avec les procédés de l'entreprise dans laquelle l'étude est réalisée ;
- préparer l'étape d'ACV « Définition des objectifs et du champ de l'étude» (sous-processus 2);
- recueillir les informations nécessaires à la modélisation des frontières du système dans le logiciel d'ACV (sous-processus 3).

Une partie conséquente des informations nécessaires à la réalisation de ces objectifs peut être obtenue en analysant la chaîne logistique amont et aval du produit. On propose dans un premier temps de rassembler de la documentation permettant de comprendre le contexte spécifique de l'entreprise étudiée (activité 1.1) et de les analyser (activité 1.2). Une deuxième itération se penchera spécifiquement sur le produit à l'étude ainsi que les différents processus liés à sa production (activité 1.3). A leur tour, ces documents seront analysés (activité 1.4). L'auteur de l'étude sera ainsi en mesure de dessiner un diagramme de flux de processus (activité 1.5) ou de l'avoir à disposition, si un tel document existe déjà. La réalisation du diagramme de flux de processus pourra être grandement aidée par la gamme du système ERP. Une fois toutes ces activités terminées, on est prêt à passer à la première étape d'une ACV visant à définir les objectifs et le champ de l'étude, qui sera l'objet du sous-processus suivant.

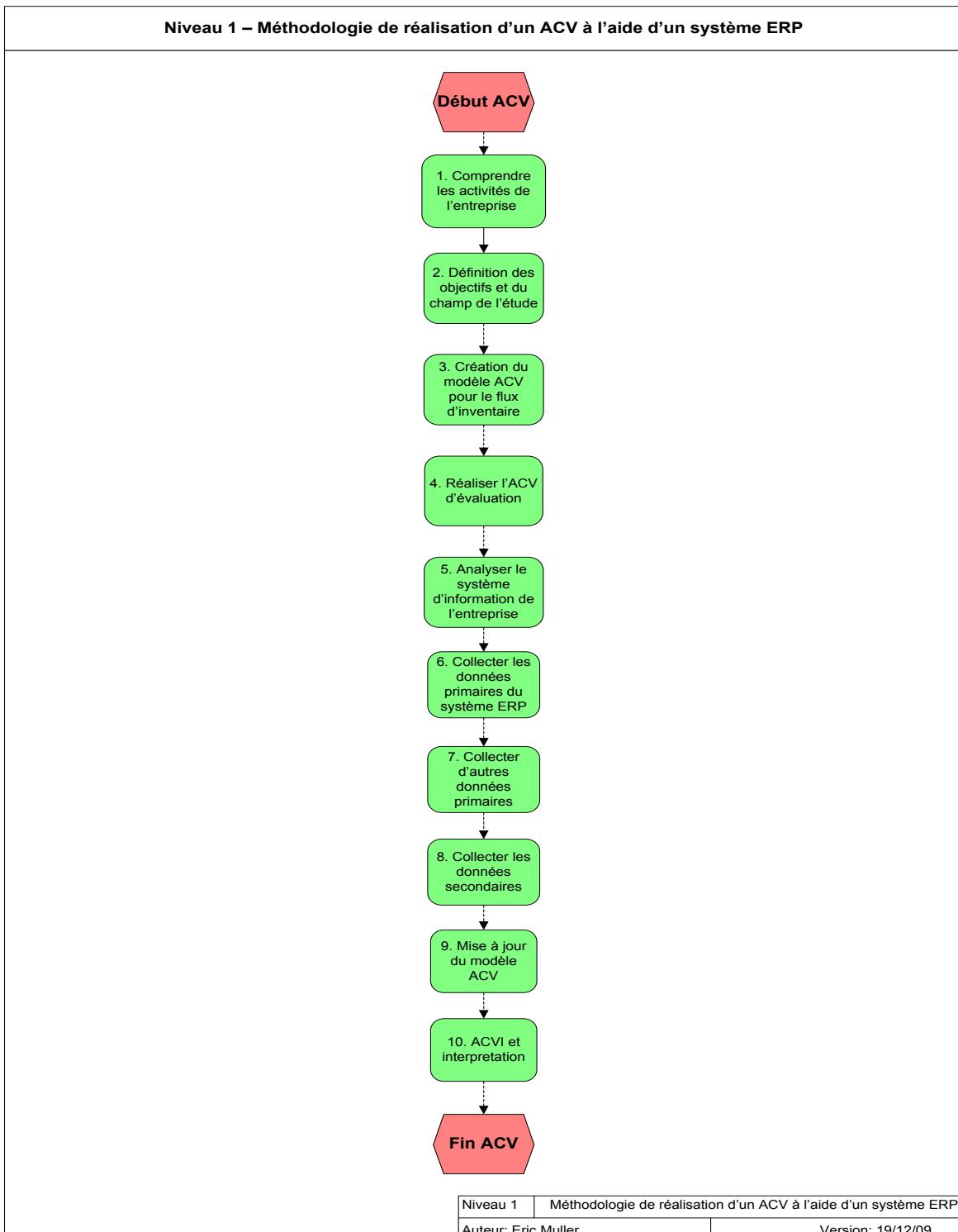


Figure 4.1. Niveau 1 – Diagramme général de la méthodologie

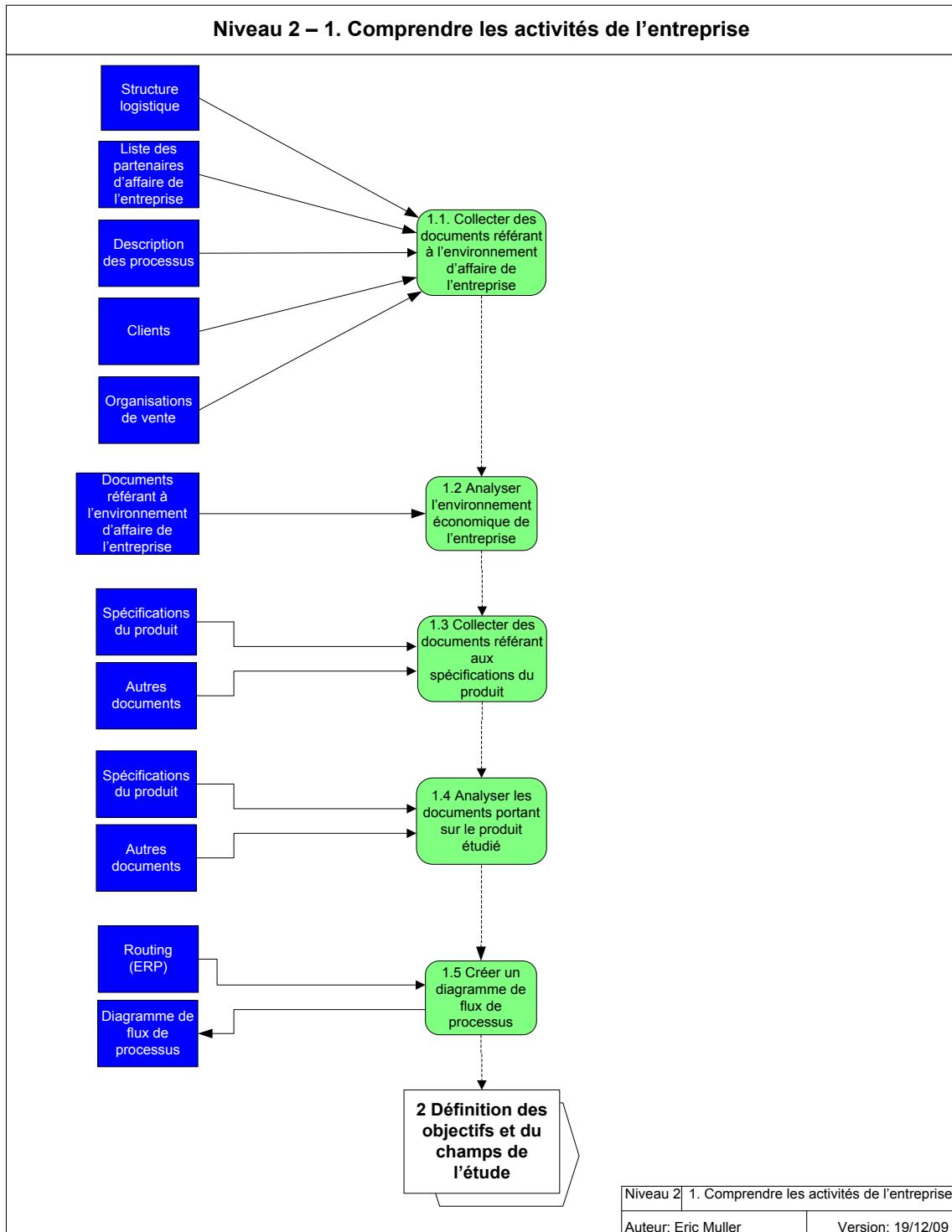


Figure 4.2. Niveau 2, 1 : Comprendre les activités de l'entreprise

4.3.2 Sous-processus 2 : Définition des objectifs et du champ de l'étude

Le second sous-processus intitulé « Définition des objectifs et du champ de l'étude » (illustré à la figure 4.3) se décompose en deux activités. Il s'agit de la première étape d'une ACV dont les objectifs sont détaillés au chapitre 1 de ce mémoire.

L'activité 2.1 qui vise à définir l'UF est suivie de la définition des frontières du système (activité 2.2). Il s'agit essentiellement ici d'une étape de préparation.

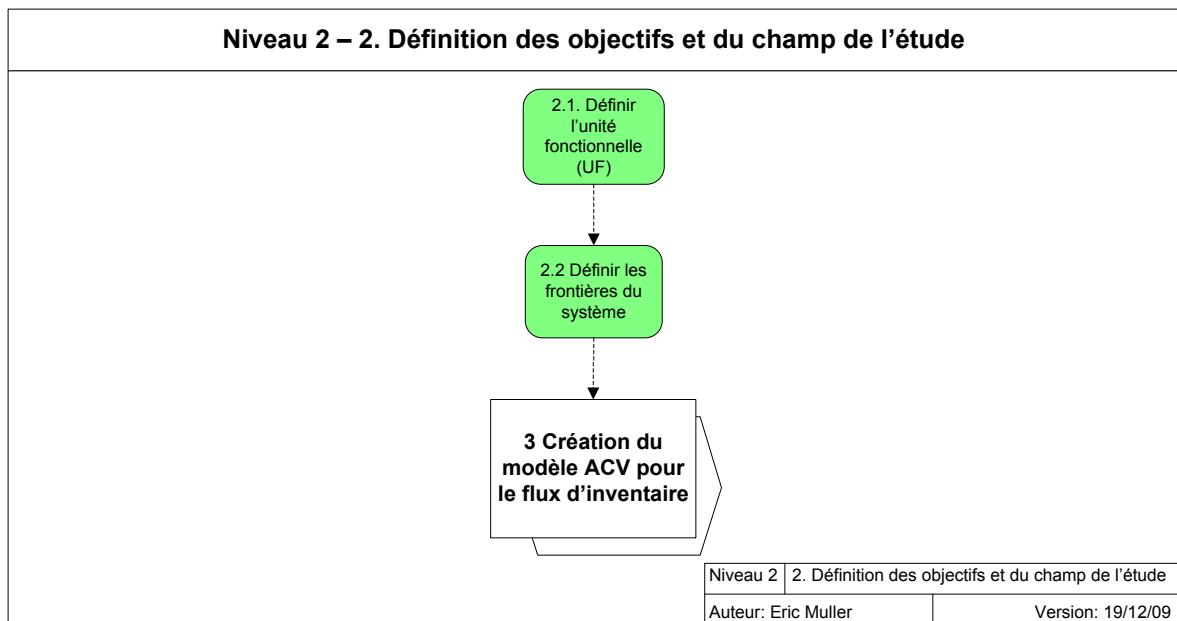


Figure 4.3. Niveau 2, 2 : Définition des objectifs et du champ de l'étude

4.3.3 Sous-processus 3 : Crédation du modèle ACV pour le flux d'inventaire

Le troisième sous-processus intitulé « Crédation du modèle ACV pour le flux d'inventaire » (illustré à la figure 4.4) se décompose en sept activités. Celles-ci ont pour but principal de

créer un espace de travail pour réaliser la première ACV dite « d'évaluation », objet du sous-processus suivant.

Le modèle ACV de flux d'inventaire est créée dans le logiciel d'ACV en découplant les différentes phases d'ACV (production, distribution...) en autant d'activités (activités 3.1 à 3.6). Pour chaque activité, le diagramme de flux de processus (créé à l'activité 1.5) servira de document de support à la modélisation du système.

Lors de l'activité 3.7, le responsable de l'étude vérifiera que de modèle créé est représentatif du contexte de l'entreprise et correspond bien aux frontières du système définies à l'activité 2.1. Si tel ne devait pas être le cas, il s'agit de déterminer quelle sous-partie du modèle n'est pas correctement modélisée, puis de la corriger et de vérifier à nouveau que l'ensemble du modèle soit cohérent.

4.3.4 Sous-processus 4 : Réaliser l'ACV

Le quatrième sous-processus intitulé « Réaliser l'ACV d'évaluation » (illustré à la figure 4.5) se décompose en six activités. On passera dans ce sous-processus par les étapes d'ACV de LCIA et d'interprétation dans le but d'obtenir des ordres de grandeur et d'identifier les « points chauds » sur les différentes étapes d'ACV. Tout cela dans l'optique de réaliser l'inventaire avec le plus d'efficacité possible.

L'activité 4.1 consiste à créer un fichier « dictionnaire de données ». Idéalement créée sous un logiciel de type tableur, ce document d'une importance capitale servira tout au long de l'ICV à définir précisément quelles données il est nécessaire de collecter et à synthétiser les données recueillies et toute information afférente (par exemple: leur sources, leur mode de collecte, etc.). Ce document sera mis à jour régulièrement au cours des différents sous-processus de l'ICV qui suivront. De plus, il permettra à l'auteur de l'ACV de dresser le bilan précis de l'avancement de la collecte des données.

L'activité 4.2 consiste dans un premier temps à remplir le dictionnaire de données afin qu'il reflète les données qu'il est nécessaire de recueillir au cours de l'ICV. Les rubriques de ce

fichier devront couvrir l'ensemble du système à l'étude, selon les frontières définies à l'activité 2.1. Cette activité sera terminée lorsque tous les espaces nécessaires à la saisie des données à collecter seront créés.

Il s'agit ensuite de chercher des données secondaires dans des bases de données génériques (activité 4.3). Les données recueillies seront saisies dans le dictionnaire de données et le modèle dans le logiciel d'ACV en les mettant à l'échelle (activité 4.4), c'est-à-dire en les exprimant en quantités nécessaires pour satisfaire/réaliser l'UF définie à l'activité 2.2. Une fois fait, la personne en charge de conduire l'ACV pourra alors passer à la phase d'ACVI en faisant tourner la simulation une première fois (activité 4.5). Ensuite, la phase d'interprétation (activité 4.6) servira à déterminer à partir du résultat de la simulation préliminaire quels sont les « points chauds » et donc où il est souhaitable de fournir des efforts plus poussés pour la collecte de donnée.

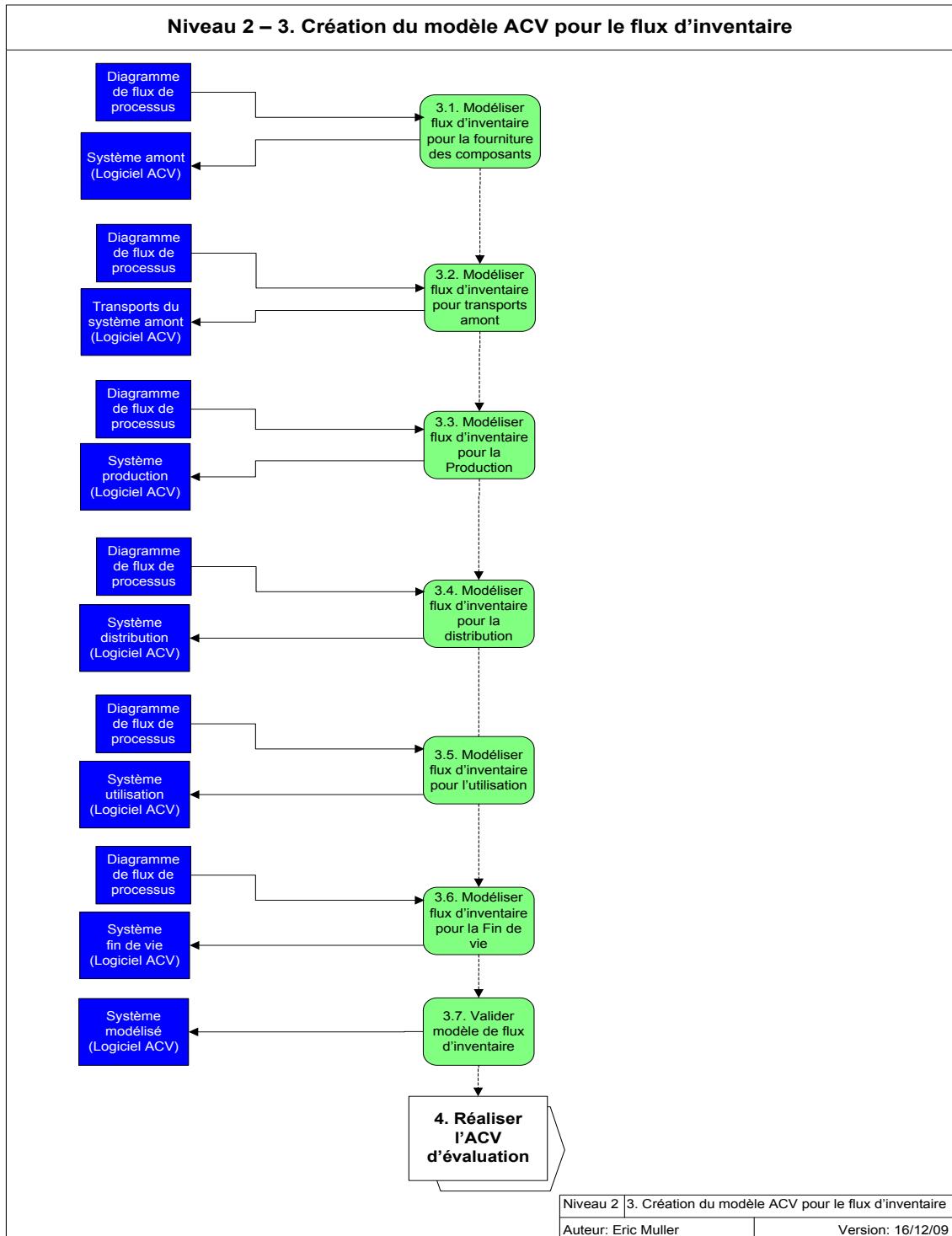


Figure 4.4. Niveau 2, 3 : Crédation du modèle ACV pour le flux d'inventaire

4.3.5 Sous-processus 5 : Analyser le système d'information de l'entreprise

Le cinquième sous-processus intitulé « Analyser le système d'information de l'entreprise » (illustré à la figure 4.6) se décompose en quatre activités. Celles-ci visent à comprendre les divers SI en place et quelles données on peut y trouver, toujours dans le but de réaliser l'inventaire avec le plus d'efficacité possible. Il marque aussi le dernier sous-processus préparatif au passage l'ICV.

Dans un premier temps, il s'agit de déterminer l'architecture actuelle des SI (activité 5.1) et leur utilisation respective. Pour notre méthodologie, nous posons l'hypothèse que l'entreprise possède un système ERP fonctionnel. Il s'agira alors de déterminer quelles sont les informations couvertes par le système ERP (activité 4.2). Ceci peut être réalisé en consultant la liste de synthèse des processus d'affaire (*Business Process Master List – BPML*), générée lors du processus d'implantation du système ERP en question, qui liste toutes les transactions couvertes par le système ERP, cependant à un niveau d'abstraction élevé.

De même pour les autres SI, il faudra déterminer quelles sont les informations couvertes (activité 5.3). D'une manière générale, ces informations sont contenues dans la documentation générale des logiciels. Au besoin, les documents de formation constituent une piste intéressante pour comprendre dans le détail les processus couverts par ces SI. Si l'entreprise a développé un logiciel en interne, les documents de conception sont une source d'information qui devrait permettre de bien comprendre les fonctionnalités couvertes.

Avec ces informations, l'auteur de l'ICV pourra mettre à jour le fichier « dictionnaire de données » (activité 5.4) en y incluant pour chaque donnée à collecter sa localisation la plus probable dans l'architecture des SI en place.

Ainsi préparé, on peut passer aux différents sous-processus de collecte de données.

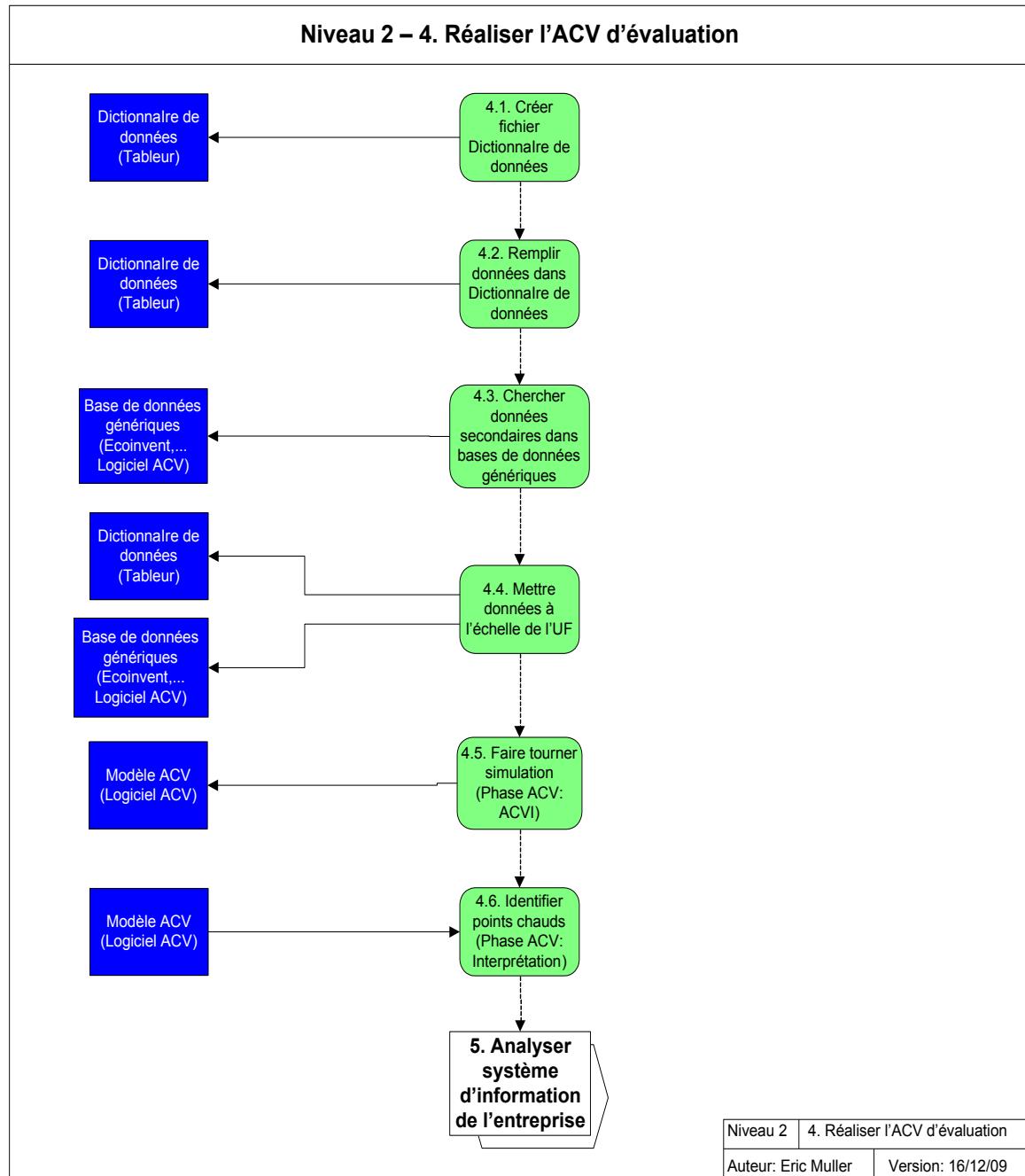


Figure 4.5. Niveau 2, 4 : Réaliser l'ACV d'évaluation

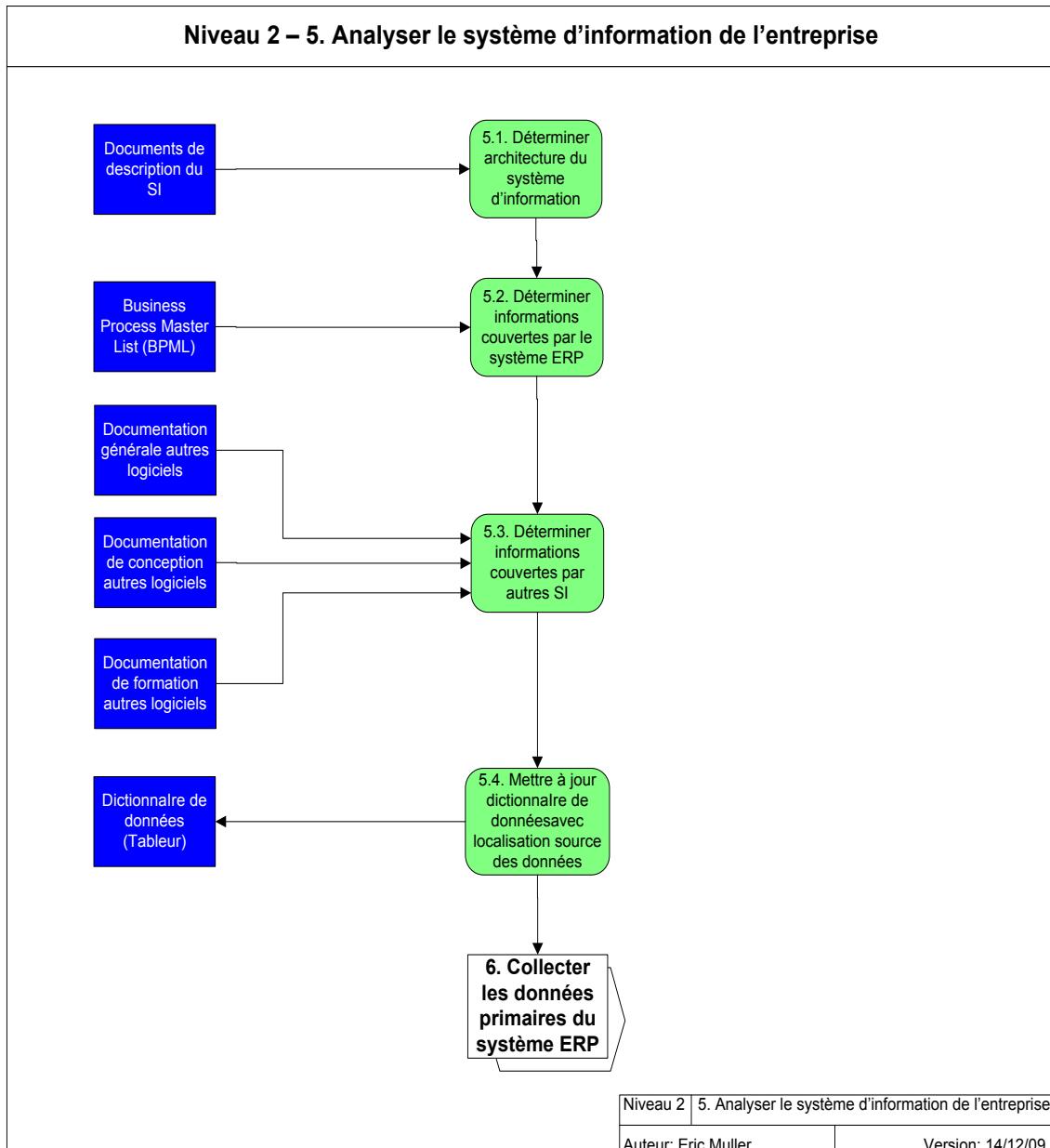


Figure 4.6. Niveau 2, 5 : Analyser le système d'information de l'entreprise

4.3.6 Sous-processus 6 : Collecter les données primaires du système ERP

Le sixième sous-processus est intitulé « Collecter les données primaires du système ERP » et est illustré à la figure 4.7. Il marque le début d'une série de trois sous-processus durant lesquels l'ICV sera réalisé. Ce sous-processus central de cette méthodologie est organisé en cinq activités qui visent à extraire le maximum de données pertinentes du système ERP.

Avant de débuter la collecte de données, il s'agit d'avoir à disposition tous les documents « procédures des processus d'affaire » (*Business Process Procedure – BPP*) disponibles (activité 6.1). Les BPP sont le pendent au BPML, et offrent une description détaillée des transactions supportées. Ils servent à la fois de document de formation et document technique pour l'implantation d'un système ERP. L'étude des BPP permettra de déterminer l'information pertinente contenue dans les différents modules du système ERP pour l'extraire de façon ciblée.

Suivent trois activités de collecte de données, suivant les étapes d'une ACV. Nous ne représenterons ici que les étapes d'acquisition des matières premières (activité 6.2), de production (activité 6.3) et de distribution (activité 6.4), puisqu'il a été déterminé dans le chapitre précédent que seuls des données couvrant ces étapes sont susceptibles d'être contenues dans un système ERP. Il faudra compléter ces trois activités avant de passer à l'activité 6.5 qui clôture ce sous-processus.

Les activités 6.2 à 6.4 sont organisées selon une séquence logique identique de trois tâches.

Cette séquence se présente ainsi :

- Consultation des BPP de l'étape ACV en question ;
- Collecte de données transactionnelles (pour l'étape ACV en question) ;
- Vérification du besoin de collecte de données supplémentaires :
 - Si oui, on recueillera les données maitresses ;
 - Si non, on passera à l'activité suivante.

On préfèrera les données transactionnelles aux données maitresses, afin d'avoir la donnée qui reflète au plus près les processus de l'entreprise.

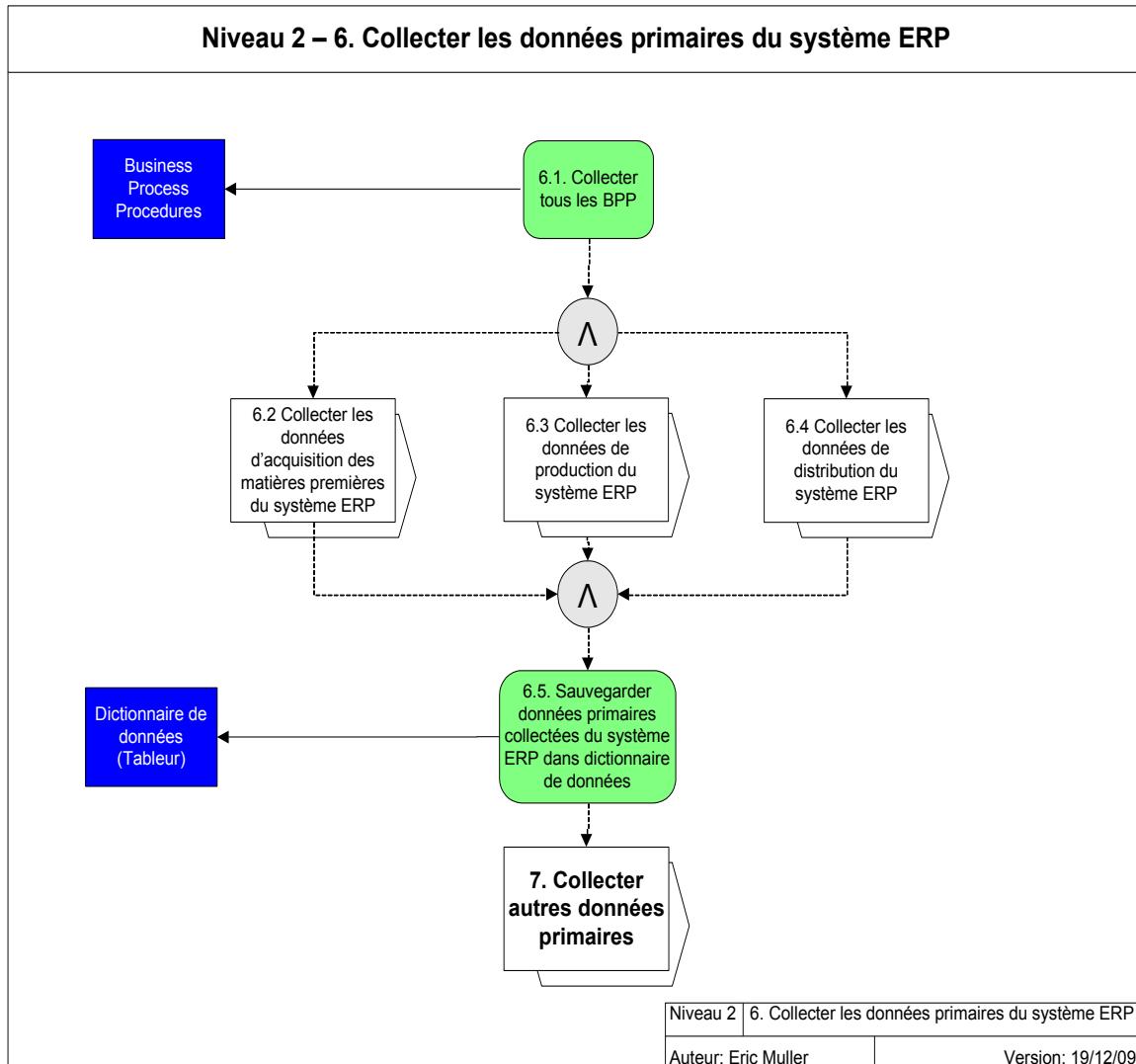


Figure 4.7. Niveau 2, 6 : Collecter les données primaires du système ERP

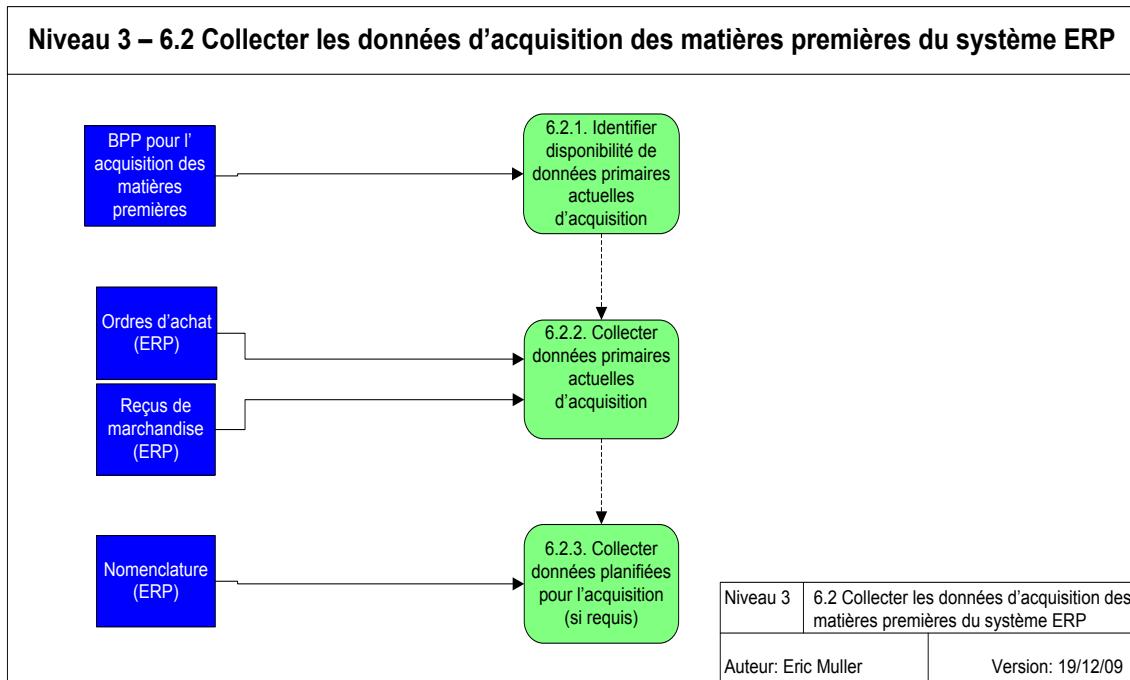


Figure 4.8. Niveau 3, 6.2 : Collecter les données d'acquisition des matières premières du système ERP

Chacune de ces activités sera à présent détaillée. Commençons d'abord par l'activité 6.2 intitulée « Collecter du système ERP les données d'acquisition des matières premières » qui est illustrée à la figure 4.8. La première tâche est de consulter les BPP pertinents (tâche 6.2.1). On passera ensuite à la collecte de données transactionnelles (tâche 6.2.2). Celles-ci sont potentiellement disponibles dans les ordres d'achat ou dans les réceptions de matériel et contiennent, entre autres, les adresses des partenaires d'affaire de la chaîne logistique amont à la production. Une fois cette activité terminée, on évaluera s'il est nécessaire de recueillir des données supplémentaires. Si oui, on passera à la collecte des données maîtresses (tâche 6.2.3) qu'on pourra trouver dans la nomenclature (BOM).

Ensuite l'activité 6.3 intitulée « Collecter du système ERP les données de production » est illustrée à la figure 4.9. Ce sont les données de cette activité qu'un système ERP est à même de couvrir de façon la plus exhaustive. La première tâche est de consulter les BPP en

rapport aux processus de production (tâche 6.3.1). On passera ensuite à la collecte de données transactionnelles (tâche 6.3.2) qui sont potentiellement disponibles dans les centres de travail, les matières premières consommées, les ordres de production ou encore dans les produits finis. Une fois cette activité terminée, à nouveau, on évaluera s'il est nécessaire de recueillir des données supplémentaires. Si oui, on passera à la collecte des données maîtresses de production (tâche 6.2.3) qu'on pourra trouver dans la nomenclature ou la *gamme*³.

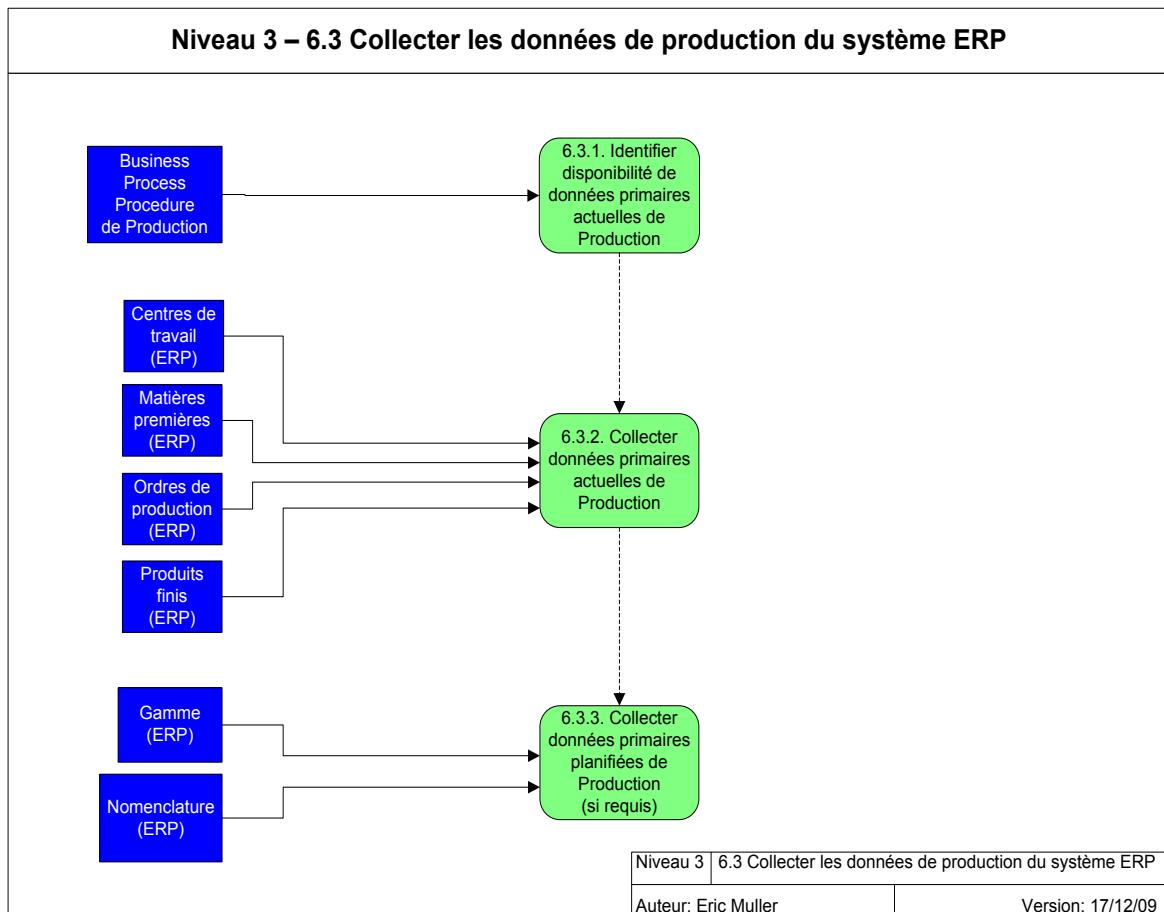


Figure 4.9. Niveau 3, 6.3 : Collecter les données de production du système ERP

³ Une gamme se définit comme une ou plusieurs séquences d'opérations de production utilisé pour fabriquer des matériaux ou fournir des services dans l'industrie manufacturière.

Enfin, l'activité 6.4 intitulée « Collecter du système ERP les données de distribution » est illustrée à la figure 4.10. La première tâche est de consulter les BPP en rapport aux processus de distribution (tâche 6.4.1). On passera ensuite à la collecte de données transactionnelles (tâche 6.4.2) qui sont potentiellement disponibles dans les ordres de vente ou dans les « Goods issue ». Les ordres de vente contiennent, entre autres, les adresses des partenaires d'affaire de la chaîne logistique aval à la production en plus des quantités vendues, ce qui permettra de calculer les impacts environnementaux dus aux transports d'une façon bien plus fine que lorsqu'on émet une hypothèse sur la distance moyenne du lieu de production au lieu de vente. Les « *Goods issue* » renseignent des réductions du stock de l'entrepôt dus à des livraisons aux clients. S'il s'avère nécessaire de recueillir des données supplémentaires, on passera à la collecte des données maîtresses (tâche 6.4.3) qu'on pourra trouver dans la gamme.

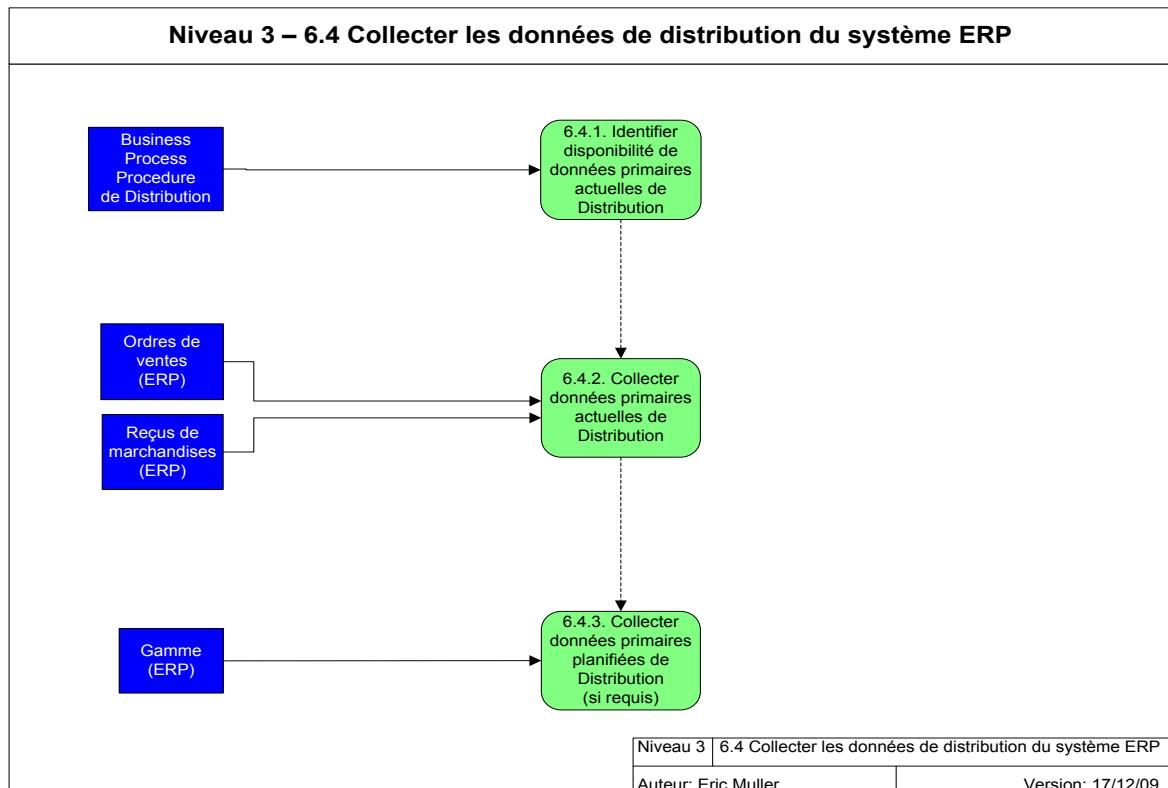


Figure 4.10. Niveau 3, 6.4 : Collecter les données de distribution du système ERP

Le système ERP ne peut potentiellement contenir que très peu de données pour les étapes d'ACV suivantes d'utilisation et de fin de vie. On peut tout au plus y trouver des données sur la quantité de déchet générée pour la collection de données transactionnelles de fin de vie.

Le sous-processus 6 s'achève en sauvegardant les données ainsi collectées aux endroits prévus du fichier « dictionnaire de données » (activité 6.5). Ceci permettra aussi de dresser un premier bilan des données collectées et qui restent encore à recueillir.

4.3.7 Sous-processus 7 : Collecter d'autres données primaires

Le septième sous-processus est intitulé « Collecter d'autres données primaires» et est illustré à la figure 4.11. Son but est de collecter des données ayant trait au contexte particulier de l'entreprise des autres sources d'information disponibles.

Ce sous-processus est organisé en trois activités qui visent dans un premier temps à extraire les données pertinentes des autres SI (activité 7.1), Une fois fait, on les sauvegarde en précisant leur source dans le fichier « dictionnaire de données » (activité 7.2), pour enfin déterminer quelles données secondaires il faudra collecter lors du sous-processus suivant (activité 7.3) à partir de ce même fichier.

Ce sous-processus est volontairement généraliste puisque chaque entreprise est susceptible d'avoir un SI différent. Cependant, cela ne réduit en rien son importance dans la collecte de données.

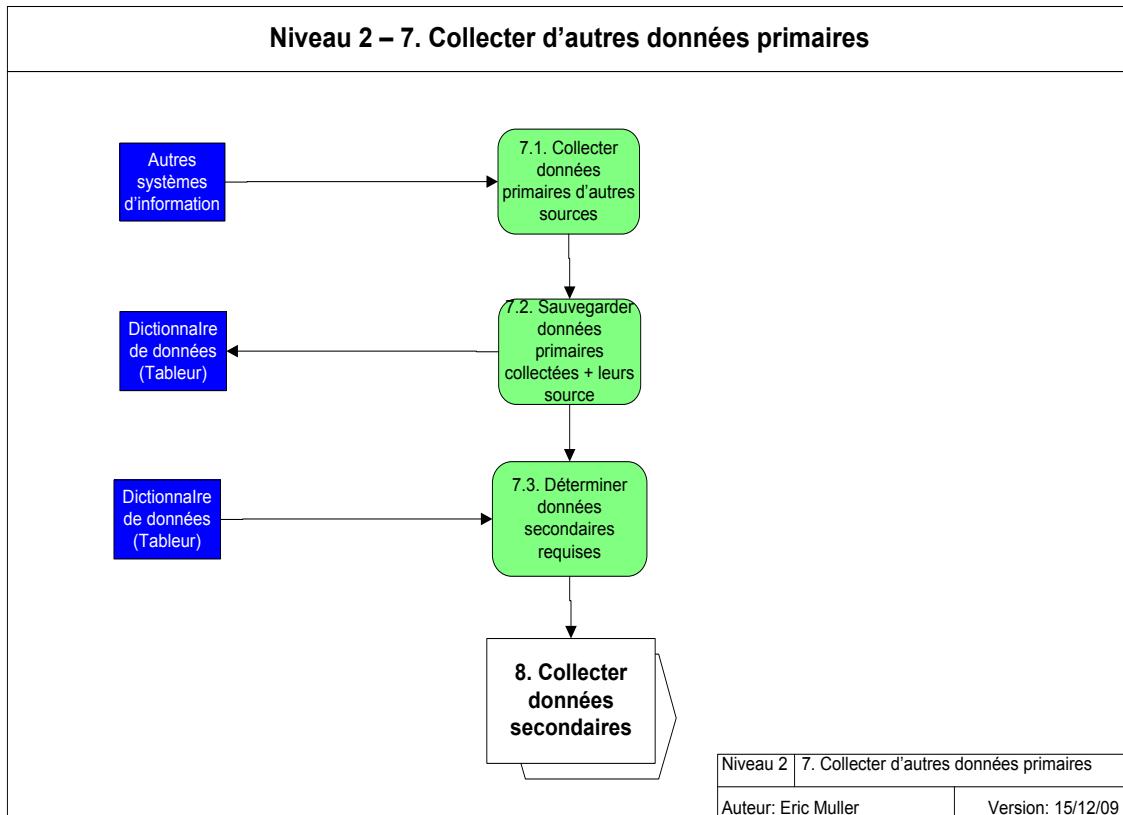


Figure 4.11. Niveau 2, 7 : Collecter d'autres données primaires

4.3.8 Sous-processus 8 : Collecter les données secondaires

Le huitième sous-processus est intitulé « Collecter les données secondaires » et est illustré à la figure 4.12. Comme décrit plus avant dans ce mémoire, les données secondaires ne reflètent pas précisément le contexte particulier de l'entreprise, mais devraient idéalement s'en rapprocher le plus possible, selon leur disponibilité et la charge de travail que représente leur collecte. Ce sous-processus est le dernier lié à l'ICV.

Il s'agit dans un premier temps de rechercher et de collecter les données secondaires des différentes sources potentielles (activité 8.1). Ces données peuvent être extraites de sources publiques, privées ou internes. Dans le domaine public, les différentes agences

gouvernementales publient de nombreuses statistiques qui peuvent s'avérer utiles (notamment pour le traitement des déchets en fin de vie). Les journaux académiques, les livres de référence, les journaux et la presse spécialisée peuvent également s'avérer des sources d'information intéressantes, de même que les rapports annuels d'entreprises œuvrant dans le même secteur. Les données secondaires peuvent également provenir de sources privées, comme les bases de données génériques d'ACV (*ecoinvent...* etc). Enfin, les sources internes concernent les ACV réalisées par le passé et portant sur des produits similaires pourraient contenir des données utiles, notamment en ce qui a trait aux processus de support (chauffage, consommation d'eau ou d'énergie pour le chauffage de la partie réservée à la production dans une usine). Il faut cependant être prudent dans l'utilisation de ces données en veillant bien à ce qu'elles correspondent aux critères de qualité requis lors de sous-processus 2 : on pourra par exemple évaluer la fiabilité, la complétude, les corrélations temporelles, géographiques et technologiques pour chaque donnée.

Une fois les données collectées, il s'agit de les sauvegarder dans le fichier « dictionnaire de données », en précisant leurs sources (activité 8.2). Si après examen du fichier « dictionnaire de données », il devait s'avérer que certaines données n'étaient pas disponibles de sources primaire ou secondaire, on aurait recours au jugement d'expert (activité 8.3). La donnée manquante serait remplacée par l'hypothèse la plus probable (activité 8.4). Afin de limiter l'incertitude engendrée par une hypothèse, des études de contribution et de sensibilité peuvent être entreprises.

Potentiellement fastidieux, ce sous processus n'en est non moins important. En effet, des efforts fournis lors de la recherche de données les plus représentatives possibles dépendront la qualité et le degré d'exactitude de l'ACV.

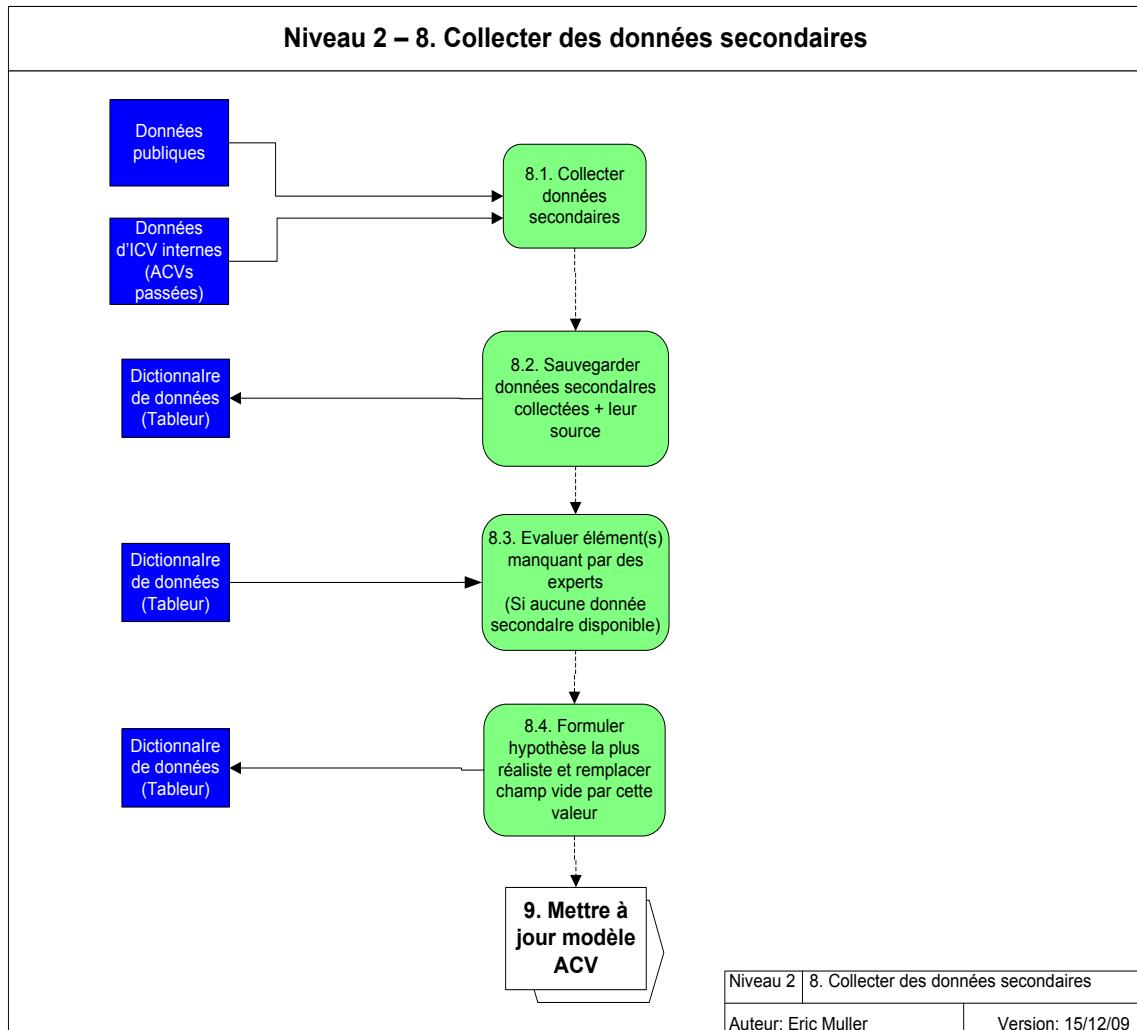


Figure 4.12. Niveau 2, 8 : Collecter des données secondaires

4.3.9 Sous-processus 9 : Mise à jour du modèle ACV

Le neuvième et dernier sous-processus est intitulé « Mise à jour du modèle ACV » (figure 4.13). Son objectif est de transférer toutes les données collectées au cours de l’ICV pour poursuivre et terminer l’ACV.

Ce sous-processus est organisé en deux activités. La première consiste à transférer les données du fichier « dictionnaire de données » vers le modèle ACV (activité 9.1). Ensuite, il s'agira de vérifier si les données saisies dans le modèle sont vraisemblables, c'est-à-dire s'il n'y a pas de contradiction (entre les flux d'entrée et de sortie d'un processus par exemple) (activité 9.2). Deux issues sont alors possibles :

- D'une part, s'il s'avérait qu'il n'y a pas de contradiction, la phase d'ICV serait terminée et on passerait à la phase suivante d'ACVI.
- D'autre part, s'il s'avérait y avoir une(des) contradiction(s), après les avoir repéré, il faudrait retourner au processus 6 pour vérifier si dans un premier temps des données primaires sont disponibles dans le système ERP (activités 6.2 à 6.4). On suivra alors la méthodologie jusqu'à trouver une donnée satisfaisante.

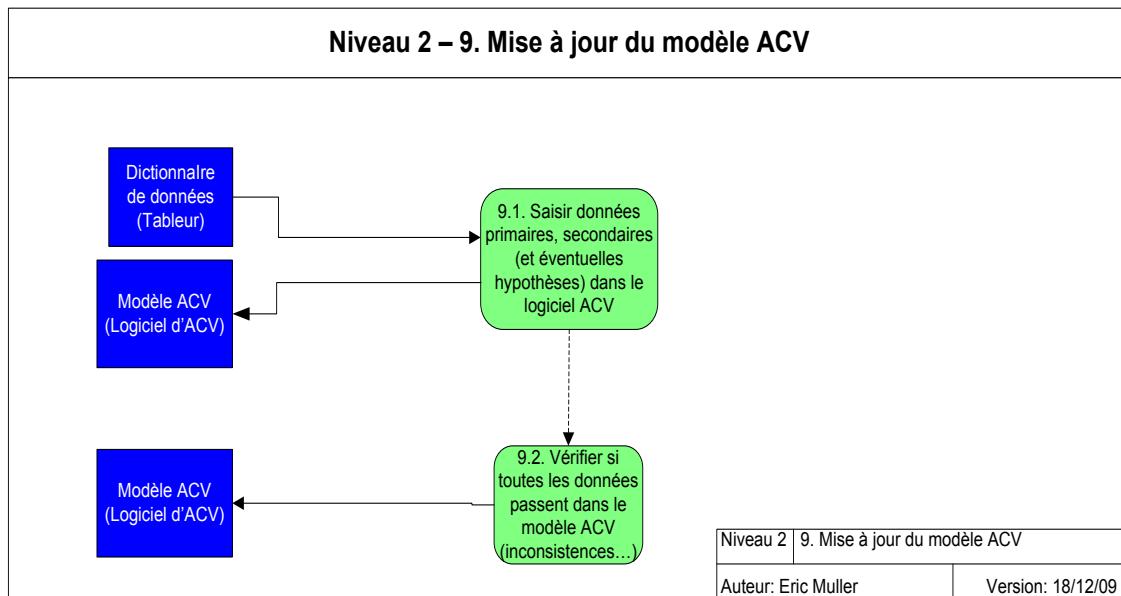


Figure 4.13. Niveau 2, 9 : Mise à jour du modèle ACV

4.3.10 Sous-processus 10 : ACVI et interprétation

Le dixième et dernier sous-processus est intitulé « ACVI et interprétation» (Figure 4.14). Son objectif est de d'étudier les données collectées au cours de l'ICV pour en tirer des enseignements.

Comme son titre le laisse supposer, ce sous-processus est organisé en deux activités. La première consiste à réaliser l'ACVI (activité 10.1) pour pouvoir ensuite passer à l'étape d'interprétation (activité 10.2). Optionnellement, on a la possibilité d'emprunter une boucle de rétroaction pour repartir aux sous-processus de collecte de données (sous-processus 6, 7 et 8). Ces activités sont des étapes classiques en ACV et ont été détaillé au chapitre 1 du mémoire.

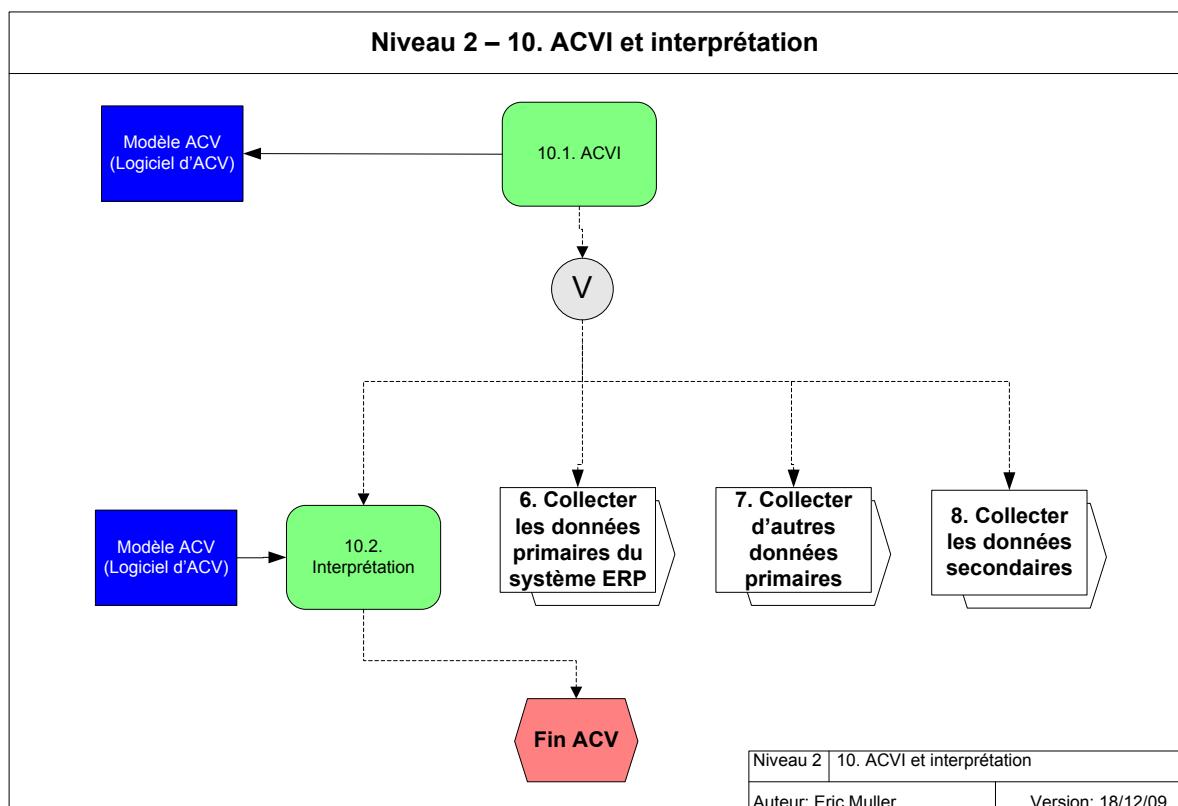


Figure 4.14. Niveau 2, 10 : ACVI et interprétation

4.4 Conclusion

Les systèmes ERP sont devenus incontournables dans les grandes entreprises et sont de plus en plus prisés par les entreprises de taille moyenne (AMR Research, 2007). Au cours de ce chapitre, une méthodologie générique permettant de réaliser une ACV en tirant au maximum parti d'un système ERP a été présentée. D'un point de vue pragmatique, cette méthodologie vise à faciliter la réalisation d'une ACV en tirant parti de la capacité qu'offrent les systèmes ERP à collecter rapidement de l'information fiable.

Cette méthodologie répondra donc aux besoins des entreprises manufacturières qui souhaitent réaliser une ACV avec le plus d'efficacité possible, et vient répondre à un effort de recherche dans l'opérationnalisation de l'ACV, tel que souligné par Hunkeler & Rebitzer en 2005.

CONCLUSION

L'hypothèse de recherche à laquelle ce mémoire se proposait de répondre était de définir comment l'utilisation d'un système ERP peut contribuer à soutenir la réalisation d'une ACV. La réponse apportée se décline en répondant aux divers objectifs de cette recherche, que nous allons à présent reprendre un après l'autre.

Cette recherche visait tout d'abord à présenter l'ACV dans ses grandes lignes. On remarque que la disponibilité et la qualité des données est une difficulté majeure et récurrente en ACV à laquelle aucune solution satisfaisante n'a encore été apportée.

Ensuite, cette recherche s'attachait à dresser l'état de l'art de la recherche sur l'intégration entre les systèmes ERP et les logiciels d'ACV. Les différentes approches actuelles ont été développées puis une discussion révèle leurs limitations. Celles-ci sont de plusieurs ordres. Chaque auteur développe une méthodologie d'intégration propre avec un prototype logiciel développé pour le cas d'étude, ce qui limite la généralisation des résultats ainsi que la possibilité de transfert des solutions. Aussi, peu d'information est disponible quant à la configuration du SI utilisée pour la réalisation des diverses études. De plus, malgré le fait que ces études soient relativement récentes (la plus ancienne à notre connaissance date de 2001, Januschkowetz), le réexamen des conclusions des études réalisées il y a quelques années est pertinent et compte tenu des avancées rapides dans le domaine de l'informatique.

Ces limitations sont principalement dues au fait que ces recherches proposent des solutions à des cas particuliers, certes intéressantes, mais sans pour autant s'attaquer de façon générique au cœur du problème de la facilitation de la recherche et de la mise à disposition des données nécessaires à une ACV. Aussi, une attention particulière devra être portée sur les efforts à mettre en œuvre par rapport aux bénéfices que l'on peut en retirer. Enfin, mis à part Koffler et al. (2008) et Januschkowetz (2001), on constate que ces recherches se concentrent surtout sur les aspects logiciels plutôt que méthodologiques.

Un objectif de recherche majeur est de réexaminer la validité présente des conclusions des études précédentes en ce qui concerne la pertinence de l'utilisation d'un système ERP pour supporter une ACV. Ceci passe par déterminer dans quelle mesure un système ERP peut aujourd'hui soutenir la réalisation d'une ACV. Une réponse nuancée a été apportée par l'étude de cas d'une entreprise manufacturière. Elle nous a permis de confirmer a posteriori le fait qu'un système ERP est utile pour supporter la réalisation d'une ACV, en particulier pour l'étape d'ICV. Plus précisément, un système ERP contient pratiquement l'ensemble des données requises à l'ICV de la phase de production. Cependant, pour les autres phases, certaines données contenues dans un système ERP peuvent être utilisées, mais elles ne seraient pas suffisantes à elles seules pour couvrir l'ensemble des besoins informationnels d'un ICV : d'autres sources d'information sont nécessaires. Notre résultat est par conséquent en ligne avec les conclusions des études précédentes, et permet de confirmer de façon nuancée l'hypothèse de recherche.

Aussi, cette recherche a identifié de façon générique à tout système ERP les données utiles à un ICV et les a présenté en fonction de l'étape ACV (tableau 3.4), répondant ainsi à un manque des recherches précédentes. De plus, cette recherche a établi un lien entre les données d'ACV et les données des systèmes ERP (tableau 3.3).

Enfin, cette recherche est complétée en formulant une proposition d'implémentation empirique. Celle-ci prend la forme d'une méthodologie applicable de façon générique qui vise à guider une organisation dans la réalisation d'une ACV supportée par un système ERP. D'un point de vue pragmatique, cette méthodologie vise à faciliter la réalisation d'une ACV en tirant au maximum parti de la capacité qu'offrent les systèmes ERP à collecter rapidement de l'information fiable. Cette méthodologie suit le formalisme EPC pour en faciliter sa compréhension par des spécialistes des systèmes ERP aussi bien que par des novices. Elle répond donc aux besoins des entreprises manufacturières qui souhaitent réaliser une ACV avec le plus d'efficacité possible.

Cependant, cette recherche recèle aussi des limitations qui sont autant de pistes pour mener de futures recherches:

- L'étude de cas porte sur un contexte particulier. Il serait intéressant de poursuivre des recherches sur d'autres produits manufacturés n'ayant pas de lien direct avec celui étudié, afin de vérifier la convertibilité des conclusions émises à d'autres industries.
- Il serait également intéressant de vérifier si ces résultats sont généralisables à d'autres configurations de système ERP et d'en vérifier les incidences d'un point de vue ACV.
- Nous avons constaté au cours de la revue de littérature que plusieurs techniques et méthodes coexistent pour communiquer des données entre différents logiciels (approche par interface, par intégration, et approche hybride). Leur étude aussi bien d'un point de vue de l'architecture logicielle que d'un point de vue de leur capacité à être implémentée dans la pratique serait souhaitable pour déterminer le moyen le plus efficace de récupérer l'information environnementale pertinente pour un ICV.
- Aussi, nous nous sommes concentrés dans ce mémoire sur l'étude d'un système ERP. Il serait intéressant de vérifier si d'autres applications généralement utilisées par les entreprises manufacturières telles que les *Manufacturing Execution System* ou encore les PLM (la liste n'est pas exhaustive) apporteraient des contributions à la réalisation d'une ACV, et si oui, dans quelle mesure. A cet égard, il paraît intéressant de vérifier si l'application du concept de *closed-loop PLM* (Jun et al., 2007) peut apporter une amélioration de la qualité des informations nécessaires à l'étape ACV d'utilisation. Aussi, il s'agira d'évaluer dans quelle mesure et au prix de quels efforts ceci est réalisable.
- Enfin, une dernière piste de recherche consiste à vérifier la faisabilité d'exploiter d'autres modes de collecte de données. A cet égard, on pourra vérifier dans quelle mesure la collecte de données provenant de bases de données partagées ou publiques est réalisable.

RÉFÉRENCES

- Abele, E., Feickert, S., Kahrke, B., Clesle, F.D. (2006). Environmental Product Lifecycle Management-Customizing the Enterprise Specific Manufacturing Processes, 13th CIRP international conference on life cycle engineering, Proceedings of LCE 2006, 651–656.
- AMR Research (2007). The ERP Market Sizing Report, 2006–2011. http://www.sap.com/solutions/business-suite/erp/pdf/AMR_ERP_Market_Sizing_2006-2011.pdf. Consulté le 29 décembre 2008.
- Bare, J.C., Hofstetter, P., Pennington, D.W., Udo de Haes, H.A. (2000). Midpoints versus endpoints: The sacrifices and benefits. *International Journal of Life Cycle Assessment* 5(6), 319-326.
- Bullinger, H.-J., Jürgens, G. (2002). Regular application of LCA in industrial practice, *International Journal of Environment and Sustainable Development* 1(2), 133-141.
- Charter, M. & Tischner, U., (2001). Sustainable Solutions—Developing Products and Services for the Future.
- Chayer J-A, Fugère, M., (2009). Life cycle assessment of an hygiene absorbent product. Montréal: CIRAIG. Non publié.
- Cimalore, C., (2007). PLM's changing role. *Tooling & Production* 73(4), 32

CIMdata Inc., (2002). Product Lifecycle Management-Empowering the Future of Business. CIM Data Report.

CIRAIg (2005). <http://www.cirai.org/fr/pensee.html>. Consulté le 13 août 2008.

Debaecker, D. (2004). *La gestion collaborative du cycle de vie des produits*. Paris: Lavoisier.

Dussart A., Aubert . A., Patry M., (2004). An Evaluation of Inter-Organizational Workflow Modeling Formalisms. *Journal of Database Management 15*(2), 74-104.

Eun, J.-H., Son J.-H., Moon J.-M., Chung J.-S. (2009). Integration of life cycle assessment in the environmental information system. *International Journal of Life Cycle Assessment 14*(4), 364-373.

Frischknecht, R., Rebitzer, G., (2005). The ecoinvent database system: a comprehensive web-based LCA database. *Journal of Cleaner Production 13*, 1337-1343.

Graedel, T.E., (1998). *Streamlined Life-Cycle Assessment*. New Jersey : Prentice Hall Inc.

Hauschild, J. Jeswiet, L. Alting, (2005). From Life Cycle Assessment to Sustainable Production: Status and Perspectives. *CIRP Annals - Manufacturing Technology 54*(2), 1-21.

Hilty, L.M., Page, B., Hřebíček, J., (2006). Environmental informatics. Editorial. *Environmental Modelling & Software 21*, 1517-1518.

Hunkeler, D. & Rebitzer, G. (2005). The Future of Life Cycle Assessment. *Int. J. LCA* 10(5), 305 – 308.

Hur, T., Lee, J., Ryu, J. & Kwon, E. (2005). Simplified LCA and matrix methods in identifying the environmental aspects of a product system [version électronique]. *Journal of Environmental Management* 75(3), 229–237.

ISO 14044 (2006). *Management environnemental – Analyse du cycle de vie – Exigences et lignes directrices*. Genève : International Organization for Standardization.

Januschkowetz, A. (2001) *Use of Enterprise Resource Planning Systems for Life Cycle Assessment and Product Stewardship*. (Ph.D., Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania, Etats-Unis). (UMI No. 3040461). Consulté le 13 mars 2008, tiré de Proquest Dissertations and Theses.

Jolliet, O., Crettaz, P., Saadé, M. (2005). *Analyse du cycle de vie. Comprendre et réaliser un écobilan*. Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes.

Jun H.B., Kiritsis D., Xirouchakis P. (2007). Research issues on closed-loop PLM. *Computers in Industry* 58, 855–868.

Scheer, A.-W., Kirchmer, M. (2003). Change Management – Key for Business Process Excellence. In Scheer, A.-W., Abolhassan F., Jost, W., Kirchmer, M., Business Process Change Management – ARIS in Practice (pp.1-15). Berlin: Springer.

Koffler, C., Krinke, S., Schebek, L., Buchgeister, J. (2008). Volkswagen slimLCI: a procedure for streamlined inventory modeling within life cycle assessment of vehicles. *Int. J. Vehicle Design*, 46(2), 172-188.

Kuhrke, B., Feickert, S., Abele, E., Clesle, F.-D. (2005). Environmental assessment and life cycle collaboration integrated in E-business solutions [Version électronique]. *Eco Design 2005. Fourth International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*, (pp. 356-360), Tokyo, Japan: Institute of Electrical and Electronics Engineers Computer Society

Lang-Koetz, C., Lange, H., Meyer, C., (2005). Environment meets Web Service. An Exemplary Approach to Integrating an ERP System with an Environmental Management Information System (EMIS) Using Web Services Technology, *Proceedings / ITEE 2005, Second International ICSC Symposium on Information Technologies in Environmental Engineering*, 1-11.

Lévéque C., Sciama, Y., (2005). *Développement durable : avenir incertains*. Paris : Dunod

McDonough W., Braungart, M., (2002). *Cradle to cradle : remaking the way we make things*. New York : North Point Press

Moon, J.M., Chung, K.S., Eun, J.H., Chung, J.S. (2003). Life Cycle Assessment through On-Line Database Linked with Various Enterprise Database Systems. *International Journal of LCA* 8(4), 226 – 234.

Otto, H.E., Kimura, F., Mandorli, F., Germani, M., (2003). Integration of CAD Models with LCA (Version électronique). *Eco Design 2003. Proceedings - Third International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, Tokyo, Japon*, (pp. 155-162).

Pillep, R., Schieferdecker, R. (2000). Integration of environmental management into production organization and information systems. *Proceedings - Third International Symposium on Environmental Software Systems, Dunedin, Nouvelle-Zélande*, (pp. 221-231). Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, USA

O'Brien, J.A., Marakas, G.M., (2008). Management information systems. Eighth Edition. New-York, McGraw-Hill.

Pillmann, W., et al. (2006). Survey of environmental informatics in Europe. *Environmental Modelling & Software 21*, 1519-1527.

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. *International Journal of LCA 13*, 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. *International Journal of LCA 13*, 374–388.

Recchioni M., Mandorli F., Otto H.E., (2007). PLM data acquisition to support LCI compilation. . *Proceedings - Fourth International Conference on Product Lifecycle Management: Assessing the industrial relevance*, (217-226). Hannover, Allemagne, Garetti M., Terzi S, Ball P.D., Han S.

Saaksvuori, A., Immonen, A., (2004). *Product Lifecycle Management*. Berlin, Springer. Sudarsan, R., Fenves, S.J., Sriram, R.D., Wang, F. (2005). A product information modeling framework for product lifecycle management. *Computer-Aided Design 37*, 1399–1411.

Talbot, S., (2005). Plates-formes cycle de vie produit et performance environnementale dans les PME canadiennes. Ph.D. École Polytechnique de Montréal, Québec, Canada.

Tanaka G., Sakai, N., Shimomura, Y., (2003). Development of Pluggable LCA System. (Version électronique). *Eco Design 2003. Proceedings - Third International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, Tokyo, Japon*, (pp. 687-691).

Udo de Haes, H.A., Finnveden, G., Goedkoop, M., Hauschild, M., Hertwich, E.G., Hofstetter, P., Jolliet, O., Klopffer, W., Krewitt, W., Lindeijer, E., Mueller-Wenk, R., Olsen, S.I., Pennington, D.W., Potting, J., Steen, B. (2002). *Life-cycle impact assessment: striving towards best practice*. Pensacola, FL: Society of Environmental Toxicology And Chemistry (SETAC).

Wanyama, W., Ertas, A., Zhang, H. -C. and Ekwaro-Osire, S. (2003). Life-cycle engineering: issues, tools and research. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing 16(4)*, 307-316.

ANNEXE A – ARTICLE DE CONFÉRENCE :

MÉTHODOLOGIE D’ÉVALUATION DURABLE DE PROJET

L’annexe A est consacrée à un article présenté à la conférence CIGI 2009 et intitulé : Méthodologie d’évaluation durable de projet.

Plusieurs facteurs structuraux incitent les entreprises à intégrer les pratiques de développement durable dans leurs processus quotidiens. Pour les organisations, les projets sont le moyen par excellence d’implémenter leur stratégie. Cependant, les méthodes et les outils disponibles pour ce faire ne s’accommode pas toujours de façon optimale aux contraintes réelles et quotidiennes auxquelles les organisations doivent répondre. Les méthodologies actuelles de gestion de projet doivent être révisées pour assurer leur compatibilité avec le développement durable ainsi que les principes de gestion de cycle de vie. Dans cet article, une méthodologie intégrant la pensée cycle de vie à la gestion de projet est proposée. Elle s’inscrit dans une optique de prise de décision durable et propose de répondre à de multiples limitations méthodologiques actuelles. En ce sens, elle peut être considérée comme une première étape dans l’élaboration du concept de «project stewardship». Un exemple montre comment le processus de prise de décision encadré par cette méthodologie peut être supporté par le triangle de développement durable. De futures recherches détermineront de quelle manière l’opérationnaliser pour l’intégrer dans les processus quotidiens des organisations de façon efficiente.

Méthodologie d'évaluation durable de projet

ERIC MULLER¹, ROBERT PELLERIN¹, VALERIE BECAERT¹

¹ ECOLE POLYTECHNIQUE DE MONTREAL

C.P. 6079, succ. Centre-ville, Montréal (Québec), H3C 3A7, Canada

eric-jean.muller@polymtl.ca; robert.pellerin@polymtl.ca; valerie.becaert@polymtl.ca

Résumé - Plusieurs facteurs structuraux incitent les entreprises à intégrer les pratiques de développement durable dans leurs processus quotidiens. Pour les organisations, les projets sont le moyen par excellence d'implémenter leur stratégie. Cependant, les méthodes et les outils disponibles pour ce faire ne s'accommode pas toujours de façon optimale aux contraintes réelles et quotidiennes auxquelles les organisations doivent répondre. Les méthodologies actuelles de gestion de projet doivent être révisées pour assurer leur compatibilité avec le développement durable ainsi que les principes de gestion de cycle de vie. Dans cet article, une méthodologie intégrant la pensée cycle de vie à la gestion de projet est proposée. Elle s'inscrit dans une optique de prise de décision durable et propose de répondre à de multiples limitations méthodologiques actuelles. En ce sens, elle peut être considérée comme une première étape dans l'élaboration du concept de « project stewardship ». Un exemple montre comment le processus de prise de décision encadré par cette méthodologie peut être supporté par le triangle de développement durable. De futures recherches détermineront de quelle manière l'opérationnaliser pour l'intégrer dans les processus quotidiens des organisations de façon efficiente.

Abstract - Many structural factors give incentives to businesses to adopt sustainable development practices into their daily processes. Projects are to organizations the way par excellence to implement their strategies. Nevertheless, available methods and tools are not always well suited to the real and daily constraints that organizations have to deal with. For this reason, present project management methods must be reviewed to

guarantee their compatibility with both sustainable development and life cycle management principles. This article proposes a methodology that integrates life cycle thinking to project management. The developed methodology aims to enable a more sustainable decision making in proposing an answer to the many present methodological shortcomings. It could be considered as a first step towards the elaboration of the concept of “project stewardship”. An example shows how the decision making process developed in this methodology can be supported by the sustainable development triangle. Future research will help to define how to integrate it in the organizations daily processes in an efficient way.

Mots clés - Développement durable (DD), Analyse de cycle de vie (ACV), Gestion de projet, Méthodologie d'aide à la décision, Triangle de développement durable (TDD).

Keywords - Sustainable development, Life cycle analysis, Project management, Decision support methodology, Sustainable development triangle.

A.1 INTRODUCTION

Depuis quelques années, la perception du rôle de l'entreprise dans la société change. En plus d'intégrer la dimension économique, divers facteurs poussent l'entreprise à se soucier des aspects sociaux et environnementaux de ses activités [Labuschagne et Brent, 2005]. Un des signes de ce changement est la multiplication des organisations qui mettent en place un système de management environnemental (SME). C'est une démarche volontaire de l'entreprise visant à intégrer les aspects environnementaux de ses activités. Ces systèmes peuvent faire l'objet d'une certification dont la plus connue est ISO 14001.

L'intégration des aspects environnementaux dans les processus d'entreprise représente un coût « mesurable » pour l'entreprise.

Cependant, les bénéfices liés à cette prise en compte ne peuvent pas être chiffrés avec autant d'aisance. La création d'un avantage compétitif, la diminution du montant des primes d'assurance ainsi que du risque d'accident, la génération de marchés nouveaux, la facilité d'accès aux capitaux, l'augmentation de la motivation du personnel, l'adéquation aux demandes des clients ou encore l'amélioration de l'image et de la gestion quotidienne sont autant de domaines sur lesquels la mise en place d'un SME peuvent avoir des retombées positives [Salamitou, 2004, pp. 9-19]. Dans un contexte de concurrence parfois féroce entre les entreprises, le volet environnemental peut donner un avantage concurrentiel déterminant et de surcroit difficilement imitable.

La pensée cycle de vie tend à concilier les dimensions sociales, économiques et environnementales propre à un produit ou à un service pendant tout son cycle de vie, du « berceau au tombeau ». Le présent article vise à intégrer ce concept aux processus d'une organisation.

Dans ce contexte, différentes techniques et méthodes pour ce faire ont été proposées. Cependant, leur mise en application n'est pas toujours aisée et nécessite des outils adaptés aux contraintes auxquelles ces organisations doivent répondre quotidiennement [Reyes et al., 2006]. L'objectif de cet article est de présenter une méthodologie de sélection de projet durable répondant aux nombreuses limitations actuelles.

La suite de cet article est organisée de la façon suivante. Dans une première partie, une revue de littérature permettra d'identifier les différentes problématiques. Puis, une méthodologie sera proposée et expliquée. Enfin, les recherches futures à entreprendre pour bonifier cette méthodologie concluront cet article.

A.2 REVUE DE LITTÉRATURE

Les régulations environnementales sont considérées par certains comme une contrainte de gestion supplémentaire pour les organisations, augmentant délais et incertitudes. L'obligation de réaliser une évaluation des impacts environnementaux (EIE) est une des

formes de ces régulations. Pourtant, leur influence néfaste sur les exportations, le choix de localisation d'usine, les flux commerciaux ou encore sur l'emploi n'a pas été clairement démontré par les études réalisées. Une étude menée entre 1997 et 2000 par Annandale et Taplin (2003) dans le secteur minier au Canada et en Australie sur la perception des régulations environnementales directes contredit cette thèse. En effet, l'enquête auprès des cadres dirigeants des plus grandes entreprises du secteur conclue pour les deux pays que l'idée selon laquelle les régulations environnementales sont jugées contraignantes peut être réfutée. Au contraire, ces dirigeants perçoivent l'EIE comme un « catalyseur » permettant d'intégrer la conception environnementale dès la planification préliminaire d'un projet, modérant ainsi les risques de devoir financer le règlement d'un problème environnemental une fois qu'un projet comportant des lacunes a été commissionné [Annandale et Taplin, 2003].

L'EIE est définie par Kassim et Simoneit (2005) comme « une activité dont le but est d'identifier et de prédire les impacts d'une proposition de loi, d'une politique, d'un programme, d'un projet ou encore de procédures opérationnelles sur divers environnements (biologique, géographique et physique) ainsi que sur la santé et le bien-être de la population. De plus, une EIE doit permettre d'interpréter ces impacts et d'en communiquer les informations ». Des aspects sociaux peuvent aussi y être intégrés. Dû au niveau d'incertitude entourant la prise de décision, l'EIE doit plus être considérée comme une enquête portant sur les impacts d'un projet que comme une détermination des ces derniers [Kassim et Simoneit, 2005, p.39].

Selon Jolliet et al. (2005), l'EIE « a pour objet des installations individuelles à construire et analyse l'impact environnemental d'un projet envisagé en un lieu précis. Par conséquent, elle correspond plus à une procédure juridique qu'à un outil d'analyse. » En effet, la législation de nombreux pays exige le recours à cet outil.

Pour Finnveden et Moberg (2005), l'EIE est un outil procédural orienté sur le changement et servant à évaluer principalement les impacts environnementaux d'un projet, incluant l'utilisation des ressources naturelles. En général, c'est un outil utilisé pour réaliser une analyse locale au niveau du site même. Dû au fait que les impacts associés à un projet sont souvent connus, l'EIE permet de comparer plusieurs localisations de projet [Finnveden et Moberg, 2005].

Le fait que l'EIE soit un outil procédural permet de lui associer des outils d'analyse. Si l'outil associé correspond à un concept plus globalisant, cela permettrait d'élargir l'évaluation de l'impact environnemental d'un projet par l'EIE tout en conservant sa spécificité.

La pensée cycle de vie tend à concilier les dimensions sociales, économiques et environnementales propre à un produit ou à un service pendant tout son cycle de vie. Son but est de minimiser les impacts négatifs et d'accentuer les impacts positifs autant que possible, en veillant à éviter tout déplacement de problème d'une étape à une autre du cycle.

Le cycle de vie d'un produit peut être subdivisé par des étapes d'extraction et de transformation des matières premières, de fabrication, d'emballage et de distribution, d'utilisation et de fin de vie. Des impacts économiques, environnementaux et sociaux sont générés par chaque étape [CIRAIIG, 2005]. La gestion du cycle de vie (GCV) peut ainsi être considérée comme un cadre permettant d'intégrer les principes du développement durable (DD) aux niveaux des processus d'affaire. Elle se concentre sur les produits et les procédés y étant associés de même que sur les locaux et les sites de production. Elle élargie la portée du SME d'une organisation en intégrant les impacts de son activité qui ont lieu en amont (fournisseurs) et en aval (clients) [Rebitzer et Buxmann, 2005].

Plusieurs outils permettent de mettre en pratique la pensée cycle de vie. Parmi ceux-ci, l'analyse du cycle de vie (ACV) est le seul qui « évalue l'impact environnemental d'un produit, d'un service ou d'un système en relation à une fonction particulière et ceci en considérant toutes les étapes de son cycle de vie. Elle permet d'identifier les points sur lesquels un produit peut être amélioré et elle contribue au développement de nouveaux produits. Cet outil est avant tout employé pour comparer les charges environnementales de différents produits, processus ou systèmes entre eux, ainsi que les différentes étapes du cycle de vie d'un même produit » [Joliet et al., 2005, p.7].

Tableau A.1. Synthèse des problèmes actuels rencontrés en ACV (Traduit et adapté de Reap et al., 2008b)

Phase	Problème	Gravité	Pertinence de la solution
Définition des objectifs et du champ de l'étude	Définition de l'unité fonctionnelle	4	3
	Sélection des frontières du système	4	3
	Impacts sociaux et économiques	3	4
	Considération de scénarios alternatifs	1	5
Réalisation de l'inventaire du cycle de vie du produit	Allocation	5	3
	Fixation d'un critère de contribution négligeable « cutoff »	3	3
	Caractère unique de la technologie locale	2	2
Analyse de l'impact environnemental	Catégorie d'impact et sélection de la méthodologie	3	3
	Variations spatiales	5	3
	Caractère unique de l'environnement local	5	3
	Dynamiques environnementales	3	4
	Dimension temporelle	2	3
Analyse des opportunités d'amélioration	Pondération et valorisation	4	2
	Incertitude du processus décisionnel	3	3
Toutes	Disponibilité et qualité des données	5	3

Une ACV est un processus itératif [Jolliet et al., 2005] dont la méthodologie suivie est normalisée dans ISO 14040 et comporte les quatre phases suivantes:

- La définition des objectifs et du champ de l'étude
- L'inventaire du cycle de vie (ICV)
- L'évaluation des impacts du cycle de vie (ACVI)
- L'interprétation des données d'inventaire et d'évaluation des impacts. [ISO 14044]

Le résultat de l'ICV d'un système de produit prend la forme d'un tableau pouvant inventorier des centaines substances émises à l'atmosphère, à l'eau, aux sols, etc. et ressources extraites du milieu naturel (flux élémentaires). L'importante quantité d'information générée dans cette phase ne permet pas la prise de décision [Hofstetter et al., 1999]. Pour remédier à ce problème, différentes méthodes d'ACVI (par exemple : Ecoindicateur 99, IMPACT 2002+, LUCAS ou TRACI...) classifient d'abord les nombreux flux élémentaires en catégorie d'impacts et ensuite les convertissent en résultats ayant des unités communes et les agrègent au sein de la catégorie d'impact (résultats ACVI). Un profil environnemental comptant environ une douzaine d'indicateurs orientés problèmes (midpoint) ou respectivement 3-4 indicateurs de dommage (endpoint) est ainsi obtenu pour supporter les étapes d'interprétation et de prise de décision. La réalisation d'ACV est supportée par des logiciels spécifiques. Actuellement, on dénombre plus de 50 dont *GaBi®*, *Simapro®*, *TEAM™* ou encore *Umberto®*.

Cependant, Hunkeler et Rebitzer (2005) ont identifié des points à améliorer en ACV. En effet, ils font le constat que l'application et l'intégration de l'ACV dans le processus de prise de décision des organisations est loin d'être une pratique courante. Entre autres, ils soulignent la nécessité de renforcer les recherches et l'attention apportée aux aspects conceptuels, méthodologiques et aux procédures opérationnelles pour que le potentiel de l'ACV puisse être pleinement exploité à grande échelle.

De leur point de vue, deux développements en cours complémentaires pourraient fournir le moyen de mieux exploiter le potentiel de l'ACV. Le premier moyen visant à réduire l'écart entre les méthodologies et outils existants et leur application pratique est le développement des processus d'implémentation et des approches organisationnelles y ayant trait. Un second moyen consiste à étendre l'approche cycle de vie pour que les deux autres dimensions du DD (aspects sociaux et économiques) soient aussi prises en considération [Hunkeler et Rebitzer, 2005].

Dans une revue de littérature reflétant l'état de l'art en ACV, Reap et al. (2008a et 2008b) ont identifié quinze problèmes majeurs non-résolus. Pour chaque problème, ils ont attribué un score de gravité et de pertinence de la solution actuelle. Un score de gravité de 1 signifie que le problème est minime et 5 qu'il est grave. De même pour le score de pertinence de la solution, 1 signifie que le problème est résolu et 5 que le problème est encore largement ignoré [Reap et al., 2008b]. Le tableau 1 synthétise les conclusions de cette étude.

Différents chercheurs notent que les recommandations basées sur l'ACV ont manqué d'aborder les négociations éventuelles entre d'un côté la protection de l'environnement et de l'autre les dimensions sociales et économiques du cycle de vie du produit (Dreyer et al. 2006). Du point de vue du DD, ceci peut limiter la capacité de l'ACV à supporter des décisions dans les perspectives de production et de consommation durable (Hertwich 2005). Norris note que ne pas intégrer les évaluations environnementales et économiques peut avoir pour conséquence de rater des opportunités et/ou que l'ACV ait une influence limitée lors des prises de décision, en particulier dans le secteur privé (Norris 2001) [Reap et al., 2008a]. Il est donc manifestement nécessaire d'accentuer les efforts de recherche afin de déterminer dans quelle mesure il serait pertinent d'intégrer l'ACV, l'analyse des coûts du cycle de vie et les méthodologies émergeantes d'analyse d'impact social.

A propos de l'évaluation de la qualité des données d'ICV, la base de donnée *ecoinvent* reprend la classification Pedigree Matrix proposée par Weidema et Wesnaes en 1996 (fiabilité et exhaustivité des données, taille de l'échantillon et corrélations géographiques, temporelles et technologiques).

L'obtention d'informations spécifiques concernant les phases du cycle de vie (amont et aval) posent encore problème (confiance des partenaires, confidentialité des données... etc.).

La complexité et les efforts requis pour la réalisation d'une ACV sont reconnus comme étant les obstacles principaux à sa diffusion dans l'industrie [Rebitzer et Buxmann, 2005].

Dès lors, est-il pertinent d'intégrer l'EIE et l'ACV ? Tukker (2000) soutient qu'il n'y a aucune contradiction entre l'ACV et l'EIE. Lors des EIE traditionnelles, les frontières du système choisi se limitent habituellement à un seul site industriel aux environs duquel sont généralement concentrées les évaluations d'impact. Par contraste, l'ACV est conçue pour comparer les impacts dus à la fonction principale du produit. C'est donc le système complet ayant trait à cette fonction qui y est évalué [Tukker, 2000].

Cornejo-Rojas (2005) souligne que les méthodologies actuelles d'évaluation environnementale de projet présentent quelques limitations. Il propose une méthodologie d'évaluation de projet qui tient à la fois compte des aspects technico-économiques et des aspects environnementaux. Ces derniers sont quantifiés en associant une EIE classique à une ACV. Ceci permet d'élargir la prise en compte des impacts environnementaux des alternatives de projet de l'échelle locale (spécifique au site) aux échelles régionales et globales (générique au site). Suit une analyse multicritère de décision durant laquelle, pour chaque alternative, les indicateurs de l'EIE et de l'ACV sont pondérés afin d'obtenir un indice environnemental. L'étape suivante consiste en l'évaluation des critères environnementaux et économiques. Elle est réalisée en comparant les

alternatives retenues sur la base de leur indice environnemental et de leur valeur actuelle nette (VAN) respective. La prise de décision suit cette dernière étape et conclu cette approche d'évaluation. Cette méthodologie présente l'avantage d'intégrer dans la prise de décision à la fois l'ensemble des solutions rentables (et non plus seulement l'alternative la plus rentable) ainsi que les impacts environnementaux sur toute la chaîne de valeur. Cependant, cette méthodologie subordonne l'évaluation environnementale à la rentabilité des alternatives, mesurée par la VAN (ampleur des retombées monétaires). En effet, seules les alternatives rentables sont analysées d'un point de vue environnemental, ce qui a pour effet d'éliminer des options potentiellement intéressantes d'un point de vue environnemental. Ces dernières options pourraient s'avérer supérieures pour les aspects environnementaux et/ou sociaux. Ces limitations nous amènent à proposer une méthodologie différente.

A.3 MÉTHODOLOGIE

A.3.1 Méthodologie de gestion de projet actuelle

La conception du cycle de vie d'un projet développée dans le PMBOK diffère fondamentalement de celle supportée par la pensée cycle de vie. Selon le PMBOK, le cycle de vie d'un produit peut être découpé en plusieurs projets [PMBOK, 2004, p.21-22], ce qui peut potentiellement déresponsabiliser un projet de ses conséquences plus loin dans son cycle de vie. Un projet est défini comme une « entreprise temporaire initiée dans le but de fournir un produit, un service ou un résultat unique » [PMBOK, 2004, p.374]. Brent (2005) fait remarquer qu'en se basant sur cette définition, un projet en tant que tel aura un impact économique, environnemental et/ou social minime. Les conséquences seront supportées par les livrables du projet [Brent, 2005].

Une approche holistique de la gestion du cycle de vie requiert l'imbrication de trois cycles de vie, à savoir ceux du projet, des actifs et des produits. Ces cycles de vie sont essentiels pour assurer la durabilité des initiatives industrielles et gouvernementales. Le

concept de DD doit ainsi être intégré au planning ainsi qu'à la gestion au cours du cycle de vie des projets. Le cycle de vie des actifs doit aussi être optimisé en termes d'objectifs de performance de DD. Finalement, l'influence des produits (ou des services) sur l'économie, l'environnement et la société comme ensemble doit être prise en compte comme par exemple dans le concept de « product stewardship » [Brent, 2005]. Ce concept peut être compris comme la gestion des aspects du DD des produits tout au long de leurs cycles de vie [Rebitzer et Buxmann, 2005]. Par analogie au concept de « product stewardship », on peut imaginer la mise en œuvre du concept de « project stewardship ».

Le cadre théorique actuel ne prend pas en compte les problématiques environnementale et sociale de façon efficiente, comme le confirme une analyse des cadres de gestion de projet dans l'industrie chimique en Afrique du Sud. Les aspects sociaux ne sont pas mentionnés dans ce cadre (ni lors des activités, ni des livrables, ni des jalons). De même, le processus d'approbation des projets n'aborde pas non plus de façon efficiente tous les aspects du DD : il met l'emphase sur les aspects financiers et de faisabilité technique. Les aspects sociaux et environnementaux sont encore considérés comme étrangers à un processus d'approbation classique de projet. De plus, Labuschagne et Brent soulignent le besoin d'incorporer des indicateurs environnementaux et sociaux dans les processus réels de prise de décision et d'évaluation de projet afin d'évaluer leur pertinence dans les méthodes de gestion de projet.

Il apparaît donc évident que les cadres actuels de gestion de projet doivent être révisés. Il existe un besoin certain de développer des indicateurs pouvant être utilisés lors du processus de prise de décision afin de s'assurer que les projets soient gérés selon des pratiques contribuant au DD [Labuschagne et Brent, 2005].

A.3.2 Méthodologie proposée

La méthodologie décrite ci-après propose d'apporter des solutions aux problématiques identifiées précédemment.

Cette méthodologie part de l'hypothèse que l'évaluation d'alternatives de projet basée uniquement sur des aspects économiques directs peut biaiser une prise de décision. En effet, ce qui est bon d'un point de vue économique ne l'est pas forcément d'un point de vue environnemental et/ou social. L'idée sous-jacente est d'intégrer la GCV aux processus quotidiens de l'organisation et plus spécifiquement au processus de sélection de projet (figure 1). Pour prendre une décision s'inscrivant dans démarche de DD, les aspects environnementaux et sociaux des alternatives de projet doivent également être pris en compte et ceci au même niveau du processus de prise de décision que les aspects économiques.

Une fois qu'un projet a été jugé conforme avec les objectifs de l'entreprise, il reste à en départager les différentes alternatives: c'est la phase d'étude de faisabilité, au cœur de la méthodologie proposée. Cette méthodologie privilégiera autant que possible le recours aux données primaires (spécifiques à l'organisation) afin d'obtenir des résultats reflétant au mieux la réalité de l'organisation. Il s'agit ici d'un cas de prise de décision multicritère. Devant des cas de prise de décision présentant plusieurs alternatives, les décideurs sont intéressés à les comparer de façon efficace.

Le cadre général dans lequel s'inscrit la méthodologie proposée est illustré à la figure 2 : elle se concentre sur les phases de préfaisabilité et de faisabilité de projet. Elle s'articule autour de cinq phases :

- Phase 1 : Définition
- Phase 2 : Évaluation de filtrage
- Phase 3 : Évaluation détaillée
- Phase 4 : Processus de prise de décision
- Phase 5 : Amélioration continue

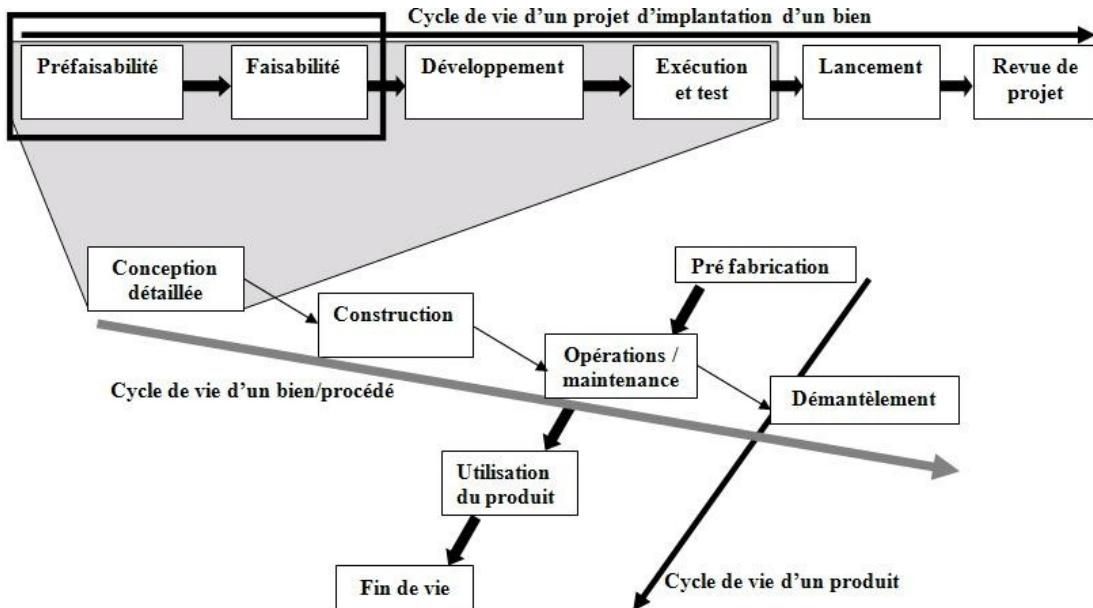


Figure A.1. Imbrication des cycles de vie d'un projet, d'un bien/procédé et d'un produit
(Traduit et adapté de Brent, 2005)

Les phases 2, 3 et 4 sont spécifiques à l'évaluation des alternatives de projet pour fin de prise de décision. Par contraste, les phases 1 et 5 sont des processus d'entreprise, en dehors de tout projet. La méthodologie proposée fait donc le lien entre les processus de prise de décision lié à l'évaluation de projet et les processus d'entreprise, tel qu'illustré à la figure 2. Chaque phase sera détaillée dans les paragraphes suivants.

A.3.2.1 Phase 1 : Définition

La première étape de cette méthodologie est déterminante pour la suite, car elle va déterminer l'ampleur de l'évaluation. Lors de cette phase, il convient de :

- déterminer le niveau de sophistication de l'analyse ;
- déterminer l'importance relative que l'organisation souhaite accorder aux aspects économiques, environnementaux et sociaux ;
- sélectionner et pondérer des critères pour chaque aspect ;

- définir le niveau de certitude des données

L'organisation peut déterminer le niveau de sophistication de l'analyse. Elle ajuste l'effort qu'elle souhaite mettre en œuvre pour les évaluations des phases 2 et 3 dès le départ. Il faut délimiter les frontières des systèmes à étudier lors des évaluations de façon précise. En effet, il est évident que plus on souhaite prendre de dimensions en compte, plus l'évaluation devient complexe. Il faut définir les critères et leurs indicateurs qu'on souhaite inclure dans l'évaluation (phases 2 et 3) pour chacun des aspects. Les dimensions d'analyse peuvent être temporelles (court, moyen, long, très long terme ; saisonnières), géographiques et au niveau des entités affectées (organisation, parties prenantes). Aussi, on distingue deux types de données : les données spécifiques à l'organisation et les données génériques. Les questions suivantes peuvent aider à définir les frontières: Quel niveau de précision souhaite t-on avoir ? Veut-on avoir une vision globale mais assez générale des systèmes étudiés? A contrario, veut-on se concentrer sur les points chauds des systèmes?

Pour déterminer l'importance relative à accorder aux dimensions économique, environnementale et sociale, il convient de définir des valeurs ou une zone de valeurs souhaité pour chaque aspect. Ces dernières pourront être qualitatives ou quantitatives : le principe de « ce qui est mesurable est gérable » s'applique ici aussi.

L'entreprise détermine le niveau de certitude des données, c'est à dire la variation de la précision des données qu'elle juge acceptable afin de retenir une alternative de projet. A ce propos, Cleland et Ireland (2002) proposent trois ordres de grandeur concernant l'estimation des coûts d'un projet:

- ordre de magnitude (précision comprise entre -25% à +75%) : avoir une idée globale des coûts d'une alternative
- budget (de -10% à +25%). Permet de savoir si l'alternative est dans les normes de tolérance de l'entreprise. Niveau de précision utilisé pour la prise de décision.

- définitif (de -5% à +10%). Niveau de précision utilisé pour démarrer un projet [Cleland et Ireland, 2002, p. 327].

Cette variation permettra également de déterminer à quel moment une alternative est considérée significativement supérieure à une autre.

A.3.2.2 Phase 2 : évaluation de filtrage

Cette étape marque le début du processus d'évaluation des alternatives de projet. L'évaluation de filtrage a pour objectif de sélectionner l'ensemble des alternatives de projet se rapprochant le plus des valeurs prédéfinies pour chaque aspect à la phase 1. Lors de cette étape, le niveau de précision des données restera relativement bas, selon les ressources que l'organisation souhaite allouer à cette étape. Il s'agira à cette phase de donner un ordre de magnitude plutôt qu'un chiffre précis, ce qui sera fait lors de la phase suivante.

Pour chaque aspect, l'évaluation se fait de façon indépendante. Le résultat de l'évaluation de chaque aspect est présenté à l'échelle d'un score unique sur 100 points. Le choix des méthodes d'évaluations (puis des indicateurs) est laissé à la discrétion de l'organisation. Pour chaque alternative, il est possible d'agréger les scores obtenus à chaque aspect en un score unique. Il est possible de normaliser ce score unique en le pondérant pour chaque aspect avec la valeur correspondante définie lors de la phase 1. Ceci facilitera une première comparaison entre les alternatives, mais présente l'inconvénient de diluer les informations. Cette étape est surtout utile pour comparer rapidement un nombre important d'alternatives.

Les données peuvent être qualitatives ou quantitatives. Pour les données qualitatives, un score pourra être associé à chaque nuance, ce qui permet une comparaison semi-quantitative entre critères. La définition de l'échelle de score est laissée à l'appréciation de chaque organisation. Chaque aspect pourra également être évalué selon des critères et des indicateurs utilisant des données primaires et/ou secondaires.

Plusieurs méthodes, critères et indicateurs d'évaluation ont été proposés. En voici une liste non exhaustive :

- *Pour la sélection de projet :*

Une liste d'éléments « classiques » de sélection de projet est proposés par [Cleland et Ireland, 2002, pp. 212-213]. Des éléments d'évaluation économiques sont inclus. Cependant, aucun élément de sélection de projet ne prend directement en compte les aspects sociaux et environnementaux.

- *Pour l'aspect économique :*

Le retour sur investissement, la VAN, le taux de rendement interne ou encore l'analyse des coûts du cycle de vie ... etc.

- *Pour l'aspect environnemental :*

De préférence, avoir recours à une ACV préliminaire (screening LCA) et se limiter à quelques indicateurs. Une méthode d'ACVI incluant un niveau de caractérisation dommage est à privilégier (par exemple : ReCiPe, IMPACT 2002+ ou Eco-indicateur 99). L'expérience montre que les ACV complètes ne sont compréhensibles que par les experts du domaine, qui ne sont en général pas les décideurs. Une ACV simplifiée employant cinq indicateurs est en général bien acceptée par la direction [Rebitzer et Buxmann, 2005]. Les indicateurs employés doivent être adaptés au contexte de l'organisation et du projet: ils peuvent donc fortement varier. En voici quelques exemples : besoins en énergie, en eau, en ressources minérales, occupation des terres, émission de gaz à effet de serre, génération de déchets, nuisances sonore, etc. [Labuschagne et Brent, 2005 ; Rebitzer et Buxmann, 2005].

Tingström (2005) s'intéresse aux outils d'évaluation de la performance environnementale de produits sous l'angle des types d'innovation radicale et

incrémentale. Les outils environnementaux considérés dans son article sont l'ACV, l'analyse des effets environnementaux (AEE) et le manuel de conception. Ils sont choisis

pour l'hétérogénéité de leur niveau de complexité et du type d'information (quantitative et qualitative) donné. Il considère le processus de développement de produit au sein de l'entreprise comme une activité continue. Il conclu que les innovations radicales devraient être analysées par une AEE et les innovations incrémentales par l'ACV. Un manuel de conception peut être utilisé pour les deux types d'innovations [Tingström, 2005].

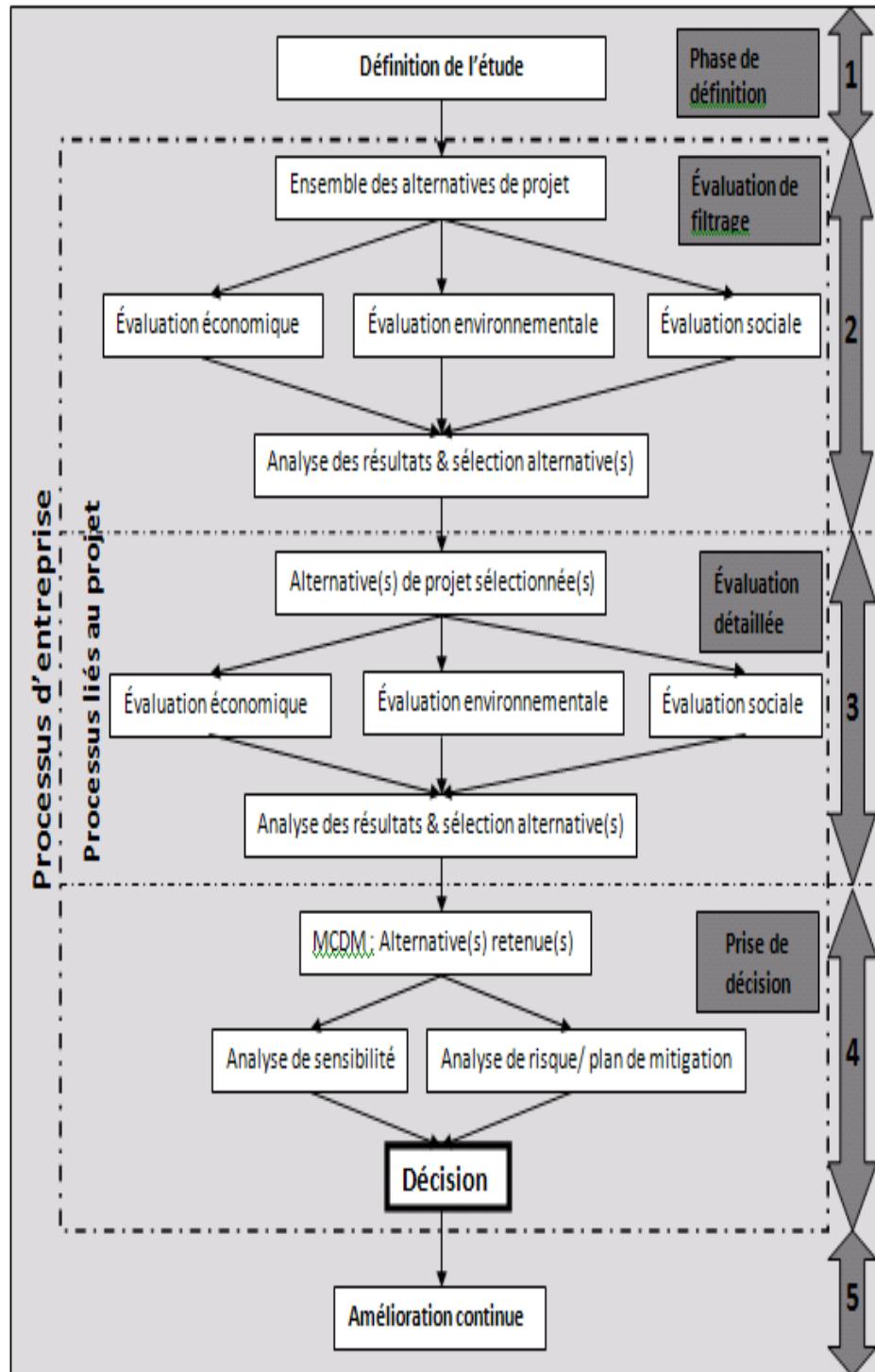


Figure A.2. Méthodologie proposée

- *Pour l'aspect social :*

Kruse et al. (2008) font le constat qu'aucun consensus incluant la pensée cycle de vie n'existe actuellement pour les méthodes d'évaluation de l'aspect social.

L'influence du projet sur les ressources humaines (de l'organisation), sur la population externe, sur la participation des parties prenantes, etc. sont autant d'indicateurs potentiels.

- *Pour combiner plusieurs aspects :*

Kruse et al. (2008) proposent une série d'indicateurs pour mesurer la performance socio-économique d'un produit ou d'un processus qui complètent une ACV. Les indicateurs développés dans leur approche sont de deux types : descriptif ou additif. Leur pertinence, leur opérationnalisation, leur validité ainsi que les valeurs sociales considérées, les contraintes financières liées à la collecte d'information et la spécificité des industries sont des paramètres pris en compte lors du développement de ces indicateurs. Leur utilisation semble donc appropriée au cadre méthodologique proposée.

Cette phase est subdivisée en plusieurs processus dont le principal est de rechercher les informations pour chaque alternative en fonction des critères et indicateurs retenus pour chaque aspect lors de la phase 1. Une fois ce processus terminé, toutes les alternatives sont analysées en fonction du score obtenu pour chaque aspect.

A.3.2.3 Phase 3 : évaluation détaillée

Cette seconde évaluation a pour but de permettre de départager les alternatives de projet sélectionnées précédemment pour la phase de prise de décision. Le niveau de précision de cette étape sera le plus élevé possible, tout en restant « raisonnable » au niveau des ressources allouées à la réalisation de cette phase. Pour ce faire, plusieurs analyses complèteront l'évaluation détaillée. Une analyse de contribution déterminera les principaux « points chauds » de chaque aspect, pour chaque alternative. Une analyse de sensibilité déterminera leur importance sur le résultat final. Enfin, une analyse d'incertitude quantifiera le niveau de confiance (par exemple, par la méthode de Monte Carlo). Les données des alternatives de projet à forte incertitude et à forte contribution devront être

raffinées en priorité, ceci afin d'optimiser les efforts mis en œuvre. Ces résultats serviront à raffiner le plan de mitigation des risques associé à chaque alternative.

Les décideurs sont ainsi informés de la robustesse des résultats qui leur sont présentés et des options dont ils disposent. Tout ceci contribuera à une prise de décision plus adéquate.

A.3.2.4 Phase 4 : Processus de prise de décision

A ce stade, les décideurs de l'organisation possèdent toutes les données qu'ils ont préalablement définies à la phase 1, et ceci pour chaque alternative de projet qui à fait l'objet d'une évaluation détaillée. L'analyse et la représentation graphique des résultats peuvent être réalisées à l'aide du triangle de développement durable (TDD). Ses principales caractéristiques sont présentées à la section 3.3. Un exemple d'application y est également développé.

A.3.2.5 Phase 5 : Amélioration continue

Cette phase permet à l'organisation d'apprendre continuellement de ses expériences passées afin d'améliorer toujours ses processus.

A.3.3 Triangle de développement durable

Le triangle de pondération a été développé et présentée dans [Hofstetter et al., 1999]. Cette méthodologie permet de représenter visuellement des zones de prépondérance d'un scénario sur l'autre en fonction d'une combinaison de facteurs de pondération. Elle a été adoptée par méthodologie ACVI Eco-indicateur 99 pour présenter les choix de pondération des trois catégories de dommages (Santé humaine, Qualité des écosystèmes, Changement climatique et ressources). Elle est aussi implantée dans le logiciel Simapro7®. Par analogie, on peut représenter les trois aspects du DD dans un triangle, chaque côté représentant un aspect. Le TDD présente les mêmes caractéristiques que le modèle présenté par Hofstetter et al. (1999). Le TDD est construit en reportant le score de chaque aspect obtenu à la phase d'évaluation détaillée sur l'axe correspondant du triangle.

Plusieurs analyses graphiques sont possibles. Chaque point du TDD représente une

combinaison possible de pondération entre les 3 aspects. Une ligne d'indifférence permet de représenter le seuil à partir duquel le classement de deux alternatives change. Sur cette ligne, le score unique pondéré des deux alternatives est en tout point équivalent pour les deux aspects considérés. Il est à noter qu'une telle ligne existe toujours, mais ne traverse pas forcément le triangle. Les lignes de supériorité permettent de représenter deux informations. D'une part, elles délimitent la zone pour laquelle le score unique de DD des deux alternatives est inférieur à un certain pourcentage défini au préalable (10% pour l'exemple ci-dessous). Ce pourcentage peut soit référer à l'incertitude des données et ainsi représenter la variation possible des alternatives, soit référer au seuil à partir duquel une alternative est considérée supérieure. D'autre part, la distance entre ces lignes et la ligne d'indifférence permet de visualiser la vitesse à laquelle croît la supériorité d'une alternative sur une autre [Hofstetter et al., 1999]. Cette information est surtout pertinente lors de la comparaison de trois alternatives. Plus cette distance est faible, plus grande est la différence entre les alternatives. Au-delà d'une comparaison de trois alternatives, la représentation graphique du TDD devient complexe à analyser. Ceci justifie de ne l'utiliser qu'à la fin de la phase d'évaluation détaillée, pour départager les alternatives les plus intéressantes.

L'exemple développé ci-dessous donne une idée sommaire des possibilités de cet outil en comparant deux alternatives. Le tableau 2 présente des scores fictifs pour chaque aspect des deux alternatives de projet A1 et A2.

Tableau A.2: Comparaison des alternatives de projet 1 et 2

	A1	A2
Environnement	20	10
Economie	75	90
Social	15	5

Soit l'équation suivante où on pose $z = 0$ et où:

$x = \text{Environnement}$ $y = \text{Economie}$ et $z = \text{Social}$

$$\begin{cases} 20x + 75y = 10x + 90y \\ x + y = 100 \end{cases}$$

Le résultat est : $x = 60\%$ et $y = 40\%$

Cet exemple est illustré dans le TDD à la figure 3.

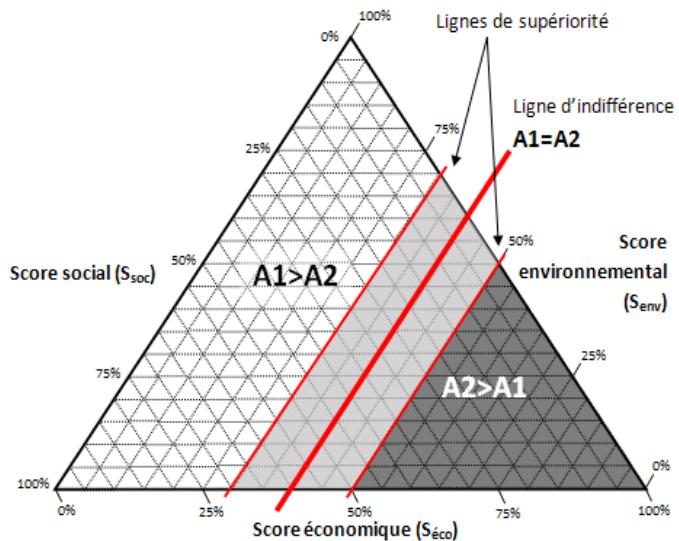


Figure A.3: Triangle de développement durable

A.4. CONCLUSION

La méthodologie proposée fait le lien entre les processus de gestion d'une organisation et ceux liés à la sélection de projet en y intégrant la notion de gestion de cycle de vie. Elle permet une prise de décision qui tient compte des trois aspects du développement durable, sans en subordonner un à un autre. En ce sens, elle peut être considérée comme une première étape dans l'élaboration du concept de « project stewardship ». De plus, sa flexibilité permet de l'adapter au niveau d'avancement des organisations dans l'intégration de ces dimensions, ceci le secteur privé ou public. Pour une organisation souhaitant ajouter de façon pérenne la prise en compte des dimensions environnementales et/ou sociales dans ses processus quotidiens, elle peut être considérée comme un premier pas dans ce sens. Une

organisation souhaitant aller plus loin pourra intégrer plus de critères et d'indicateurs à ses évaluations de projet. Un exemple montre comment le processus de prise de décision encadré par cette méthodologie peut être supporté par le triangle de développement durable, qui permet d'afficher et discuter de façon transparente les choix de valeurs entre environnement, économie et social.

Cette méthodologie demeure toutefois au stade de développement théorique et peut être améliorée en menant des recherches complémentaires. Celles-ci pourraient consister à :

- vérifier l'hypothèse que l'évaluation d'alternatives de projet basée uniquement sur des aspects économiques peut biaiser une prise de décision ;
- vérifier/dresser une liste de critères d'évaluation économiques, environnementaux et sociaux pertinents ;
- déterminer dans quelle mesure cette méthodologie permet le suivi d'un projet (à côté des indicateurs traditionnels Coût-Délais-Qualité) ;
- vérifier empiriquement l'applicabilité de la méthodologie proposée aux processus quotidiens d'une organisation ;
- approfondir les recherches sur le TDD et ses applications possibles pour cette méthodologie et en dehors ;
- déterminer comment opérationnaliser cette méthodologie de façon efficiente.

RÉFÉRENCES

- Annandale, D., Taplin, R., (2003). Is environmental impact assessment regulation a 'burden' to private firms? *Environ. Impact Assess. Rev.* 23, pp. 383–397
- Brent, A.C., (2005). The application of life cycle management in decision making for sustainable development at government and corporate level: the integration of project, asset and product life cycles. *Progress in industrial ecology - An International Journal* 2(2), pp. 223 - 235

- CIRAIG (2005). Consulté le 13 août 2008, tiré de <http://www.ciraig.org/fr/pensee.html>
- Cornejo Rojas, F.A., (2005). *Using life cycle assessment (LCA) as a tool to enhance environmental impact assessment (EIA) with a case study application in the pulp and paper industry.* (M.Sc.A., Ecole Polytechnique de Montréal, Québec, Canada), (UMI No. AAT MR16770). Consulté le 13 septembre 2008, tiré de Proquest Dissertations and Thesis.
- Finnveden, G., Moberg, A. (2005). Environmental systems analysis tools - an overview. *Journal of Cleaner Production* 13, pp. 1165 – 1173
- Hofstetter, P., Braunschweig, A., Mettier, T., Müller-Wenk, R., Tietje, O., (1999). The Mixing Triangle: Correlation and Graphical Decision Support for LCA-based Comparisons. *J. of Industrial Ecology* 3(4), pp. 97 – 115
- ISO 14044 (2006). Management environnemental – Analyse du cycle de vie – Exigences et lignes directrices, *Genève : International Organization for Standardization*,
- Jolliet, O., Saadé, M., Crettaz, P., (2005). Analyse du cycle de vie : Comprendre et réaliser un écobilan. Presses polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne.
- Kassim, T.A., Simoneit, B.R.T., (2005). Environmental Impact Assessment: Principles, Methodology and Conceptual Framework. In Kassim, Williamson, *Environmental Impact Assessment of Recycled Wastes on Surface and Ground Waters* (Volume 1, pp. 1-57). Berlin : Springer
- Kruse, S.A., Flysjö, A., Kasperezyk, N., Scholz, A.J., (2008). Socioeconomic indicators as a complement to life cycle assessment—an application to salmon production systems. *International Journal of LCA.* Consulté le 9 novembre 2008, tiré de <http://www.springerlink.com/content/05020628334362x2/fulltext.pdf>
- Labuschagne, C., Brent A.C., (2005). Sustainable project Life Cycle Management: the need to integrate life cycles in the manufacturing sector. *International Journal of Project Management* 23(2), pp. 159-168.
- Project Management Institute (2004). Corpus des connaissances en management de projet (Guide PMBOK). Troisième édition. Newtown Square : PMI.

- 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. *International Journal of LCA* 13, 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. *International Journal of LCA* 13, pp. 374–388
- Rebitzer, G., Buxmann, K., (2005). The role and implementation of LCA within life cycle management at Alcan. *Journal of Cleaner Production* 13, pp. 1327-1335
- Reyes, T., Millet D., Brissaud, D., (2006). De la nécessité de définir des modèles de trajectoires d'intégration de l'environnement pour les entreprises. In Roucoules et al., *Ingénierie de la conception et cycle de vie des produits* (pp. 279-297). Paris : Lavoisier.
- Salamitou, J., (2004). Management environnemental, Dunod : Paris
- Tingström, J., (2005). The challenge of environmental improvement in different types of innovation projects. In *Advances in Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering*, pp. 33-44
- Tukker, A., (2000). Life cycle assessment as a tool in environmental impact assessment. *Environmental Impact Assessment Review* 20, pp. 435–45

ANNEXE B – ARTICLE DE CONFÉRENCE :**POTENTIAL OF USE OF PLM AND ERP AS
ENVIRONMENTAL DATA SOURCES FOR LCA:
A PROSPECTIVE LITERATURE REVIEW**

L'annexe B est consacré à un second article présenté à la conférence IESM 2009 intitulé : *Potential of use of PLM and ERP as environmental data sources for LCA: a prospective literature review.*

De nombreux auteurs remarquent que rassembler l'information nécessaire à la réalisation d'une ACV est un processus exigeant un investissement en temps et en ressources non négligeable. De plus, la qualité du résultat final est directement affectée par la disponibilité et la fiabilité des données utilisées. Pour ces raisons, différentes méthodes visant à améliorer l'efficacité de la conduite d'une étude ACV ont été proposées. L'article 3 aborde la problématique des données en ACV. Les méthodes actuelles de collecte des données sont présentées, de même que leurs limitations. Cet article propose une approche pragmatique visant à améliorer à la fois la qualité et la fiabilité des résultats d'une ACV. L'utilisation de systèmes de base de données aujourd'hui bien établis de type ERP et PLM a été identifié comme potentiel fort intéressant pour fournir des données primaires lors de la phase d'inventaire de cycle de vie (ICV). L'approche propose pourrait contribuer à la démocratisation de la pensée cycle de vie dans des pratiques d'affaire, ce qui résulterait en des industries plus respectueuses de l'environnement.

International Conference
on Industrial Engineering and Systems Management

IESM' 2009

May 13 - 15, 2009

MONTREAL - CANADA

Potential of use of PLM and ERP as environmental data sources for LCA: a prospective literature review*

Eric MULLER^a, Robert PELLERIN^a,
Manuele MARGNI^b, Valerie BECAERT^b

^a CIRRELT - École Polytechnique de Montréal - Department of mathematics and industrial engineering

^b CIRAIG - École Polytechnique de Montréal - Department of chemical engineering

C.P. 6079, succ. Centre-ville, Montréal (Québec), H3C 3A7, Canada

Abstract

Many authors noticed that the gathering of raw data to perform a LCA is a fairly time and resource-consuming process. Moreover, the quality of the final results is affected by the availability and the reliability of the data used. For these reasons, different methods to improve the performance of conducting an LCA have been proposed. This article addresses the problematic pertaining to the data in LCA. The current ways to collect data are presented, but they present some well known shortcomings. In this article, a new pragmatic approach is presented in order to improve both the quality and the reliability of LCAs results. In fact, a great potential lies in the integration of primary data sources in LCI which are verified through widely used enterprise database systems like ERP- and PLM systems.

* This paper was not presented at any other revue. Corresponding author Eric MULLER. Tel. +1 514 340 4711 #4914.

Email addresses: eric-jean.muller@polymtl.ca (Eric MULLER), robert.pellerin@polymtl.ca (Robert PELLERIN), manuele.margni@polymtl.ca (Manuele MARGNI), valerie.beaert@polymtl.ca (Valerie BECAERT).

The proposed approach could contribute to the global spread of the life cycle thinking in business practices, resulting in more sustainable industries.

Keywords: Product Lifecycle Management (PLM), Enterprise Resource planning (ERP), Life Cycle Assessment (LCA), software integration.

B.1 Introduction

Managing the environment is a complex task due to the interdisciplinary competencies requirement that lies between management, engineering, economy and science. Environmental management should be considered as an integrated system employing vertical management (including processes such as purchasing, product development, manufacturing, etc.) as well as horizontal management (involving all product life cycle stages like resource extraction, transportation, product use, the disposal of a product, etc). Industries and governments in most industrialized countries in Europe, North America and Asia more and more use life cycle assessments (LCA) since the turn of the millennium [Hauschild et al., 2005]. LCA is a data intensive methodology and the quality of data still remains a serious and unsolved problem for LCAs [Reap et al., 2008b]. Therefore data mining is one of the key issues to judge the quality and the confidence we might have on LCA results. A solution to overcome this problem consists in using data from enterprise information systems that most organizations already use in their daily processes as specialized software are very efficient in their own area. However, these stand-alone systems could cause bottlenecks elsewhere in the company's information flows. This poses the question of their practical implementation in corporate IT-systems. This article aims to present the different approaches proposed to date for using enterprise information systems (and by this way primary data) in order to perform LCAs. The focus of this article is on the possibility to combine PLM- and ERP systems with LCA software.

This article is organized as follow. A literature review will first introduce the different concepts. Then, a research- and a system review will be performed. Some research perspectives will be proposed before concluding.

B.2 Literature review

B.2.1 Definition and concepts

An ERP is the enterprises' backbone information system that automates and integrates almost all internal business processes and information systems by a suite of integrated modules ranging from the manufacturing, the logistics, the sales, the accounting to the human resource software [O'Brien & Marakas, 2008]. Recently, the development of dedicated module enables one even to manage projects with an ERP. This kind of information system efficiently manages all the physical and human resources necessary to an enterprise's activity. Nowadays, most companies are employing ERP systems in the core of management information systems [Moon et al., 2003]. ERP systems origin is Material Requirements Planning systems (MRP), which focus was on the calculation of the material needs for production [Saaksvuori & Immonen, 2004].

According to O'Brien & Marakas (2008), the ERP systems evolution can be characterized by four major trends:

- improvements in integration to - and flexibility with other software (extended ERP for example integrates supply chain management (SCM) and customer relationship management (CRM)) ;
- extensions to e-business applications
- broadening to reach new users: to middle and small firms
- the adoption of Internet technologies: (networking capabilities...) makes ERP easier to use with other companies' applications as well as business partners. This evolution step marks the interfacing of enterprises internal with enterprise's external-focused applications (SCM, CRM), or in other words the company's supply chain.

In a similar manner, PLM is defined as “a strategic business approach that applies a consistent set of business solutions in support of the collaborative creation, management, dissemination, and use of product definition information across the extended enterprise from concept to end of life integrating people, processes, business systems, and information” [Jun et al., 2007, p.856]. On the contrary to information processing systems (like CAD), PLM is a connecting technology aiming to provide the necessary conditions to integrate separate information data systems, processes and automations systems. A PLM system database contains basic information, and the updating of this information such as product items and item structures. An item consist in identifying, encoding and giving a name to a physical product, product part or component, a material or a service in standardized and systematic manner. They also identify documents. Some industry branches have national and international standards for creating and unifying items. PLM systems support a broad variety of functions encompassing the creation, updating, distribution, recording, utilization and retrieval of information. Typical features offered by PLM systems include:

- item management: control the information on and the life cycle of the item plus the processes pertaining to the creation and maintenance of items;
- user management: define information access and maintenance rights;
- product structure management and updating
- versioning (draft, accepted, distributed, obsolete) and maintenance of information about the status of documents and items (changes made by whom, when and what);
- information retrieval: for using existing information and for finding links between information (document/file management: location of a specific piece of information – metadata);
- configuration management of products;
- workflow management (or management of tasks): facilitates the communication in decentralized companies;

Moreover, most PLM systems avoid information loss during updating by automatically supporting backup management [Saaksvuori & Immonen, 2004].

PLM and ERP systems support different and complementary functionalities. PLM systems have traditionally been used in the product development process (information system for product data producers), while ERP systems in the product manufacturing process (information system for product data consumers). PLM systems for example rarely support the monitoring of stock levels of items; inversely, the basic information on items may be read into ERP from the PLM system. Therefore, the two systems have to be integrated in practice for building an efficient companywide information system. This connection can be either realized by transfer file or by database integration [Saaksvuori & Immonen, 2004].

Recently, Jun et al. (2007) analyze an interesting concept named closed-loop PLM. The combination of internet, mobile telecommunication technologies, wireless sensors, radio frequency identification device (RFID) tags and several other product identification technologies known as product embedded information device technologies make it now technically possible to collect data during a products' entire lifecycle, enabling this new concept to be implemented. Product data can be controlled and managed without spatial or temporal limitations over the entire product lifecycle stages. In this sense, this concept goes further than the traditional PLM. Many companies (among which Ford and Toyota) are currently implementing this concept using the gathered product lifecycle data in areas such as design improvement for reliability, predictive maintenance and end-of-life product recovery optimization, thus reducing inefficiencies and gaining competitiveness. In a near future, this movement could well diffuse over all applications of a company [Jun et al., 2007].

A quantitative assessment is one of the key prerequisites for designing environmentally-friendly products [Koffler et al., 2008]. In addition to the basic product functionality, the design of a product should address the lifecycle factors such as the ease to manufacture, to re-use, to maintain as well as the environmental impacts. This phase is of paramount

importance because it will determine the whole environmental impact of the product. Only this phase allows changes to the design at a minimal cost [Jun et al., 2007]. Many concepts for integrating environmental concerns into the product design have been proposed. Design for Environment (DfE) (or EcoDesign) is a concept used for the systematic consideration of design issues pertaining to environmental as well as on human health over the life cycle of a product. This concept integrates the life cycle perspective and assumes that the effect of any product on the environment should be considered and reduced at all stages [Hauschild et al., 2005]. Zhang et al. (1999) proposed the GQFD-II as a way to design and to manufacture sustainable products meeting customer requirements for a lower cost. Cagno and Trucco (2004) proposed the integrated green quality function deployment which focuses on the integration of quality with green requirements [Jun et al., 2007].

Among the proposed approaches proposed to date for taking the environment into account, the LCA is the most promising and complete one. An LCA is an iterative process that shows the environmental impacts of a product or a service from its raw material extraction through the use phase to disposal. LCA studies can be performed for a range of different purposes: strategic planning, comparison, company internal innovation, sector-driven innovation, and comparative assertion disclosed to the public.

The International Organization for Standardization (ISO) has issued standards for environmental performance that are recognized all around the globe. The LCA methodology is addressed in ISO 14040:2006 and ISO 14044:2006. To perform an LCA, the following four steps are foreseen:

- Goal and scope definition
- Life-cycle inventory (LCI)
- Life-cycle impact assessment (LCIA)
- Interpretation [ISO 14044]

The LCI step distinguishes between primary and secondary data. Primary data (or foreground data) are data directly collected or measured at the company level, identifying the economic flow of the project. Secondary data (background data) are generic data representing the supply chain activities and related emissions to provide an economic flow. These includes inventory tables that contains hundreds of information on resources used, substances emitted to soil, water, or in the air (so called elementary flows). 105 is an 1998 estimation of the numerical data an analyst could require for the LCI of a complex product consisting of thousands of processes [Otto et al., 2003]. Therefore, the LCIA step aims to interpret LCI assessing the environmental relevance of these elementary flows in order to present it in a way that allows interpretation. This step is supported by different methods (for example: Eco-indicator 99, IMPACT 2002+, LUCAS or TRACI...) which group this data into ‘problem’ or ‘damage’ oriented impact categories.

It is unanimously recognized that the gathering of raw data to perform an LCA is a fairly time and resource-consuming process [Moon et al., 2003; Otto et al., 2003; Hauschild et al., 2005; Kührke et al., 2005; Laurin et al., 2006; Koffler et al., 2008; Reap et al., 2008b]. The costs associated to the data collection can be very large, e.g., when implementing measuring instruments in a plant, when gathering data from the field or when frequently having to collect data so that those remain relevant [Reap et al., 2008b]. This is recognized as the major obstacle to the widespread use of LCA in industry. The quality of data still remains a serious and unsolved problem for LCAs. Björklund classified the uncertainties in LCA due to data quality: badly measured data (also called ‘data inaccuracy’), data gaps, unrepresentative data (proxy), model uncertainties, and uncertainties about methodological choices. In particular local technical uniqueness (technology differences between geographic areas, firms, and even production lines within facilities) is a specific type of data quality problem which becomes problematic when generic data or models are used to represent processes that significantly differ from the norm [Reap et al., 2008b]. These can lead to order of magnitude differences in emissions [Reap et al., 2008a]. Moreover, the quality of the final results may be affected by the reliability of the data used. For these

reasons, other methods to improve the performance of data gathering in LCA must be proposed.

In a pragmatic view, the two data sources types are retrieved in different ways. On the one hand, primary data (site specific) refers to information collected on-site and are contained in company's databases (i.e. ERP, PLM, etc). This data type gives a higher precision on the reality of the company and by this way minimizes the error. On the other hand, secondary data (site generic) refers to information contained in databases (i.e. *ecoinvent*, GABI...) and are related to the most important processes (electricity generation, manufacturing, transports, etc.) and materials (plastics, metals, etc.). However, the major limitation of this data type is that they only reflect the above mentioned processes for the traditional LCA countries [Hauschild et al., 2005]. This data type gives an average of a process and can be used as a proxy for LCAs. Also, when using secondary data, a special attention should be placed on their temporal and geographic origin.

According to Otto et al., (2003), the entire information pertaining to process and product can be further divided into two data groups : global data and local data. On the one hand, global data are information valid for the entire product such as place of manufacture and use. They are globally related to each component and part of an individual product. On the other hand, local data are related to a selected portion of a product. For example, those data describe the materials used or the applicable recycling methods corresponding to a given part or component [Otto et al., 2003]. Figure 1 shows a proposed typology in LCA data.

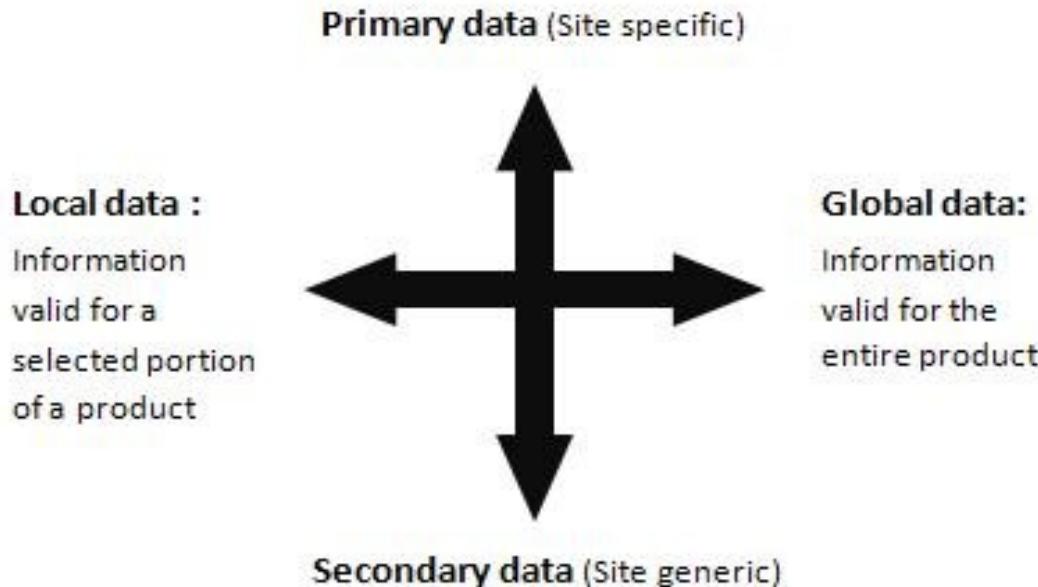


Figure B. 1. Typology in LCA data.

In order to improve the quality and reliability of LCAs results, a great potential lies in the integration of primary data sources in LCI out of enterprise information systems (ERP and PLM) which are verified through enterprise database systems. These data are then combined with generic data and used to feed the LCA of the entire project, which will be evaluated in the LCIA step. Koffler et al. (2008) stressed the interest of integrating the in-house data about manufacturing and assembly processes as well as those from suppliers, logistics... etc. Nevertheless, they left this integration as a challenge for future developments. Figure 2 shows the relation between the vertical and horizontal value chains and the data sources from a manufacturing firm point of view and the various software associated.

	Horizontal value chain	Life cycle stage	Resources extraction	Manufacturing				Use	End of life
		Actors	Upstream suppliers	Company			Customers	Service provider	
Data sources	Vertical value chain	Processes		Purchasing	Product design	Manufacturing	Distribution / transport	Reverse logistics	
	Primary data			CAD, CAE, MES, MRP		Traditional PLM systems		Closed-loop PLM	
		ERP+ SRM	ERP+ SRM	ERP			ERP+ CRM		
		Secondary data		LCA Database (i.e. Ecoinvent...)					

Figure B. 2. Relation between vertical and horizontal value chains and data sources from a manufacturing firm point of view.

B.2.2 Research review

Companies nowadays use information technology to build their own integrated cross-functional enterprise systems that goes beyond the traditional limits of the functions defined in the organization chart. Doing so, companies reengineer and improve the effectiveness and efficiency of their core business processes for the whole organization by sharing information resources and developing strategic relationships with business partners, suppliers and customers. Internet technologies became inescapable for implementing it [O'Brien & Marakas, 2008, p.250]. For example, ERPs systems now integrate customer relationship management (CRM) and supply chain management (SCM) applications. The CRM application aim is to acquire and retain profitable customers via sales, marketing, etc. SAP AG, Siebel systems, Oracle, and Epiphany are some of the leading vendors of CRM software. The focus of a SCM application is to support the development of efficient and effective sourcing and procurement processes with supply chain partners for the company's business needs. Manufacturing information systems support the production/operations

functions related to the production, including the planning and control [O'Brien & Marakas, 2008]. Those systems are used to support computer-aided manufacturing (CAM) which is “an overall concept that stresses that the objectives of computer-based systems in manufacturing must be to:

- Simplify (reengineer) production processes, product designs, and factory organization as a vital foundation to automation and integration;
- Automate production processes and business functions supporting them with computers, machines, robots;
- Integrate all production and support processes using computer networks, cross-functional software, and other information technologies” [O'Brien & Marakas, 2008, p.268].

Computers are widely used by engineers for designing products: they use i.e. computer-aided engineering (CAE) and computer-aided design (CAD) systems. MRP aims to support the plan of the types of material needed in the production process. The integration of MRP with production scheduling and shop floor operations is named manufacturing resource planning [O'Brien & Marakas, 2008]. This last concept typically is supported by the manufacturing module of ERP systems. “Computer-aided manufacturing (CAM) systems are those that automate the production process. For example, this could be accomplished by monitoring and controlling the production process in a factory (manufacturing execution systems, MES) or by directly controlling a physical process (process control),” a machine tool or a robot [O'Brien & Marakas, 2008, p.269]. As we can imagine by the reading of this paragraph, integrating LCA to it can have a truly huge potential for simplifying the performance of LCAs. Nevertheless, this integration will require the change of many internal processes. In the following paragraphs, we will present some of the approaches for integrating LCA to ERP.

ERP systems include much process and product related information needed for performing LCIs, such as bill of material (BOM), bill of specification (BOS) and work orders.

According to Moon et al. (2003), it is technically possible to realize on-line data gathering systems utilizing ERP systems. So far, three different methods for the on-line systems have been proposed, all dealing with the interaction between the ERP system and the LCA software. These methods consist in:

- 1 interfacing the ERP system linked with the external LCA software; or
- 2 adapting the whole LCA functionality into the ERP system ; or
- 3 extracting the LCIA step out of the LCA software to integrate it into the ERP system, while at the same time linking the other steps for the LCA software with the ERP system.

These approaches are illustrated in figure 3.

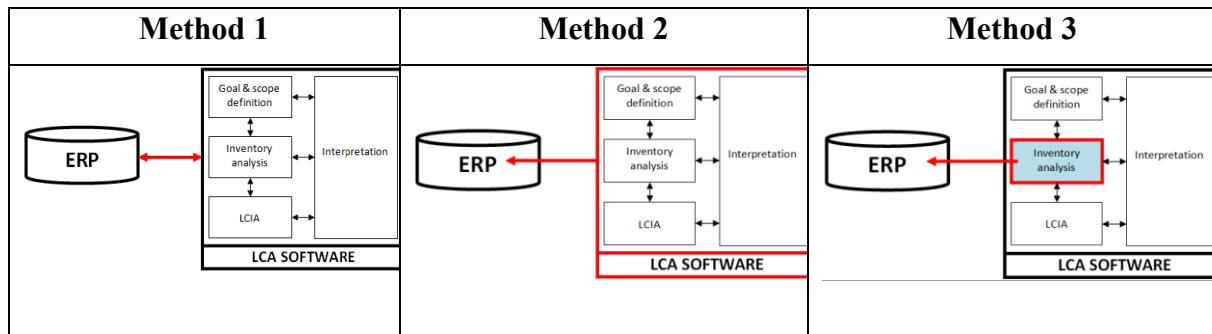


Figure B.3. Approaches for conducting LCAs with ERP systems.

Moon et al. (2003) developed an LCA software package to compute LCA by client/server type that consists of two parts: an LCA tool kit and an interface program. The former serves as a user interface for handling an LCA database server to execute the analysis (i.e. amount of energy, raw materials or the volume of pollutants generated by each component). The interface program connects a data handling system to an on-line data gathering system and retrieve data in three enterprise database systems: an ERP, an environmental management system (EMS) and an energy server system. Moon et al. compared three different ways of performing an LCI (Two of them were on-line methods, and the other is manual) by applying these approaches to a case study in the steel industry. They found the on-line data

gathering method to be nearly 9 times more efficient than the manual data entry in term of time savings. This remains true for costs and data reliability concerns. Surprisingly, they note that interfacing with the ERP alone requires more labor time than interfacing with an ERP plus other database systems. This is explained by the fact that an extra time is needed to set up an additional environmental module in the ERP system. They outline the fact that this system could bring many benefits to an enterprise both in terms of economic and social aspect if this system is expanded in order to encompass the environmental management of the whole company [Moon et al., 2003].

The interface of an LCA software with an ERP system supposes that the latter contains the whole environmental data necessary for the LCA execution [Moon et al., 2003]. Januschkowetz (2001) outlined certain limitations of ERP systems for their use in the LCI step. Materials are partially registered in weights, the data registration is not product but process-oriented, and data are registered on highly aggregated level such as building or plant. Moreover, emissions, energy and water use are not integrated in most commercial ERP packages and are found in stand-alone specific software like EMS. According to Januschkowetz (2001), the performance of the LCI step should be integrated into the ERP system. The LCIA and interpretation steps are done in external LCA software. This method is characterized by the high flexibility in reporting LCIA and takes advantage of simplified maintenance for raw data in the ERP. In order to do so, she integrated the following information into the ERP: weights in BOMs, links between materials and equipment, waste data (either based on an equipment basis or calculated from differences of gross and net weight), energy and water consumption data related to equipment usage, as well as allocation procedures (from higher reporting levels to products). She estimated that the use of SAP R/3 could decrease the costs for conducting an LCA by 50% compared to the costs of currently used stand-alone databases and external LCA studies [Januschkowetz, 2001].

However, Moon et al. (2003) stressed the fact that “it is impossible for clients to perform LCA freely with the personal computers on the desk for other purposes. It is also difficult

for us to manage the inventory data for various data formats, because the results of life cycle inventory (LCI) analysis exist within the boundary of the ERP system. For these reasons, we selected the first interface method as an alternative method to improve the weak points in the third one” [Moon et al., 2003].

Kührke et al. (2005) propose to use the data already kept in the company’s information systems. Their approach describes which information is needed to perform an LCA and how this information is retrieved and processed with an ERP system. According to their approach, the BOM is linked with the appropriate materials and substances contained in the modules Production Planning (PP), Material Management (MM) and Environment, Health and Safety (EH&S) of the ERP system. Following the life-cycle of a product stage by stage, the authors identify the key data and where in the ERP system one can find those. Shortcomings to data availability in ERP systems are also stressed [Kührke et al., 2005].

Abele et al. (2006) followed the same approach. They propose the approach “Environmental Product Lifecycle Management” (ePLM) which aims to integrate the LCA in standard software like ERP. This is realized with the SAP module Compliance for Products (CfP) developed by TechniData AG. In this module, the product structure is extended by the processes of the product lifecycle including production, use, end-of-life and transport. The aim of the computer-aided LCI is to automatically calculate the energy and material flows caused by the processes associated to a product and to link it with conventional LCI databases. To implement this approach, the enterprise internal manufacturing processes of any product has to be customized, which means as much as to preset all environmental process information needed for conducting an LCA. After the customization step, the user enter the product specific information and the tool combines the manufacturing specific information and the product specific information to calculate the energy and material flows that are defined in advance. This approach is innovative because it integrates the LCA into the day-to-day work by using existing enterprise data from the MM, the PP and the EH&S modules. It also uses existing functionalities like the

specification database of the Environment, the supply chain management of the Cfp module and the structured data transfer of the BOM to BOS interface. The SAP NetWeaverTM technology is used to integrate it into the mySAP ERP [Abele et al., 2006].

Koffler et al. (2008) introduced a semi-automated procedure to compile the LCI of a complete vehicle. This procedure can also be applied to vehicle parts. The presented Volkswagen slimLCI procedure face the challenges related to the shortcomings of the LCI procedure in terms of quality as well as the processing of the data. For example, the modeling is standardized so that two LCA practitioners will generate the same LCI results for a specific product. The Volkswagen slimLCI consist in a two interface system which uses a predefined data structure that describes a vehicle by its materials and processing techniques in order to automatically compile an LCI. This procedure reduces the time necessary to perform an LCA by up to 80%. The authors further criticize the streamlining approaches proposed by the SETAC, focusing on the content of an LCI rather than on the process of compiling it [Koffler et al., 2008].

A further example of ERP and LCA system integration is given by Lang-Koetz et al., (2005). They present different kinds of interfaces which can link Environmental Management Information System (EMIS) with ERP system. EMIS supports the optimization of an existing production process in respect to its environmental aspects and can also analyze the environmental consequences of a future production. They present a practical application of BUISWebconnect, a prototypical tool which integrates SAP R/3 and Umberto for waste management. BUISWebconnect reads all waste related data occurring at a workplace and connects them to the work processes from the work order. The user has to perform an allocation of waste related data to material flows. The Web service interface (software system supporting interoperable machine-to-machine interaction over a network) of the SAP R/3 system extracts data from BOMs as well as from confirmed production orders. This data is then linked to data read from a tool based on Microsoft Excel. The collected data (material, energy and financial flows between individual

processes) can then be visualized in Umberto in form of a material flow network and Sankey-Diagram [Lang-Koetz et al., 2005].

Bullinger & Jürgens (2002) focus on the question of how to use production data as the basis for the calculation of LCI. They propose a concept using business objects as central basic element, which present the advantage to simplify the retrieval of data contained in an ERP system for the regular calculation of LCI. They implemented this concept in a software prototype, which provides two interfaces. Data on business objects can be imported into the database of the software prototype via the interface to the ERP system. LCI data is imported to a stand-alone LCA software system via the interface. The software prototype has been tested in two industrial companies, what proved its practical application [Bullinger & Jürgens, 2002].

Otto et al. (2003) introduced a framework for the integration of data from product model and an LCI database using CAD software. They developed a prototype implemented in two companies that supports four interface functions: “computing product bound lists for material inventory, waste material inventory, surface finish inventory and feature sets determining the range of the product inventory calculations.” The association of these data with information about product life cycles (geographic and time specification, conditions of use, maintenance, retirement...etc.) can then be combined with an LCI database in order to compile a product’s LCI. According to their approach, a semi-automatic computer-aided extraction of the inventory data available in digital process and product models has to be implemented. An efficient access to LCI-relevant data by utilizing feature technology as a means to relate to individual product properties is presented. They also gave some requirements that need to be considered for doing so [Otto et al., 2003].

Koffler et al. (2008) identified the list of component as the main data source for complex products. This document contains information about the hierachic structure, number and weights of components and some information about the materials used. Other possible data sources for weight and material informations are technical drawings and databases. Some

industries are forced to comply with national and international standards, laws, directives and regulations about environmental aspects of their products. Prime examples are the different European Union's directives for end-of-life of vehicles (2000/53/EC), for waste electrical and electronic equipment (WEEE) (2002/96/EC and Amendment 2003/108/EC), energy using products or for the restriction of hazardous substances (RoHS) [Hauschild et al., 2005]. For example, leading car manufacturers developed the international material data system (IMDS) in which all materials used to manufacture a car are archived and maintained. The whole automotive supply chain (entire car companies and their suppliers) is included into this system that will help to recycle cars at the end of their life [IMDS, 2008].

B.2.3 System review

Conscious of the above mentioned potential, software vendors developed some solutions considering these aspects. In this section, we propose to present in outline some current software solutions available for ERP, PLM and LCA. The major trend is that ERP and PLM systems vendors as well as LCA software developers are moving towards easier software integration, however taking different approaches. ERP vendors try to integrate PLM systems functionalities into ERPs while PLM and LCA software vendors try to make their software solutions interoperable to ERP systems.

The ERP market is now mature and consolidated. In 2007, top 5 vendors (*SAP AG, Oracle, Infor, Sage Group and Microsoft*) account for nearly 80% of the ERP vendors' total revenue. Here is to mention that the 2006 ERP license revenue originated for more than 85% from North America and Europe. The Product Lifecycle Management application segment only represents 2% of the 2006 total revenue share of ERP market, while the Enterprise Management and Customer Management application segments respectively accounted for 53% and 19% [AMR Research, 2007]. ERP vendors developed web-enabled software suites integrating major business functions and applications like procurement, SCM and CRM to ERP. Oracle's e-Business Suite and SAP's mySAP are examples. The

aim is to simplify the everyday running of a business by using one single software and database [O'Brien & Marakas, 2008].

An interesting solution for retrieving primary LCI data is the SAP xEM which provides functions that help simplify emissions and compliance management. This software solution is based on more than 20 different industries best practices, aligned with existing business processes. SAP xEM supports compliance-, permit-, emissions-, and greenhouse gas management as well as the associated reporting and documentation. It incorporates data from various SAP products as for example material consumption, emissions-relevant substances and equipment data [SAP, 2005].

SAP AG also proposes the SAP Product Lifecycle Management which features and functions include: Life-cycle data management (Help managing specifications, BOMs, routing and resource data, project structures, and related technical documentation throughout the product life cycle); Program and project management (Including capabilities to plan, manage, and control the complete product development process); Life-cycle data collaboration; Supports collaborative engineering and project management, help communicating informations (documents, product structures...); Quality management; EH&S and Enterprise asset management (For managing physical assets and equipment, from the investment idea to the retirement of the asset) [SAP, 2008].

Dassault Systems is the one of the world leading firm in the 3 dimensions (3D) and PLM software solutions. Their products are widely used in the industry "and provide a 3D vision of the entire lifecycle of products from conception to maintenance. The Dassault Systems portfolio consists of CATIA for designing the virtual product; SolidWorks for 3D mechanical design; DELMIA for virtual production; SIMULIA for virtual testing and ENOVIA for global collaborative lifecycle management" [Dassault Systems, 2006].

Nowadays, more than fifty software tools able to perform LCAs are identified. A list edited by the European Commission can be found at the following address: <http://LCA.jrc.ec.europa.eu/LCAinfohub/toolList.vm>. A few LCA software tools are GaBi,

SimaPro, TEAM or Umberto. Those software are mostly of stand-alone type and supply some LCA databases together [Hauschild et al., 2005]. However, much time and human resources to perform an LCA is still required. According to Moon et al., (2003), the development of client/server type LCA software can efficiently address this problem by storing LCA data automatically in a database. The connectivity of LCA software to other applications is a trend followed for instance by SimaPro, TEAM or Umberto. This latter allows to be connected to standard business software like ERPs, what has the advantage to avoid redundant data entry [IFU, 2008]. Simapro has a COM interface. Another example is the GaBi software suite. For example, GaBi DfX allows to import product related data directly from the BOM through an interface supporting standard file formats. This has the advantage to fasten the modeling and analysis of complex products. This software offers many features functions to analyse the products life cycle, to support compliance with directives and laws, as well as to support the recycling orientated product design and analysis function of disassembly processes [PE International].

B.3 Research perspectives

To our knowledge, the possibility to integrate the information contained in ERP systems, the PLM systems as well as LCA software together hasn't been addressed so far. Yet, the potential of the integration of these data is truly enormous. From a business point of view as from a purely environmental point of view. For conducting an LCA, being able to easily retrieve all this information could result in huge benefits. These benefits can be expressed in terms of:

- time and resource saved in the process of data collection;
- increasing data accessibility and errors minimization ;
- increasing capacity of performing an LCA by reducing the time for data gathering. This could mark a decisive step towards the widespread application of LCA as an everyday business procedure.

Those data could i.e. be integrated in a data warehouse, which is defined as “an integrated collection of data extracted from operational, historical, and external databases, and cleaned, transformed, and cataloged for retrieval and analysis (data mining), to provide business intelligence for business decision making” [O’Brien & Marakas, 2008, p.593]. However, there is a scale-effect to found between the benefits of performing LCAs with this integration and the investment required. The more LCAs one will conduct, the more benefits will be felt.

A great potential for improving the quality of LCI data lies in the integration of the concept of closed-loop PLM with LCA. Doing so, one could easily and automatically collect primary data from the use and end-of-life life-cycle stages. This has a promising potential to reduce the uncertainties traditionally related to these LCA stages. This potential could be further extended by executing an LCA with ERP systems. However, Jun et al., (2007) outlined the interfacing issues pertaining to the integration of closed-loop PLM and ERP as a further research issue to be addressed.

Taking the broader point of view of an entire LCA, the overall goal of the integration of PLM, ERP and LCA software systems is to streamline the LCA: in other words to make it more efficient and simple. This integration should combine the strengths of each software type, resulting in gains in terms of both data quality and efficiency of performance of an LCA. Manufacturing companies could benefit a lot of this integration. Consider the example of the transportation industry, in which companies have to manage very complex product systems. How many thousands pieces and processes are needed only to finalize the assembly of a car, an aircraft or a train? This remains true for other product systems, are they complex or not. Here the eco-conception (or DfE) application is, among many other possibilities of particular interest. Leading companies can have major influence on their respective industries. For instance, the Volkswagen group conducts LCAs on its products for more than 10 years [Koffler et al., 2008]. On average, car manufacturers have to deal with the complexity of data from 6000 parts that compose an average car model, each part

connected to a given number of materials and process steps. Take the example of leading car manufacturers which asked their suppliers to transmit environmental data about materials in the supplied parts by the implementation of IMDS. This top-down measure has a domino-effect on the entire automotive supply chain and could serve as an example.

The proposed system integration could help industries to implement the above mentioned measures, without impacting their competitiveness as the costs associated with the data collection and retrieval could dramatically drop. Those two conditions were noticed by Kührke et al., 2005. As the associated costs are relatively reasonable and as long as LCA expertise is available, this solution could also be thought to be suited for industries in developing countries. The proposed approach could contribute to the global spread of the life cycle thinking in business practices, resulting in more sustainable industries.

B.4 Conclusion

Various authors had the vision to integrate LCA with ERP systems and all developed their own prototype, so that the necessary tools to support a widespread use of LCA by industry already exist. However they are fragmented and no method seems to impose as a standard. The integration of PLM, ERP and LCA software will certainly mark a huge progress towards the implementation of LCA as an everyday business process in manufacturing firms. Even if huge advances are made in the LCA field, software tools can only help to support the performance of an LCA by an expert. It has to be stressed that the interpretation stage in particular of any LCA absolutely needs human expertise to make an accurate evaluation of the results. Only an LCA expert can make appropriate interpretations taking into account the availability and the quality of the data. Possible technical complications related to the implementation of this approach put aside, the latter could help to the global spread of the life cycle thinking, resulting in more sustainable industry practices.

References

- [1] Abele, E., Feickert, S., Kahrke, B., Clesle, F.-D., (2006). Environmental Product Lifecycle Management-Customizing the Enterprise Specific Manufacturing Processes. *13th CIRP international conference on life cycle engineering. Proceedings of LCE 2006*, pp. 651–656.
- [2] AMR Research (2007). http://www.sap.com/solutions/business-suite/erp/pdf/AMR_ERP_Market_Sizing_2006-2011.pdf. Consulted on dec., 29th 2008.
- [3] Bullinger, H-J., Jürgens, G., (2002). Regular application of LCA in industrial practice. *International Journal of Environment and Sustainable Development 1(2)*, pp. 133-141.
- [4] Dassault systems (2006). ENOVIA VPLM Solutions. Product presentation.
- [5] European Commission - DG Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability (2008). Last accessed on aug., 12th. URL: <http://LCA.jrc.ec.europa.eu/LCAinfohub/toolList.vm>
- [6] Hauschild, J. Jeswiet, L. Alting, (2005). From Life Cycle Assessment to Sustainable Production: Status and Perspectives. *CIRP Annals - Manufacturing Technology 54(2)*, pp. 1-21.
- [7] IFU (Institute for Environmental Informatics) Hamburg. Umberto flyer. Consulted on november, 2nd 2008.URL: http://www.umberto.de/export/download/umberto_en/umberto_i_fly_en.pdf
- [8] IMDS. http://www.mdsystem.com/html/en/home_en.htm. Consulted on dec. 14th 2008.
- [9] ISO 14044 (2006). Environmental management– Life cycle assessment – Requirements and guidelines, *Geneva : International Organization for Standardization*.
- [10] Januschkowitz, A. (2001). Use of Enterprise Resource Planning Systems for Life Cycle Assessment and Product Stewardship. (Ph.D., Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania, USA). (UMI No. 3040461). Consulted on march 13th 2008, from Proquest Dissertations and Theses.
- [11] Jun, H-B, Kiritsis, D., Xirouchakis, P., (2007). Research issues on closed-loop PLM. *Computers in Industry 58*, 855–868.

- [12] Koffler, C., Krinke, S., Schebek, L., Buchgeister, J. (2008). Volkswagen slimLCI: a procedure for streamlined inventory modeling within life cycle assessment of vehicles. *Int. J. Vehicle Design*, 46(2), pp. 172-188.
- [13] Kahrke, B., Feickert, S., Abele, E., Clesle, F-D. (2005). Environmental assessment and life cycle collaboration integrated in E-business solutions. *Fourth International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, - Eco Design 2005*, Tokyo, Japan.
- [14] Lang-Koetz, C., Lange, H., Meyer, C., (2005). Environment meets Web Service. An Exemplary Approach to Integrating an ERP System with an Environmental Management Information System (EMIS) Using Web Services Technology. *Proceedings / ITEE 2005, Second International ICSC Symposium on Information Technologies in Environmental Engineering*. pp.1-11.
- [15] Laurin, L., Norris, G., Goedkoop, M., (2006). Automated LCA -a practical solution for electronics manufacturers? (electronic version). *Proceedings of the 2006 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*, Scottsdale, Arizona (pp. 6-8). Piscataway, NJ: IEEE.
- [16] Moon, J.M., Chung, K.S., Eun, J.H., Chung, J.S. (2003). Life Cycle Assessment through On-Line Database Linked with Various Enterprise Database Systems. *International Journal of LCA* 8 (4), pp. 226 – 234 .
- [17] O'Brien, J.A., Marakas, G.M., (2008). Management information systems. Eighth Edition. New-York, McGraw-Hill.
- [18] Otto, H.E., Kimura, F., Mandorli, F., Germani, M., (2003). Integration of CAD Models with LCA (electronic version). *Eco Design 2003. Proceedings - Third International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*, Tokyo, Japan, pp. 155-162.
- [19] PE International. Consulted on nov. 2nd 2008. URL: <http://www.gabi-software.com/gabi/gabi-dfx/about-gabi-dfx>

- [20] 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. *International Journal of LCA* 13, pp. 290–300.
- [21] Reap, J., Roman, F., Duncan, S., Bras, B. (2008b). A survey of unresolved problems in life cycle assessment. Part 2: impact assessment and interpretation. *International Journal of LCA* 13, pp. 374–388.
- [22] Saaksvuori, A., Immonen, A., (2004). Product Lifecycle Management. Berlin, Springer.
- [23] SAP AG, (2005). SAP® xApp™ Emissions management. Compliance and Emissions Management.
- [24] SAP AG, (2008). mySAP™ Product Lifecycle Management. Consulted on dec. 22nd, 2008 <http://www.sap.com/solutions/business-suite/plm/featuresfunctions/index.epx>