

Titre: Intégration des critères de conception et de l'analyse de cycle de vie simplifiée pour l'écoconception de produits à usage unique
Title: vie simplifiée pour l'écoconception de produits à usage unique

Auteur: Mylène Fugère
Author:

Date: 2009

Type: Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

Référence: Fugère, M. (2009). Intégration des critères de conception et de l'analyse de cycle de vie simplifiée pour l'écoconception de produits à usage unique [Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal]. PolyPublie.
Citation: <https://publications.polymtl.ca/195/>

 **Document en libre accès dans PolyPublie**
Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/195/>
PolyPublie URL:

Directeurs de recherche: Réjean Samson, & Manuele Margni
Advisors:

Programme: Génie chimique
Program:

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

**INTÉGRATION DES CRITÈRES DE CONCEPTION ET DE L'ANALYSE
DE CYCLE DE VIE SIMPLIFIÉE POUR L'ÉCOCONCEPTION DE
PRODUITS À USAGE UNIQUE**

MYLÈNE FUGÈRE

DÉPARTEMENT DE GÉNIE CHIMIQUE
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES

(GÉNIE CHIMIQUE)

DÉCEMBRE 2009

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

INTÉGRATION DES CRITÈRES DE CONCEPTION ET DE L'ANALYSE DE CYCLE DE
VIE SIMPLIFIÉE POUR L'ÉCOCONCEPTION DE PRODUITS À USAGE UNIQUE

présenté par : FUGÈRE Mylène

en vue de l'obtention du diplôme de : Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

M. LEGROS Robert, Ph.D., président

M. SAMSON Réjean, Ph.D., membre et directeur de recherche

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

M. LESAGE Pascal, Ph.D., membre

REMERCIEMENTS

J'aimerais remercier mon directeur de recherche, le Pr Réjean Samson, de m'avoir confié ce projet. Ce projet de recherche m'a non seulement amenée à développer des compétences dans le domaine de l'environnement, mais il m'a aussi permis de vivre pleinement l'expérience de la recherche scientifique. J'aimerais également remercier Julie-Anne Chayer, Dr Valérie Bécaert, Dr Gontran Bage ainsi que Dr Manuele Margni de leur grande disponibilité et de l'aide reçue pendant ces deux dernières années.

Je voudrais également souligner l'apport de ceux qui ont collaboré à ce projet, en particulier tous les participants à l'étude de cas qui ont transmis les informations sans lesquelles ce projet n'aurait pu être réalisé. Merci à mon partenaire industriel pour son soutien et sa participation enthousiaste. Grâce au savoir des écodesigns Geneviève Dionne et Pr. Sylvain Plouffe du laboratoire d'écodesign (CIRAIG-UdeM), beaucoup d'idées ont germés suite aux discussions que nous avons eues. D'ailleurs, j'aimerais signaler la précieuse collaboration du CETIM qui m'a fourni certaines informations confidentielles par rapport à l'outil ATEP.

J'aimerais remercier les étudiants du CIRAIG, en particulier mes amis du bureau A-683.6 pour les nombreuses discussions et leur support. Merci à Chantal pour son rire de sorcière. Merci aux jeunes professionnelles actives pour leur présence.

Merci à ma famille : Rose, Marie-Douce, Ghislain et Rui. Merci également au boulevard St-Martin pour ses cafés et pour être une aussi belle démonstration du besoin que nous avons collectivement d'appliquer la philosophie de la pensée cycle de vie.

Je tiens aussi à remercier les partenaires de la Chaire internationale en analyse du cycle de vie pour leur soutien financier : ArcelorMittal, Bell, Cascades, Éco Entreprises Québec, Recyc-Québec, EDF-GDF, Desjardins, Hydro-Québec, Johnson&Johnson, Rio Tinto Alcan, Rona, Total, SAQ et Veolia Environnement.

RÉSUMÉ

Un grand nombre de méthodologies permettent d'évaluer les impacts environnementaux des produits et contribuent à inclure l'environnement lors des processus de conception et d'amélioration de produits. Parmi ces méthodologies, l'analyse de cycle de vie (ACV) occupe une place de choix, car elle permet de quantifier différentes catégories d'impacts environnementaux potentiels concernant tout le cycle de vie du produit, et ce, grâce à la modélisation des mécanismes environnementaux. Il s'agit d'un cadre méthodologique reconnu, régi par les normes ISO 14040 et 14044.

Il existe également des approches permettant de simplifier la réalisation d'une étude ACV, afin de réduire le temps et les efforts consacrés. Ces approches, dites ACV simplifiées, peuvent être à dominance qualitative ou quantitative, dépendamment des données nécessaires à leur réalisation et de la méthode employée pour évaluer les impacts ou les aspects environnementaux. Tout comme pour les ACV réalisées de manière plus détaillée, les ACV simplifiées peuvent être utilisées afin d'identifier les points chauds d'un produit. Dans le cadre de ce projet, les points chauds désignent les processus du cycle de vie ou les éléments du produit (par exemple ses composants) qui contribuent de manière significative à l'une des catégories d'impacts ou d'aspects environnementaux évalués.

L'identification des points chauds s'avère un point de départ judicieux afin de fournir une information simple à comprendre pour le concepteur de produits afin de lui permettre d'identifier des opportunités d'améliorations du point de vue environnemental, mais sans le contraindre à suivre une démarche d'écoconception rigide. De cette manière, le concepteur de produits a la possibilité de demeurer créatif tout en ayant accès à l'information environnementale dont il a besoin. De plus, l'identification des points chauds évite de générer des options de conception de produits qui offrent peu d'opportunités en termes d'améliorations environnementales puisqu'elles ne ciblent pas les éléments clés du cycle de vie du produit.

Le contexte dans lequel s'inscrit ce projet de recherche correspond à l'écoconception de produits manufacturiers, plus particulièrement concernant les produits à usage unique. Or dans un contexte d'écoconception il est important de tenir compte des différents critères de conception que le produit doit respecter pour répondre aux besoins des utilisateurs. Ce projet vise donc à identifier les points chauds du produit grâce à des approches d'ACV simplifiée et à les présenter

en relation avec les critères de conception. Aussi l'hypothèse de recherche suivante a été énoncée : *Dans un processus d'écoconception de produits manufacturiers à usage unique, l'utilisation d'une matrice ACV-fonctionnelle intégrant les données de l'ACV simplifiée et les fonctionnalités du produit permet de cibler des points d'améliorations.* Elle est séparée en deux objectifs distincts. Premièrement, étudier les possibilités de simplification de l'ACV, de manière à réduire le temps et les efforts nécessaires à la réalisation d'une étude. Dans un deuxième temps, développer des matrices ACV-fonctionnelle afin de mettre en relation les impacts environnementaux des produits avec des critères de design, soit les fonctions de produits.

Tout d'abord, une étude ACV sur un produit à usage unique a été comparée à trois autres approches simplifiées: 1) la méthode matricielle *Environmentally Responsible Product Assessment* (ERPA) ainsi que 2) l'analyse typologique environnementale de produit (ATEP), soit deux méthodologies de nature principalement qualitatives basées sur des règles du pouce et le jugement d'experts environnementaux, et 3) le tableau *Material, Energy, Chemical and Other* (MECO), qui est basé sur les données quantitatives d'inventaire. Malgré le fait que l'outil ATEP et la méthode ERPA sont les plus faciles à utiliser, leur application a révélé que les données et les règles environnementales utilisées par ces approches sont trop génériques, ce qui peut être problématique dans le cas d'un produit de consommation destiné à un usage unique. Les résultats ont également montré que, pour un temps et des efforts investis équivalents à ceux requis par la méthode MECO, l'ACV est l'option produisant les résultats les plus fiables (elle permet de quantifier plusieurs catégories d'impacts environnementaux à l'aide d'indicateurs basés sur les chaînes de cause à effet) pour identifier les points chauds des produits.

Ensuite, une approche matricielle a été développée afin de mettre en relation les résultats d'ACV (c.-à-d. le profil environnemental) avec les critères de design (c.-à-d. le profil fonctionnel). Cette approche intègre deux types de matrices, appelées matrices ACV-fonctionnelles. La première matrice ACV-fonctionnelle proposée est basée sur les aspects environnementaux du produit, c'est-à-dire les principales activités survenant au cours du cycle de vie du produit. Elle permet donc de montrer la contribution environnementale et fonctionnelle de chacun des aspects environnementaux évalués. La deuxième matrice ACV-fonctionnelle est basée sur les composants du produit, puisqu'il s'agit d'un élément au cœur du processus de conception pour le produit à usage unique étudié.

ABSTRACT

Nowadays, several available environmental assessment methodologies allow the inclusion of life cycle aspects during the product development process. This practice is commonly called ecodesign. Among them, Life Cycle Analysis (LCA) plays an important role once it enables the evaluation of a product through its whole life, from cradle to gate, providing a comprehensive environmental profile. LCA is a methodological framework regulated by ISO standards which uses natural science based modeling, describing cause-effect relationships, to quantify the potential environmental impacts of a product.

However, other simplified approaches have been developed in order to reduce the time and effort associated with detailed LCA studies. These approaches, called simplified or streamlined LCA, may be qualitative or quantitative, depending on the required data for their implementation and the methods used to assess the environmental aspects or impacts or . Such as detailed LCA, simplified LCA can be used to identify hot spots of a product. Under this project, the term hot spots designate the life cycle aspects or the elements of the product (e.g. product components) which significantly contribute to one of the environmental categories evaluated.

The identification of hot spots can be a starting point to provide simple information to the product designer, considering they help to ascertain opportunities in the environmental point of view, without the need to follow a rigid ecodesign approach. Thereby, the product designer can remain creative, while having access to environmental information. Furthermore, the identification of hot spots avoids product design options that offer little environmental improvement because they do not target the key elements of the life cycle of the product.

Therefore, this research aims the identification of hot spots through several streamlined LCA approaches. In a context of single-use products improvement, it is important to take into account not only the environmental impacts but also the product design criteria which comply with users' expectations. This project will therefore emphasize the environmental hot spots in relationship with the product design criteria.

The research project objectives can be separated into two distinct ones. First, to consider the possibilities of simplifying LCA, thereby reducing the time and effort required to conduct a LCA

study. And, second, to develop a matrix (called LCA-functional) to associate the LCA results with the design criteria, the so-called functionalities of the products.

In this project, a LCA on a single-use consumer product was compared to three other streamlined LCA methods: 1) Environmentally Responsible Product Assessment (ERPA), 2) Typological Environmental Analysis (TEA), both qualitative methodologies based on environmental rules of thumb and expert judgment, and 3) Material, Energy, Chemicals and Others (MECO), which is based on inventory data. Despite the fact that TEA and ERPA methods are easier to be executed, their application revealed that the data and the environmental rules used are too generic, which can be problematic in the case of a consumer designed single-use products. Results also showed that for an equivalent time and effort invested for the MECO method, LCA is the most reliable option (up to the environmental impacts using indicator based on cause-effect chain) to identify product hot spots.

Then, a matrix-based approach was developed to implement the LCA results (i.e. the environmental profile) into the design criteria (i.e. the functional profile). Two LCA-functional matrices have been developed. The first one assesses environmental aspects and the second evaluates the product components. The results highlight the relationships between quantitative LCA results and qualitative information on product specifications. This leads to a more relevant identification of environmental and functional “hot spots”. Both matrices were applied to the case of an absorbent single-use product to show the applicability of the approach as a tool for ecoredesign.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	III
RÉSUMÉ.....	IV
ABSTRACT	VI
TABLE DES MATIÈRES	VIII
LISTE DES TABLEAUX.....	XIII
LISTE DES FIGURES.....	XVI
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	XVIII
LISTE DES DÉFINITIONS.....	XIX
LISTE DES ANNEXES.....	XXI
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1 REVUE DE LITTÉRATURE.....	3
1.1 Écoconception.....	3
1.1.1 Définition écoconception	3
1.1.2 Typologie des approches d'écoconception	4
1.1.3 Caractère multidisciplinaire de l'écoconception.....	5
1.1.4 Paradoxe de l'écoconception.....	6
1.1.5 Outils d'écoconception.....	7
1.2 Analyse du cycle de vie.....	8
1.2.1 Définition de l'analyse de cycle de vie	9
1.2.2 Phase 1 de l'ACV : la définition des objectifs et du champ de l'étude.....	9
1.2.3 Phase 2 de l'ACV: l'analyse de l'inventaire	10
1.2.4 Phase 3 de l'ACV : l'évaluation des impacts.....	10

1.2.5	Phase 4 de l'ACV : l'interprétation.....	12
1.2.6	Critiques exprimées par rapport à l'analyse du cycle de vie.....	12
1.2.7	ACV dans le cadre de l'écoconception d'un produit	13
1.2.8	Identification des points chauds d'un système à l'aide d'une étude ACV.....	13
1.2.9	Problèmes liés à l'utilisation de l'ACV lors des premières phases du design	14
1.3	ACV simplifiées.....	16
1.3.1	ACV simplifiées par rapport aux ACV détaillées.....	17
1.3.2	Résumé des méthodes d'analyse de cycle de vie simplifiées existantes.....	18
1.3.3	Méthodes matricielles basées sur un jugement d'experts	22
1.3.4	Méthodes basées sur l'utilisation de la logique floue	22
1.3.5	Méthodes basées sur la typologie environnementale	22
1.3.6	Méthodes de tableaux de données relatives au cycle de vie	23
1.3.7	Méthodes basées sur des indicateurs environnementaux	24
1.3.8	Simplification de l'analyse de cycle de vie (« Screening LCA »)	25
1.4	Méthodes d'ACV simplifiées sélectionnées	26
1.4.1	Méthode Environmentally Responsible Product Assesment (ERPA).....	26
1.4.2	Méthode MECO	28
1.4.3	L'outil ATEP.....	31
1.5	Analyses des critères de conception et des fonctions de produit	34
1.5.1	Fonctions de produits selon le domaine de la conception de produits.....	35
1.5.2	Fonctions de produit selon le domaine de l'analyse de cycle de vie.....	35
1.5.3	Types de fonctions de produits.....	36
1.5.4	Méthode « Quality Function Deployment ».....	37
1.5.5	Méthode QFD environnementale	38

1.5.6	Matrice écofonctionnelle.....	40
1.6	Synthèse critique de la revue de littérature	41
CHAPITRE 2 HYPOTHÈSE ET OBJECTIFS		43
2.1	Hypothèse de recherche	43
2.2	Objectifs	43
2.3	Sous-objectifs et organisation de la recherche	43
CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE.....		45
3.1	Approche conceptuelle.....	45
3.1.1	Écoconception	45
3.1.2	Points chauds.....	46
3.1.3	Analyse de cycle de vie détaillée	46
3.1.4	Analyse de cycle de vie de type screening.....	47
3.1.5	Analyse de cycle de vie simplifiée.....	47
3.1.6	Fonctions, critères de conception	47
3.2	Objectif 1 : Comparaison des ACV simplifiées.....	48
3.2.1	Réalisation d'une étude de cas	48
3.2.2	Sélection des approches simplifiées pour la comparaison	51
3.2.3	Comparaison des résultats d'ACV simplifiées.....	53
3.3	Objectif 2 : Développement d'une interface entre les résultats d'ACV et les critères de conception.....	54
3.3.1	Processus d'améliorations et de développement de produits de l'entreprise étudiée	54
3.3.2	Identification des critères de conception.....	54
3.3.3	Développer l'interface entre les données d'ACV et les critères de conception	55

CHAPITRE 4	RÉSULTATS : COMPARAISON DES ACV SIMPLIFIÉES	56
4.1	Étude de cas.....	56
4.1.1	Niveau de simplification de l'ACV réalisée	56
4.1.2	Résultats de l'étude ACV	56
4.2	Comparaisons de méthodes d'ACV simplifiées.....	60
4.2.1	Facilité d'utilisation des méthodes.....	60
4.2.2	Qualité de l'évaluation réalisée	63
CHAPITRE 5	RÉSULTATS : DÉVELOPPEMENT D'UNE INTERFACE ENTRE LES RÉSULTATS D'ACV ET LES CRITÈRES DE CONCEPTION	67
5.1	Processus d'améliorations et de développement de produits de l'entreprise étudiée	67
5.1.1	Culture de l'entreprise et culture de développement de produits.....	67
5.1.2	Intégration des aspects environnementaux.....	69
5.2	Présentation de l'article : Écoconception de produits à usage unique : inclure les fonctions de produits dans l'ACV	71
5.2.1	Ecodesign of Single-Use Products: Consideration of Product Functions within LCA	71
5.2.1.1	Abstract	71
5.2.1.2	Introduction	72
5.2.1.3	Objectives.....	76
5.2.1.4	Methodology	76
5.2.1.5	Results.....	83
5.2.1.6	Discussion	87
5.2.1.7	Conclusions	89
5.2.1.8	Acknowledgment	90

5.2.1.9	Reference.....	90
CHAPITRE 6 DISCUSSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVE		92
6.1	Objectif 1 : Comparaison des ACV simplifiées	92
6.1.1	ATEP.....	92
6.1.2	ERPA.....	93
6.1.3	MECO	94
6.1.4	Analyse de cycle de vie.....	94
6.2	Objectif 2 : Développement d'une interface entre les résultats d'ACV et les critères de conception.....	95
6.2.1	Niveau d'écoconception.....	95
6.2.2	Adaptabilité des matrices ACV-fonctionnelle	96
6.2.3	Évaluation du profil fonctionnel	98
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS		100
BIBLIOGRAPHIE		103
ANNEXES		110

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : Niveaux d'écoconception (Brezet, H., 1997; Stevels, 1999).....	4
Tableau 1.2 : Les quatre situations d'écoconception définies par Abrassart et Aggeri (2007).....	5
Tableau 1.3 : Résumé des principales méthodologies d'analyse de cycle de vie simplifiées	19
Tableau 1.4 : Exemples de différents processus de simplification d'ACV (Graedel, 1998; Hur Tak et al., 2005)	25
Tableau 1.5 : Exemple de matrice ERPA (Graedel, 1998)	26
Tableau 1.6 : Catégories de la méthode MECO et types d'impacts associées (Wenzel et al., 2000)	29
Tableau 1.7 : Principes et justifications de la méthode MECO (Wenzel et al., 2000).....	30
Tableau 1.8 : Tableau des résultats de la méthode MECO	31
Tableau 1.9 : Aspects environnementaux pris en compte dans l'outil ATEP.....	32
Tableau 1.10 : Approche matricielle d'écoredesign proposée par Bovea et Wang (2007) appliquée au cas d'une table de bureau	39
Tableau 1.11 : Matrice écofonctionnelle pour le cas d'une radio de communication de pompier (adapté de Lagerstedt, 2003).....	41
Tableau 2.1 : Organisation de la recherche	44
Tableau 3.1 : Composants du produit et leur fonction principale	49
Tableau 3.2 : Critères utilisés pour sélectionner les approches simplifiées	51
Tableau 3.3 : Critères d'évaluation utilisés pour comparer les méthodes d'ACV simplifiée	53
Tableau 3.4 : Possibilités envisagées concernant le profil environnemental et le profil fonctionnel.....	55
Tableau 4.1 : Contribution relative des différents composants relativement à l'étape du cycle de vie de l'approvisionnement (catégories de dommages, IMPACT 2002+).....	57

Tableau 4.2 : Variation des dommages environnementaux pour les scénarios de conception par rapport au produit non modifié (Catégories de dommages, IMPACT 2002+)	58
Tableau 4.3 : Résumé de l'analyse de sensibilité.....	59
Tableau 4.4 : Types de données nécessaires pour différentes ACV	61
Tableau 4.5 : Données nécessaires pour l'application de différentes méthodes d'ACV simplifiées	62
Tableau 4.6 : Types d'évaluations environnementales pour chaque méthode d'ACV simplifiée.....	64
Tableau 4.7 : Classement de l'importance des étapes du cycle de vie obtenu à l'aide des différentes méthodes	65
Tableau 5.1 : Implication des différents départements de l'entreprise dans le	68
Tableau 5.2 : Raisons les plus importantes pour réduire les impacts environnementaux des produits.....	70
Tableau 5.3 : Functions of absorbent hygiene products (classified according to the three groups proposed by Weidema [8]).....	74
Tableau 5.4 : Environmental aspect-based LCA-functional matrix.....	81
Tableau 5.5 : Component-based LCA-Functional matrix.....	82
Tableau 5.6 : Relative contribution of life cycle stages (IMPACT 2002+, damage).....	84
Tableau 5.7 : Environmental aspect-based LCA-functional matrix applied to the case of a single-use absorbent product.....	85
Tableau 5.8 : Component-based LCA-functional matrix applied to the case of a single-use absorbent product	87
Tableau I.1 : Stratégies d'écoconception (Brezet, J. C. & van Hemel, 1997; Janin, 2000).....	110
Tableau II.1 : Départements les plus impliqués dans le développement de produit	114
Tableau II.2 : Raisons qui motivent le plus souvent les projets de développement et d'améliorations de produits.....	115

Tableau II.3 : Changements les plus fréquents concernent le produit visé par l'étude ACV	116
Tableau II.4 : Raisons de réduire les impacts environnementaux.....	117
Tableau III.1 : Exemple du questionnaire environnemental concernant l'aspect environnemental des emballages (Centre technique industriel).....	121
Tableau III.1 : Caractéristiques et scores obtenus pour les aspects environnementaux évalués par l'outil ATEP.....	122
Tableau IV.1 : Tableau MECO appliqué au cas d'un produit d'hygiène absorbant	127
Tableau V.1 : Attribution d'un score à chaque cellule de la matrice ERPA pour le cas d'un produit absorbant à usage unique	129
Tableau V.2 : Matrice de résultats avec méthode ERPA (critères génériques)	133
Tableau VI.1 : Données d'inventaire nécessaires pour l'application de différentes méthodes.....	134

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Acteurs internes et externes concernés par l'écoconception et leurs liens d'influence (adapté de Brezet, J. C. & van Hemel, 1997; Janin, 2000).....	6
Figure 1.2 : Expression du paradoxe de l'écoconception (adapté de Jensen et al., 1997; Lagerstedt et al., 2003).....	7
Figure 1.3 : Classement des outils d'écoconception (Le Pochat, 2005).....	8
Figure 1.4 : Phases de l'analyse du cycle de vie selon ISO14040.....	9
Figure 1.5 : Catégories d'impacts potentiels problèmes et dommages selon la méthode IMPACT 2002+ (Jolliet et al., 2005).....	11
Figure 1.6 : Exemple de modèle générique de prise en compte des aspects environnementaux dans le processus de conception et de développement de produit (ISO/TR 14062, 2002b).....	13
Figure 1.7 : Analyse de cycle de vie simplifiée par rapport à la complexité et à l'incertitude d'une analyse de cycle de vie détaillée (adapté de Graedel, 1998).....	17
Figure 1.8 : Procédure de simplification d'une analyse de cycle de vie proposée par le groupe de travail de la SETAC (SETAC-Europe, 1997).....	18
Figure 1.9 : Exemple de graphique circulaire ("target plot").....	28
Figure 1.10 : Graphique référentiel de produit obtenu à l'aide de la méthode ATEP.....	33
Figure 4.1 : Comparaison du scénario optimisé au scénario de base (Catégories de dommages, IMPACT 2002+).....	59
Figure 4.2 : Expérience et formation requises pour l'application de chaque type de méthode d'ACV simplifiée.....	63
Figure 4.3 : Niveau d'évaluation environnementale par rapport à la facilité d'utilisation.....	64
Figure 5.1 : Types de changements survenus en 2007 concernant la gamme de produits étudiée.....	69

Figure 5.2 : Methodological approach proposed.....	78
Figure 5.3 : Modeled hygiene absorbent product life cycle flow chart.....	83
Figure III.1 : Scores environnementaux obtenus pour les aspects environnementaux.	123
Figure V.1 : Graphique « cible » des résultats avec la méthode ERPA.....	133

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

Cette liste des sigles et abréviations présente, dans l'ordre alphabétique, les sigles et abréviations utilisés dans le cadre de ce mémoire.

ACV	Analyse de cycle de vie
ATEP	Analyse typologie environnementale de produit
CED	<i>Cumulative energy demand</i>
CETIM	Centre technique des industries mécaniques
CIRAIG	Centre interuniversitaire de recherche sur le cycle de vie des produits, procédés et services
DfE	<i>Design for Environment</i> (écoconception)
ERPA	<i>Environmentally Responsible Product Assessment</i>
ISO	Organisation internationale de normalisation
LInX	<i>Life cycle iNdeX</i>
MECO	<i>Material, Energy, Chemical and Other</i>
MIPS	<i>Material Intensity Per Service Unit</i>
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'Environnement
PR	Personne-réserve
QFD	<i>Quality function deployment</i>
SAP	<i>Super absorbant polymer</i> (Polymère superabsorbent)
SETAC	Société de toxicologie et chimie environnementales

LISTE DES DÉFINITIONS

Analyse de cycle de vie:

Analyse de cycle de vie par attribut réalisée selon les normes ISO 14040. Selon cette norme l'ACV est la « compilation et [l']évaluation des entrants, des sortants¹ et des impacts environnementaux potentiels d'un système de produits au cours de son cycle de vie ».

Analyse de cycle de vie simplifiée :

Compilation et évaluation pouvant être de nature qualitative ou quantitative des aspects environnementaux ou des entrants, des sortants et des impacts environnementaux potentiels d'un système de produits au cours de son cycle de vie. Afin de réduire le temps et les ressources nécessaires à sa réalisation, ce type d'ACV est effectué avec un niveau de détail moindre que pour une analyse de cycle de vie détaillée, notamment par rapport à la modélisation des processus du cycle de vie et/ou des impacts potentiels.

Aspect environnemental :

« Élément des activités, produits ou services d'un organisme susceptible d'interactions avec l'environnement » (ISO 14001:2004, définition 3.6)

Composant d'un produit :

Matières premières, ingrédients, parties ou sous-ensembles qui entrent dans l'assemblage d'un produit. Ce terme peut également inclure les emballages de produits finis. ("Composant", 2009)

Cumulative energy demand :

Indicateur qui évalue la demande d'énergie d'un système au cours de son cycle de vie exprimée en énergie primaire (Adapté de Huijbregts et al., 2005)

¹ Les termes « intrants » et « extrants » utilisés par la norme ISO sont peu couramment utilisés dans le langage courant. Dans le cadre de cette thèse, ils ont donc été remplacés par les termes entrants et sortants.

Éconconception :

« Intégration de la protection de l'environnement dès la conception des produits et des procédés industriels. L'objet d'une telle démarche est la réduction des impacts d'un produit sur l'environnement tout au long de son cycle de vie depuis l'extraction de ses matériaux constitutifs jusqu'à son élimination en fin de vie. Le concept de base est le modèle cycle de vie où tous les entrants (matériaux et énergie) et sortants (émissions polluantes et déchets) des processus utilisés en phase de fabrication, distribution, utilisation et élimination, sont identifiés et pris en compte dès la conception du produit. » (Janin, 2000)

Fonction :

« Action, rôle caractéristique que joue une chose dans l'ensemble dont elle fait partie » ("Fonction", 1993)

Impact environnemental :

« Conséquence sur l'environnement ou sur une ou plusieurs de ses composantes (paramètres physiques, chimiques, individus, population, écosystème, etc.) de modifications ou de perturbations affectant en totalité ou en partie celui-ci » ("Environmental impact", 2009)

Unité fonctionnelle :

« Performance quantifiée d'un système de produits destinée à être utilisée comme unité de référence dans une analyse du cycle de vie » (ISO 14044, 2006b)

Profil environnemental :

« Compilation [...] des résultats d'indicateurs de catégories pour les différentes catégories d'impacts » (ISO14044 :2006). Les catégories d'impacts évaluées dépendent de la méthode d'évaluation des impacts choisies.

Profil fonctionnel :

Ensemble d'aspects (ou catégories) fonctionnels relatifs à un produit qui sont évalués selon leur importance.

Personne-réserve :

Unité de consommation de ressource souvent exprimée en millipersonne-réserve

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE I	Stratégie d'écoconception	110
ANNEXE II	Questionnaire sur le développement de produit.....	112
ANNEXE III	Application de l'outil ATEP	120
ANNEXE IV	Application de la méthode MECO	124
ANNEXE V	Application de la méthode ERPA	128
ANNEXE VI	Données requises pour l'application des méthodes d'ACV simplifiée...	134

INTRODUCTION

Mise en contexte

Les consommateurs accordent une attention de plus en plus grande aux impacts environnementaux des produits et des services qu'ils consomment. En réponse à ce nouvel intérêt de la part de leurs clients, plusieurs entreprises affichent désormais les qualités environnementales de leurs produits qui sont dits être « recyclables », « biodégradables », « faits de matières recyclées » ou tout simplement « plus verts ».

Mais au fur et à mesure que la pression environnementale augmente, un constat émerge : pour réduire de manière significative les impacts environnementaux des produits, il faut agir dès leur conception en considérant toutes les étapes qu'ils traversent au cours de leur vie.

Cette intégration d'aspects environnementaux dans le processus de conception de produits est appelée écoconception (ISO/TR 14062, 2002b). De nombreux outils d'analyse ainsi que plusieurs stratégies ont été développés ou sont en développement afin d'aider les concepteurs à inclure des critères environnementaux à leur pratique.

Problématique

L'une des stratégies typiques de l'écoconception est d'augmenter la durée de vie des produits manufacturiers. Toutefois, dans le cas des produits à usage unique, comme des produits médicaux ou des produits d'hygiène absorbants, ce principe est peu applicable. Néanmoins, du point de vue environnemental, le besoin d'améliorer ce type de produits demeure. Il est donc nécessaire d'offrir aux concepteurs des outils pour analyser les impacts environnementaux de ces produits.

L'un des outils d'analyse permettant d'assister les concepteurs de produits selon le rapport technique sur l'intégration des aspects environnementaux dans la conception et le développement de produits ISO 14062:2002 est l'analyse de cycle de vie (ACV). Cet outil est défini par la norme ISO 14044:2006 comme étant une « compilation et une évaluation des entrants, des sortants et des impacts environnementaux potentiels d'un système de produits au cours de son cycle de vie ».

Son utilisation est de plus en plus répandue pour la prise de décision lors de la conception et de l'amélioration de produits en vue de les rendre plus performants du point de vue

environnemental. En effet, lors de ces étapes les experts estiment qu'environ 80 % des impacts environnementaux dus à un produit sont déterminés (Graedel, 1998). Il est donc judicieux d'utiliser une méthode d'évaluation environnementale dès les premières étapes de conception ou d'amélioration de produits.

Or, les ressources nécessaires à la réalisation d'ACV en conformité avec les normes ISO visant à comparer toutes les options d'améliorations possibles d'un produit s'avèrent habituellement très importantes et peu réalisables en pratique. Cette problématique est d'autant plus importante pour des grandes entreprises, étant donné le grand nombre de produits pour lesquels un processus d'amélioration environnemental basé sur l'ACV pourrait être appliqué. L'étape de conception nécessite en effet l'analyse d'un grand nombre d'options comme le choix des matériaux, de l'emballage ou des méthodes de fabrication. De plus, souvent peu de données sont disponibles pour comparer les nouveaux produits améliorés par rapport aux anciens. Déterminer les points chauds d'un produit manufacturier à l'aide d'une ACV s'avère donc une pratique intéressante, puisqu'elle fournit à l'écoconcepteur l'information nécessaire pour développer de nouveaux produits ayant des impacts réduits sur l'environnement.

En parallèle avec le développement de méthodes d'analyse de cycle de vie exhaustives, tel que défini par ISO, il existe un besoin pour des outils simplifiés. Différentes méthodologies d'ACV simplifiées (dites « screening or streamlined LCA » en anglais) qualitatives ou quantitatives ont été développées afin de réduire le temps, les efforts ainsi que les ressources nécessaires. Par contre, jusqu'à quel point est-il possible de simplifier une ACV sans perdre l'information nécessaire pour réaliser l'écoconception d'un produit?

En plus des besoins de simplification, l'ACV doit permettre d'inclure des critères de conception de produits comme les fonctions des produits. Par exemple, dans le cas des produits d'hygiène, les utilisateurs jugent que certaines fonctions comme le sentiment de propreté et la discrétion sont essentielles. Plusieurs de ces fonctions sont qualitatives et liées aux perceptions des consommateurs. Elles ne peuvent donc pas être négligées lors des processus d'améliorations de produits. Cependant, il n'est pas toujours possible d'en tenir compte à l'aide d'une étude ACV puisque cette dernière est basée sur une unité fonctionnelle unique et mesurable. C'est pourquoi il est nécessaire d'introduire une méthodologie qui combine analyse des fonctions et analyse du cycle de vie du produit à améliorer.

CHAPITRE 1 REVUE DE LITTÉRATURE

Pour mieux comprendre les différents aspects de la problématique, la revue de littérature se subdivise en quatre sections : la première s'intéresse à la définition de l'écoconception, la seconde à l'analyse de cycle de vie, la troisième aux méthodes d'ACV simplifiées et la dernière à l'analyse des fonctions de produits.

Il est à noter qu'une revue de littérature sur les analyses de cycle de vie en lien avec la production de produits d'hygiène absorbants a déjà fait l'objet d'un rapport remis au partenaire industriel du projet de recherche. Cette revue de littérature a permis d'observer que peu d'analyses de cycle de vie sur des produits d'hygiène absorbants sont disponibles, sauf en ce qui concerne les couches pour bébé.

1.1 Écoconception

Ce projet vise l'écoconception de produits manufacturiers, plus précisément de produits à usage unique. La revue de littérature par rapport à ce concept s'articule autour des éléments suivants : la définition du concept, la présentation de typologies d'approches d'écoconception, l'illustration de son caractère multicritère et multidisciplinaire, l'explication du paradoxe d'écoconception ainsi que le résumé d'outils disponibles.

1.1.1 Définition écoconception

Le rapport technique ISO 14062 définit l'écoconception comme étant « l'intégration des aspects environnementaux dans la conception et le développement de produits ». Le rapport mentionne aussi différents synonymes tels que « conception pour l'environnement » ou « partie environnementale de la gestion responsable des produits », etc. (ISO/TR 14062, 2002b). Dans le cas de l'écoconception d'un produit existant, certains auteurs utilisent le terme *eco-redesign*.

Il existe différentes visions de l'écoconception ce qui a été mis en lumière par Conny Bakker et par Marc Janin. Une première vision de l'écoconception est basée sur « l'intégration des aspects environnementaux dans le processus de développement des produits » (Janin, 2000). Cette vision est basée sur l'amélioration technologique des produits pour les rendre de plus en

plus efficaces du point de vue environnemental. La seconde vision de l'écoconception est liée au concept de produits et de mode de vie durables. Cette vision plus globale intègre des aspects sociaux culturels et, contrairement à la première définition, elle peut remettre en question la raison d'être du produit si celui-ci est jugé inutile ou superflu.

Ces visions de l'écoconception possibles peuvent être appliquées selon différentes stratégies. Un exemple de stratégies possibles est présenté à l'Annexe A.

1.1.2 Typologie des approches d'écoconception

Étant donné que le niveau d'importance accordé à l'aspect environnemental dans les processus de conception diffère énormément selon les approches d'écoconception utilisées, plusieurs typologies ont été proposées dans la littérature.

Brezet (1997) et Stevels (1999) ont défini l'existence de quatre niveaux d'écoconception, tel que montré au Tableau 1.1. Selon leurs travaux, plus le niveau d'écoconception augmente, plus le niveau d'efficacité sera élevé. Cela se traduit par la conception de nouveaux produits ou services qui seront radicalement différents des produits originaux. Parallèlement, cela implique que pour obtenir une remise en cause aussi complète des produits, les entreprises doivent se mobiliser et investir plus de temps et d'efforts. Plus le niveau d'écoconception augmente et plus il est nécessaire d'étudier de manière approfondie les impacts environnementaux des produits que l'on cherche à reconcevoir.

Tableau 1.1 : Niveaux d'écoconception (Brezet, H., 1997; Stevels, 1999)

Niveau 1	L'amélioration environnementale de produits existants ;
Niveau 2	La conception de produits radicalement différents, basée sur une technologie existante, mais améliorée ;
Niveau 3	Solutions alternatives pour une même fonction (« Green function innovation ») par l'application de différentes technologies pour de nouveaux produits ;
Niveau 4	Fonctionnalité compatible avec le développement durable (« Green systems innovation ») c.-à-d. le remplacement de produits existants par des solutions totalement nouvelles ;

En se basant sur plusieurs exemples tirés de la littérature et de leurs recherches antérieures, Abrassart et Aggeri (2007) ont identifié quatre situations différentes d'écoconception selon les méthodes de gestion des entreprises et les enjeux associés.

Leur premier critère pour classer les situations d'écoconception porte sur le moyen utilisé pour construire de la valeur environnementale. La valeur environnementale est dite confinée lorsqu'elle peut être définie précisément (ex. critères de conception, cahier des charges, normes et règlements) au début du processus de conception. Elle est dite exploratoire pour la situation où les critères ne peuvent être précisément définis au début du processus de conception, mais sont construits au cours de ce processus.

Leur deuxième critère est l'approche d'écoconception employée, c'est-à-dire l'étendue de l'évaluation environnementale réalisée. Dans le cas où une seule dimension environnementale est considérée (p. ex. un seul critère/catégorie d'indicateur environnemental telle que les émissions de GES ou le taux de recyclabilité du produit), l'approche est dite sélective. Dans le cas où plusieurs dimensions environnementales sont prises en compte, l'approche d'écoconception est dite systémique. Une démarche d'écoconception intégrant l'analyse de cycle de vie est donc un exemple d'approche systémique, puisque plusieurs types d'impacts environnementaux y sont pris en compte.

Tableau 1.2 : Les quatre situations d'écoconception définies par Abrassart et Aggeri (2007)

Construction de la valeur Approche d'écoconception	Confinée	Exploratoire
Systémique	Écoconception réglée en cycle de vie	Écoconception innovante systémique
Sélective	Écoconception sélective	Écoconception sélective exploratoire

1.1.3 Caractère multidisciplinaire de l'écoconception

L'écoconception est caractérisée par le fait qu'elle fait généralement intervenir différents acteurs de l'entreprise. Chacun de ces acteurs a des compétences différentes ainsi que des

niveaux de connaissances très variables en ce qui concerne l'écoconception et l'analyse de cycle de vie (Janin, 2000). La Figure 1.1 montre un exemple de différents acteurs, qu'ils soient externes ou internes à l'entreprise, qui ont de l'influence sur ce processus. Parmi les acteurs privilégiés dans les équipes de conceptions, il y a des employés des départements de recherche et développement, de marketing et des achats.

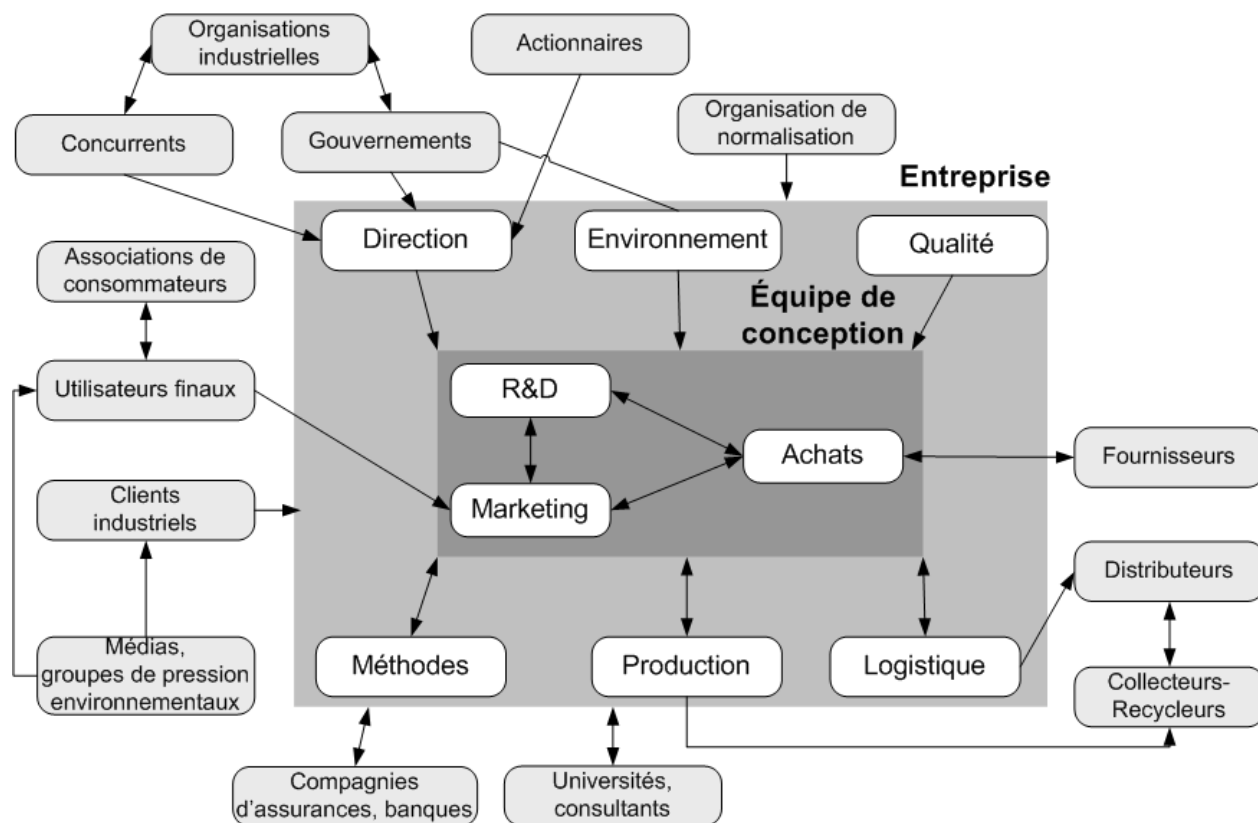


Figure 1.1 : Acteurs internes et externes concernés par l'écoconception et leurs liens d'influence (adapté de Brezet, J. C. & van Hemel, 1997; Janin, 2000).

1.1.4 Paradoxe de l'écoconception

L'un des paradoxes de l'écoconception est le fait que, avec le temps, le concepteur a plus d'informations sur le produit, donc il est plus facile pour lui de connaître ses caractéristiques environnementales. Cependant, plus le temps passe, moins l'écoconcepteur a de liberté par rapport aux choix de conception.

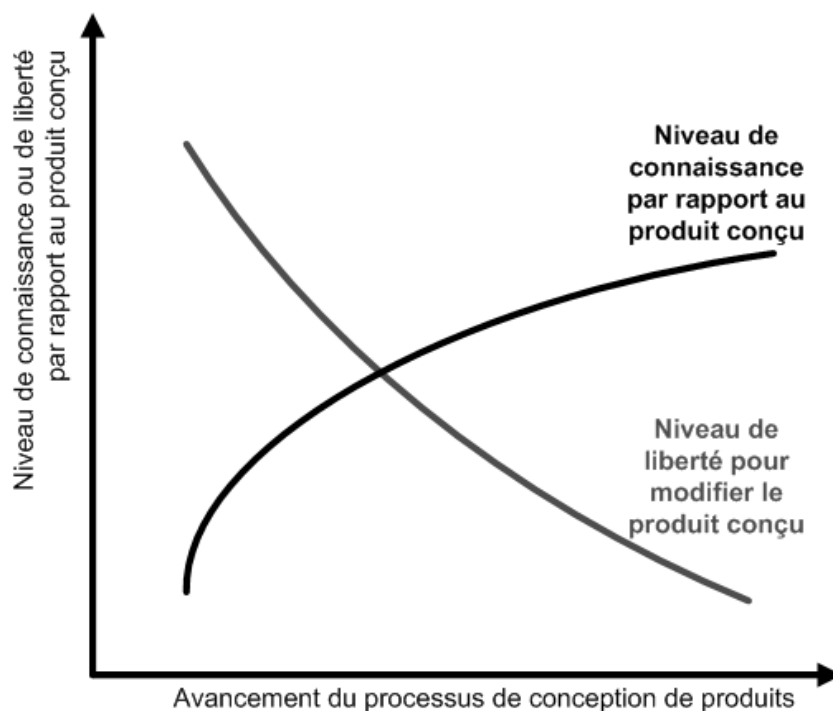


Figure 1.2 : Expression du paradoxe de l'écoconception (adapté de Jensen et al., 1997; Lagerstedt et al., 2003).

Ce paradoxe se répercute lors de l'analyse environnementale d' « écoproduits » ou d'options de conception, en particulier lors de l'emploi d'une méthode demandant des données quantitatives. La section 1.2.7 explique plus en détail l'effet de ce paradoxe sur la réalisation d'étude ACV dans un contexte d'écoconception.

1.1.5 Outils d'écoconception

Diverses revues de littérature ont déjà été effectuées afin d'identifier les outils d'écoconception disponibles (Janin, 2000; Lagerstedt, 2003; Le Pochat, 2005; Walker, 2007). Or malgré le grand nombre d'outils disponibles, leur utilisation demeure encore limitée. Selon Lagerstedt (2003), la meilleure façon pour que les concepteurs de produits soient actifs en éco-design est de les laisser être libres et créatifs. En ce sens, ils ne désirent pas d'informations inutiles ou des outils d'écoconception complexe².

² Some designers claim that: "the best way of making designers care about 'Design for Environment' is to let them be free and creative. They neither want too much information nor DfE tools" (Lagerstedt, 2003)

Certains outils peuvent être qualifiés comme étant à dominance qualitative, tels que les listes de matériaux et les listes de principes d'écoconception. D'autres peuvent être décrits comme étant à dominance quantitative, comme les indicateurs environnementaux et l'ACV. Ces outils peuvent également être classés selon deux axes, soit l'évaluation environnementale et l'amélioration environnementale, tels que montrés à la Figure 1.3.

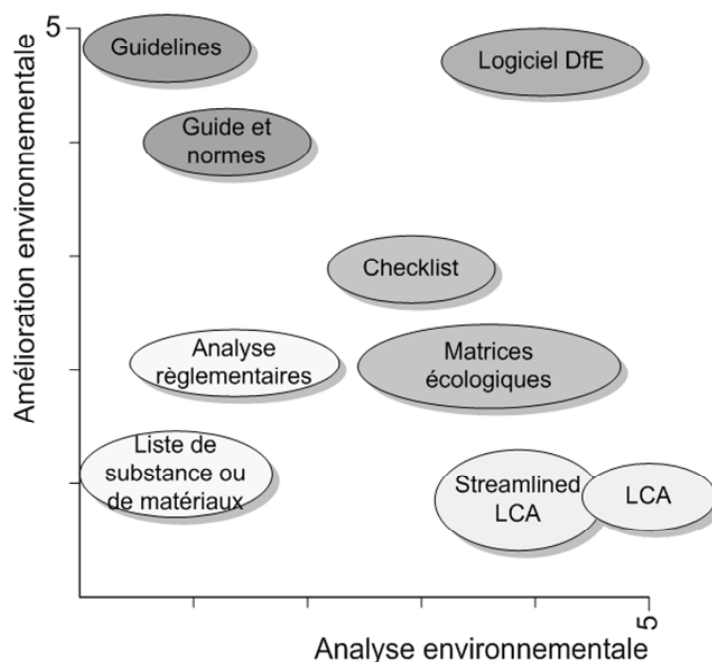


Figure 1.3 : Classement des outils d'écoconception (Le Pochat, 2005).

Dans un contexte d'écoconception de produits, l'ACV est actuellement considérée comme étant l'outil de référence afin d'évaluer les impacts potentiels d'un produit sur tout son cycle de vie (Pochat et al., 2007). En effet, l'ACV permet de quantifier les impacts d'un produit en utilisant des modèles décrivant les relations causes à effets basés sur les sciences naturelles selon un cadre méthodologique régi par la norme ISO. Cependant, l'ACV apporte peu d'aide comme outil d'améliorations environnementales (développement d'idées, de nouveaux concepts de produits).

1.2 Analyse du cycle de vie

Cette section présente brièvement la méthodologie ACV, ses limites, son utilisation dans un contexte d'écoconception.

1.2.1 Définition de l'analyse de cycle de vie

L'ACV est une évaluation environnementale du cycle de vie d'un bien ou service. Elle est définie par la norme ISO 14040:2006 comme suit : « compilation et évaluation des entrants, des sortants et des impacts environnementaux potentiels d'un système de produits au cours de son cycle de vie ».

Cette méthodologie peut être qualifiée d'holistique puisqu'elle tient compte de toutes les étapes du cycle de vie du produit. En général, le cycle de vie d'un produit est séparé en cinq étapes, c'est-à-dire l'acquisition des ressources, la fabrication du produit étudié, le transport et la distribution, l'utilisation (ainsi que la réutilisation), le recyclage et le traitement des déchets. L'analyse de cycle de vie telle qu'elle est définie par la norme ISO 14040 comprend quatre phases de réalisation principales, telle qu'illustrées à la Figure 1.4.

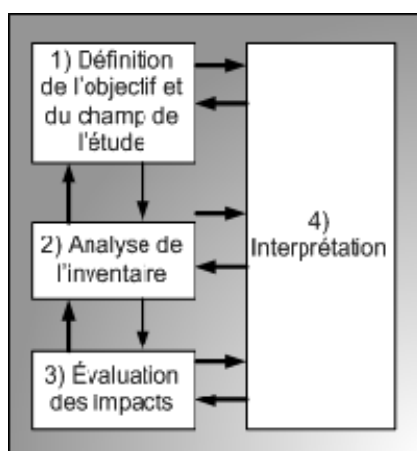


Figure 1.4 : Phases de l'analyse du cycle de vie selon ISO14040.

1.2.2 Phase 1 de l'ACV : la définition des objectifs et du champ de l'étude

Premièrement, la phase de définition des objectifs et du champ de l'étude permet de définir la raison de l'étude ainsi que le public ciblé. C'est également lors de cette phase que sont déterminés les fonctions du système étudié, l'unité fonctionnelle, les flux de références, les frontières du système ainsi que les paramètres clés. Bien entendu, l'analyse du cycle de vie est un processus itératif, ce qui explique que certains éléments de la définition de l'objectif tels que les frontières du système puissent être modifiés et raffinés lors des étapes subséquentes.

Une analyse plus approfondie de la détermination des fonctions et de l'unité fonctionnelle lors d'une étude ACV est présentée à la section 1.5.2.

1.2.3 Phase 2 de l'ACV: l'analyse de l'inventaire

La deuxième phase d'une étude ACV est l'analyse de l'inventaire, soit la compilation de tous les entrants et les sortants du système étudié. « Les émissions polluantes dans l'air, l'eau et le sol ainsi que les extractions des matières premières renouvelables ou non renouvelables doivent être rapportées » (Jolliet et al., 2005). Cette phase nécessite de collecter et de traiter les données concernant le cycle de vie du produit, ce qui constitue l'étape demandant le plus de temps pour réaliser une ACV sur un produit ou un système complexe (Koffler et al., 2008). Des bases de données telles qu'*ecoinvent* sont disponibles afin de faciliter la modélisation du cycle de vie du produit étudié.

1.2.4 Phase 3 de l'ACV : l'évaluation des impacts

Troisièmement, l'évaluation des impacts environnementaux permet d'exprimer les résultats de l'analyse de l'inventaire, c'est-à-dire les données d'extractions et d'émissions, en une série d'impacts environnementaux potentiels (Jolliet et al., 2005). D'abord, les émissions et les extractions sont classées afin de déterminer à quels impacts environnementaux ils contribuent. Par la suite, des facteurs de caractérisation provenant de la méthode d'évaluation des impacts choisie sont utilisés afin de quantifier l'importance de chaque substance émise ou extraite de l'environnement.

Plusieurs méthodes d'évaluation des impacts ont été développées et sont couramment employées par les praticiens de l'ACV. Par exemple, les méthodes LUCAS (Toffoletto et al., 2007), TRACI (Bare et al., 2002) et IMPACT 2002+ (Jolliet et al., 2003). Ces méthodes concernent différents contextes géographiques, soit respectivement les contextes canadiens, américains et européens. Les méthodes modélisent « les voies d'impacts des différentes substances et relient, autant que possible, chaque donnée d'inventaire à ses impacts environnementaux potentiels, sur la base de ces voies » (Jolliet et al., 2005).

Il est à noter que les impacts potentiels du système peuvent être exprimés sous forme de *problèmes* (« midpoint ») ou de *dommages* (« endpoint ») environnementaux. Les catégories d'impacts dommages sont situées plus loin dans la modélisation de la chaîne de cause à effet que

les catégories d'impacts problèmes. Le passage aux catégories d'impacts dommages augmente l'incertitude des résultats et implique une perte d'informations. Cependant, il s'agit de catégories plus faciles à comprendre pour les personnes qui ne sont pas des experts en environnement, puisqu'elles sont directement reliées aux sujets à protéger, comme la santé humaine, l'accès à des ressources ou les écosystèmes. La Figure 1.5 montre un exemple des catégories d'impacts de types problèmes et dommages utilisées par la méthode IMPACT 2002+.

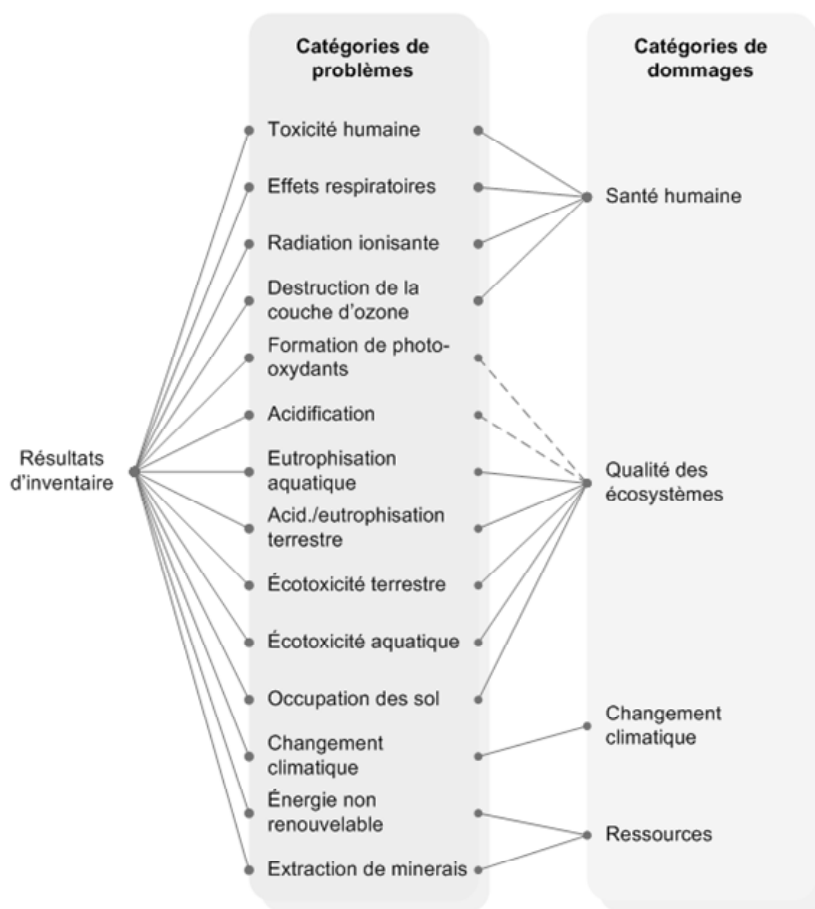


Figure 1.5 : Catégories d'impacts potentiels problèmes et dommages selon la méthode IMPACT 2002+ (Jolliet et al., 2005).

Les résultats obtenus sous forme d'impacts potentiels peuvent ensuite être normalisés, pondérés et agrégés. Toutefois, ces trois dernières étapes sont optionnelles selon la norme ISO14040.

1.2.5 Phase 4 de l'ACV : l'interprétation

Finalement, les résultats de l'analyse de cycle de vie doivent être analysés et leurs incertitudes doivent être quantifiées lors de la phase d'interprétation. Différents types d'analyse comme des analyses de contribution, de dominance, de sensibilité sont effectués lors de cette étape. Les points chauds du système étudié peuvent être identifiés, ce qui peut mener à l'adoption d'améliorations environnementales.

1.2.6 Critiques exprimées par rapport à l'analyse du cycle de vie

Malgré tous les progrès réalisés en ce qui a trait à la méthodologie de l'ACV, cette méthode présente encore certaines limites (Côté, 2005) :

- Le caractère des choix et des hypothèses de travail demeure subjectif;
- Les hypothèses et les modèles utilisés pour l'analyse de l'inventaire ou pour évaluer les impacts environnementaux sont limités et ne peuvent pas être disponibles pour tous les impacts potentiels ou toutes les applications;
- La précision des études d'ACV peut être limitée par l'accessibilité ou la disponibilité des données pertinentes ou par la qualité des données : types de données, agrégation moyenne, spécificité du site;
- Une part d'incertitude résulte de l'absence de la dimension spatiale ou temporelle dans les données.

De plus, l'analyse de cycle de vie ne tient pas compte d'aspects sociaux, économiques, techniques, stratégiques ou réglementaires. Or dans le cadre d'un projet d'écoconception, ces aspects doivent être considérés par le concepteur de produits. Par exemple, s'il existe une valeur maximale d'émissions associée à un processus en raison d'une norme environnementale, il s'agit d'une contrainte importante (Jolliet et al., 2005).

En outre, la majorité des analyses de cycle de vie sont réalisées par rapport à la fonction principale du produit. Or les fonctions secondaires du produit sont souvent non négligeables, tel que discuté à la section 1.5.2.

Selon Lewis et Gertsakis (2001) malgré ses lacunes et sa complexité : « L'ACV est l'un des outils les plus fiables connus à ce jour, pour l'ensemble du système de production industrielle »

(Côté, 2005). Aussi, cette méthode est considérée comme la plus valide en ce qui a trait à l'évaluation des impacts environnementaux d'un produit sur tout son cycle de vie (Pochat et al., 2007).

1.2.7 ACV dans le cadre de l'écoconception d'un produit

Dans une perspective de conception et d'écoconception de produits, ISO/TR 14062:2002 mentionne également quelles sont les étapes les plus appropriées pour évaluer les impacts environnementaux sur le cycle de vie du produit en cours de conception. Ces étapes sont la planification ainsi que la conception préliminaire, soit les toutes premières étapes de la conception d'un produit. La Figure 1.6 illustre les différentes étapes de conception et d'écoconception d'un produit.

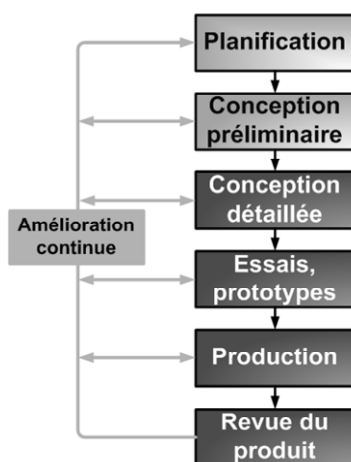


Figure 1.6 : Exemple de modèle générique de prise en compte des aspects environnementaux dans le processus de conception et de développement de produits (ISO/TR 14062, 2002b).

1.2.8 Identification des points chauds d'un système à l'aide d'une étude ACV

Plusieurs auteurs ont montré qu'il est utile d'utiliser l'ACV afin de déterminer quels sont les points chauds d'un produit manufacturier. Cela permet d'identifier les opportunités d'améliorations environnementales (Gasafi et al., 2003; Heijungs, 1996). Lors des étapes préliminaires de conception, il peut être difficile d'analyser les impacts environnementaux de toutes les options de conception possibles étant donné leur très grand nombre. Gasafi *et al.* (2003) propose donc d'utiliser l'identification des points chauds comme une première étape. Par

la suite, la génération et l'analyse des options de conception peuvent être limitées aux points chauds du produit.

Un point chaud peut être défini comme étant :

- Des étapes du cycle de vie telles que l'approvisionnement, la fabrication, la distribution, l'usage, la fin de vie);
- Des processus unitaires, c'est-à-dire des activités ou des groupes d'opérations faisant partie du cycle de vie du système étudié;
- Des sous-systèmes (tels que les composants du produit);
- Des fonctionnalités ou des caractéristiques du produit ou du service ;
- Des paramètres du système ;
- Des flux entrants ou sortants (émissions ou extractions) qui ont un impact sur l'environnement.

De même, un point chaud peut être identifié par :

- Sa grande contribution aux impacts environnementaux (selon le total agrégé des impacts ou selon le type d'impacts) ;
- Sa grande sensibilité ;
- Son besoin d'être analysé en profondeur par une analyse détaillée de l'inventaire.

Il est possible de déterminer les points chauds d'une ACV en recourant à certaines techniques telles que l'analyse de contribution, l'analyse de dominance et l'analyse de sensibilité.

1.2.9 Problèmes liés à l'utilisation de l'ACV lors des premières phases du design

Les bénéfices de l'utilisation de l'analyse de cycle de vie le plus tôt possible lors de la conception d'un produit manufacturier ont été prouvés. En effet, des experts ont estimé que près de 80 % des impacts environnementaux sont liés aux choix de conception (Graedel, 1998). Or il est beaucoup plus facile d'évaluer le cycle de vie d'un produit déjà existant dont les impacts relatifs à la production, à l'utilisation ou à la de fin de vie sont documentés et quantifiés qu'un nouveau produit en cours de conception.

Dans le cas d'un produit en cours de conception, les données ne sont pas toujours connues ou disponibles puisque les caractéristiques finales du produit n'ont pas encore été déterminées. Il est également difficile d'évaluer les implications des choix de conception sur les étapes de la production, de l'utilisation et de la fin de vie. Par exemple, dans le cas de la fabrication de nouveaux produits, les procédés ainsi que les lieux de production ne sont généralement pas connus.

De plus, plusieurs options peuvent être envisagées pour un même produit (par exemple différents matériaux ou différents design). Si l'on utilise l'ACV comme outil de décision, chacune de ces options devrait être modélisée, ce qui augmente la quantité de données nécessaires.

En plus des problèmes relatifs à la recherche de données quantitatives, l'application d'une évaluation environnementale approfondie telle qu'une analyse de cycle de vie est limitée par plusieurs facteurs. En effet, une ACV détaillée implique qu'une entreprise investisse beaucoup de temps et de ressources. Elle doit former ou engager des praticiens et mettre à leur disposition les données nécessaires. En raison de sa complexité, l'ACV nécessite l'intervention d'un expert. Or, dans le cadre de la conception de produits, aucun des membres réguliers de l'équipe de conception n'est généralement un praticien de l'ACV.

Les travaux de Le Pochat (2005) mettent également en évidence deux situations limitant la portée des résultats d'une évaluation environnementale telle que l'ACV :

« soit les résultats sont "évidents" : l'expert sait, avant même d'avoir réalisé l'évaluation, quels sont les problèmes environnementaux posés par le produit. Parfois même, l'industriel lui-même "sait sans savoir". Dans ce cas, l'ACV, en quantifiant des indicateurs d'impacts environnementaux, a néanmoins l'avantage de confirmer des résultats dont on sait qu'ils sont valables "en général" et de valider les connaissances de l'expert (donc de renforcer l'expertise); soit, les résultats sont techniquement ou économiquement inexploitablement par l'industriel. » (Le Pochat, 2005)

De manière plus générale, l'écoconception peut être considérée comme un problème de prise de décision environnementale et de communication dans le contexte spécifique où le concepteur de produits est le décideur. Les problématiques de communication répertoriées par Altona et Underwood (2003) lors de la prise de décision entre les décideurs et les experts en évaluation des impacts environnementaux sont donc applicables au cas de l'écoconception. Selon les

conclusions de Altona et Underwood (2003), il est nécessaire lors de la communication en évaluation des impacts d'être :

- scientifiquement rigoureux ;
- facile à comprendre ;
- en mesure de démontrer la faisabilité ;
- défendable légalement et
- rapide.

1.3 ACV simplifiées

Puisque l'analyse de cycle de vie détaillée est difficilement applicable au tout début du processus de conception, l'utilisation d'ACV simplifiées est une option intéressante qui a été étudiée par plusieurs auteurs (Côté, 2005; Janin, 2000; Lagerstedt, 2003; Le Pochat, 2005).

Les analyses de cycle de vie simplifiées ne sont pas conçues pour une évaluation rigoureuse et quantitative, mais sont plutôt un outil pour identifier les points chauds environnementaux et souligner les opportunités majeures pour des améliorations environnementales (Graedel & Saxton, 2002). La majorité des ACV simplifiées sont utilisées pour des fins internes sans que la communication des résultats ne soit effectuée formellement dans un rapport standardisé (Jensen et al., 1997).

Par rapport à l'analyse de cycle de vie détaillée, elles représentent un compromis entre rigueur scientifique et complexité (voir Figure 1.7). À ce jour, aucune ACV détaillée complète n'a été réalisée puisque des compromis sont nécessaires (Graedel, 1998), tels que l'omission de processus (établissement des frontières du système), l'exclusion de flux entrants et sortants (choix de critères de coupure), l'utilisation d'hypothèses, l'utilisation de modèles d'impacts et l'utilisation d'estimations ou de données moyennes non spécifiques. L'ACV détaillée est un outil sophistiqué régi par différentes normes telles que les normes ISO 14040. Cette méthode est relativement complexe, par rapport à l'ACV simplifiée ou à des méthodes de vérification environnementale plus sommaire du type « ecoscreening » ou « ACV conceptuelle » (Jensen et al., 1997). Néanmoins, les avancements scientifiques des dernières années ont réduit l'incertitude associée à cette méthode d'évaluation environnementale et ont contribué à faciliter son usage. Il

reste que l'ACV détaillée est peu applicable lors des premières étapes du design, tel que discuté à la Section 1.2.9.

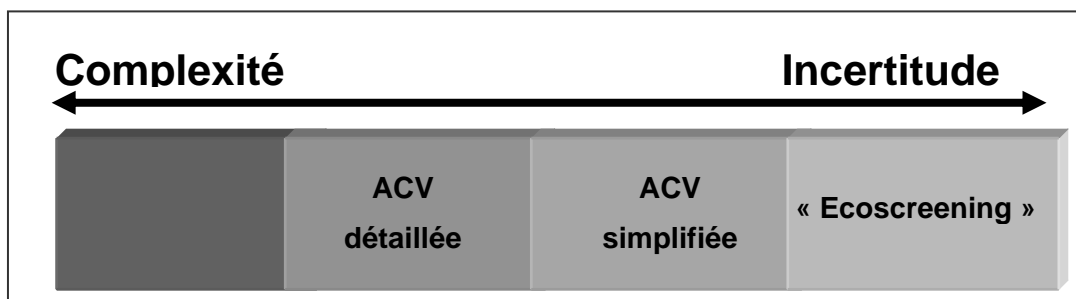


Figure 1.7 : Analyse de cycle de vie simplifiée par rapport à la complexité et à l'incertitude d'une analyse de cycle de vie détaillée (adapté de Graedel, 1998).

Le choix d'une méthode ACV simplifiée implique un équilibre entre la méthode de simplification et le type de résultats recherché par l'utilisateur. Il existe différentes méthodologies d'ACV simplifiées, dont plusieurs sont présentées à la section suivante. Parallèlement, le Tableau 1.3 résume plusieurs de leurs caractéristiques. À ce jour, il n'y a aucune méthode qui est préférable à toutes les autres pour toutes les conditions (Hochschorner & Finnveden, 2003).

1.3.1 ACV simplifiées par rapport aux ACV détaillées

Une méthode de simplification a été proposée dans l'un des groupes de travail de la SETAC en 1997. Cette procédure est illustrée à la Figure 1.8. Elle est composée des trois étapes suivantes (Janin, 2000; SETAC-Europe, 1997):

1. Évaluation : Identification des éléments de l'ACV pouvant être omis ou pour lesquels des données génériques peuvent être utilisées sans affecter de manière significative les résultats finaux de l'étude.
2. Simplification : Application des options de simplification identifiées à l'étape de screening pour réaliser l'ACV simplifiée
3. Analyse de la fiabilité : Vérification que les résultats sont suffisamment fiables pour justifier les conclusions de l'ACV simplifiée.

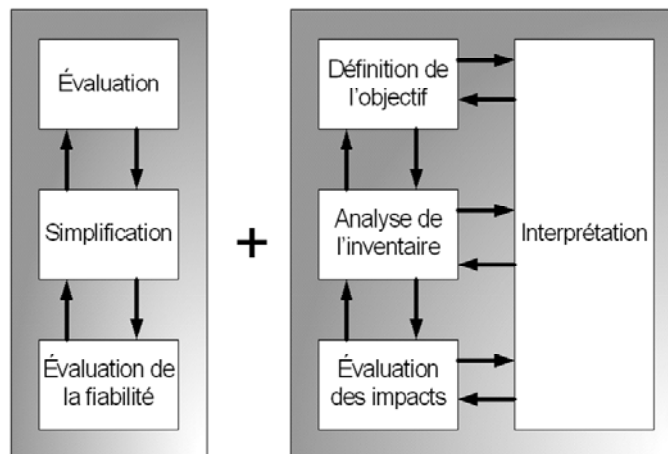


Figure 1.8 : Procédure de simplification d'une analyse de cycle de vie proposée par le groupe de travail de la SETAC (SETAC-Europe, 1997).

Cette procédure mène à l'identification de différentes méthodes de simplification qui demeurent très près d'une ACV détaillée, puisque, à la base, il s'agit d'ACV détaillées auxquelles certains éléments ont été enlevés ou modifiés.

1.3.2 Résumé des méthodes d'analyse de cycle de vie simplifiées existantes

Il est difficile d'évaluer ce qu'est une analyse de cycle de vie simplifiée puisqu'aucune définition formelle n'a été acceptée par toute la communauté scientifique. Certaines méthodes ou outils d'écoconception ont des approches plus éloignées d'une analyse de cycle de vie détaillée et où le principe cycle de vie a une importance moindre. Cependant, pour toutes les méthodes figurants dans le Tableau 1.3, une évaluation environnementale simplifiée est effectuée sur tout le cycle de vie du produit analysé. Les méthodes répertoriées dans la littérature ont été classées dans ce tableau selon six catégories :

- les méthodes matricielles basées sur le jugement d'experts ;
- les méthodes basées sur la logique floue ;
- les typologies environnementales ;
- les indicateurs environnementaux;
- les tableaux de données relatives au cycle de vie;
- les approches de simplification de l'analyse de cycle de vie

Tableau 1.3 : Résumé des principales méthodologies d'analyses de cycle de vie simplifiées

Nom complet	Abréviation	Catégorie de méthode	Résumé de la méthode	Type de données requises	Nbr de critères env.	Strictement comparatif ?
ABC/XYZ (jumelé avec indicateur CED) (Fleischer et al., 2001)	ABC/XYZ et CED	Indicateur environnemental / Jugement d'experts	Évaluation des procédés non reliés à l'énergie en fonction de la quantité et de la nocivité des émissions. En parallèle, l'indicateur CED peut être utilisé pour évaluer l'impact de la consommation d'énergie du cycle de vie du produit.	Quantitatives et qualitatives	3	Non
Analyse typologique environnementale de produits (Le Pochat, 2005)	ATEP	Typologie environnementale	Classement de 7 aspects environnementaux reliés au cycle de vie des produits mécaniques selon une série de postulats environnementaux	Qualitatives	7	Non
Eco-Indicator 99 (PRé Consultants B.V., 2000)	--	Indicateur environnemental	Agrégation de plusieurs catégories d'impacts environnementaux afin de calculer un score unique sous forme d'eco-points. Des bases de données sont disponibles afin de modéliser les différents processus du cycle de vie du produit.	Quantitatives	1	Non
Environmentally Responsible Product Assesment (Graedel, 1998)	ERPA	Matrice basée sur le jugement d'experts	Méthode matricielle qui évalue l'importance de stressors environnementaux pour chaque étape du cycle de vie du produit. L'évaluation doit être réalisée par un expert en utilisant une grille d'évaluation.	Quantitatives et qualitatives	5	Non
Fast Life Cycle Assessment of Synthetic Chemistry (Curzons et al., 2007)	FLASC TM	Typologie environnementale	Analyse en composantes principales d'ACV déjà réalisées sur des substances chimiques utilisées par l'industrie pharmaceutique afin de former plusieurs groupes de substances ayant des impacts environnementaux similaires.	Qualitatives et quantitatives	8	Non

Nom complet	Abréviation	Catégorie de méthode	Résumé de la méthode	Type de données requises	Nbr de critères env.	Strictement comparatif ?
Fuzzy Life Cycle Evaluation (Bécaert et al., 2006)	FuzLCe	Logique floue	Méthode de comparaison des impacts de différents scénarios utilisant la logique floue pour combiner les évaluations de plusieurs experts sur plusieurs éléments (consommation de ressources, gestion des rejets, émissions toxiques).	Qualitatives	6	Oui
Fuzzy Life Cycle Assessment (Gonzalez et al., 2002)	Fuzzy LCA	Logique floue	Méthode d'évaluation de l'importance de différents paramètres concernant le cycle de vie d'un produit. L'évaluation est réalisée à partir du jugement d'experts sur la nature et l'importance des paramètres étudiés en utilisant la logique floue.	Quantitatives et qualitatives	6	Non
Green fuzzy design analysis (Kuo et al., 2006)	GFDA	Logique floue	Méthode basée sur la logique floue et la méthode AHP afin de comparer des scénarios selon des critères de développement durable (énergie, recyclabilité, toxicité, coût, matériau).	Quantitatives	5	Oui
Life cycle iNdeX (Khan et al., 2004)	LInX	Indicateurs (environnementaux et techniques)	Série d'indicateurs environnementaux, socio-économiques et de faisabilité technique pouvant être agrégée pour évaluer un produit.	Quantitatives et qualitatives	13	Non
Materials, Energy, Chemicals, Others (Pommer et al., 2003; Wenzel et al., 2000)	MECO	Tableaux de données relatives au cycle de vie	Tableau décrivant la consommation de matériaux et d'énergie, les risques reliés aux produits chimiques et d'autres impacts en fonction des différentes étapes du cycle de vie du produit étudié.	Quantitatives et qualitatives	4	Non
Material Intensity Per Service Unit (Ritthoff et al., 2002)	MIPS	Indicateur environnemental	Indicateur environnemental basé sur la consommation de ressources.	Quantitatives	1	Non

Nom complet	Abréviation	Catégorie de méthode	Résumé de la méthode	Type de données requises	Nbr de critères env.	Strictement comparatif ?
Simplification d'analyse de cycle de vie (Hur Tak et al., 2005; Todd & Curran, 1999)	--	Simplification de l'analyse de cycle de vie	Simplification par omission ou substitution d'éléments d'une ACV détaillée.	Quantitatives et qualitatives	Variable ³	Non

³ Dépend de la méthode d'évaluation des impacts utilisés. De plus, certaines catégories d'impacts peuvent être omises par simplification.

1.3.3 Méthodes matricielles basées sur un jugement d'experts

Ce type d'approche est très populaire auprès des entreprises, puisque les matrices peuvent être facilement adaptées à leur contexte d'utilisation. Outre la méthode ERPA (voir section 1.4.1 pour plus de détails sur cette méthode), des méthodes matricielles similaires ont été développées entre autres pour les entreprises Migros, IBM, Dow Chemical, Monsanto, Motorola, Battelle et Boeing (Graedel & Saxton, 2002; Weinberg & Eagan, 1997).

La forme matricielle permet de montrer les différents aspects ou impacts environnementaux choisis (premier axe de la matrice) et de les évaluer par rapport aux étapes ou processus du cycle de vie (deuxième axe de la matrice). Les données nécessaires peuvent être de nature qualitative et/ou quantitative, alors que l'étape d'évaluation des aspects est essentiellement de nature qualitative puisqu'elle est basée sur le jugement d'un ou de plusieurs experts qui doivent attribuer un score pour chaque cellule de la matrice.

1.3.4 Méthodes basées sur l'utilisation de la logique floue

Le Tableau 1.3 montre plusieurs méthodes utilisant des techniques de logique floue. La logique floue est un ensemble de théories mathématiques qui traitent de la représentation et de la manipulation de connaissances imparfaites (imprécises, incertaines, voire incomplètes) (Gonzalez et al., 2002). Elle permet donc de traiter et d'inclure des informations de nature qualitative provenant d'experts et de les exprimer sous forme de données numériques en établissant des relations mathématiques (règles d'inférences).

En ACV, les techniques de logique floue peuvent être utilisées afin d'exprimer des réponses d'experts à l'aide de variables linguistiques sur des sujets comme la prise de décisions multicritères ou l'estimation de données manquantes ou difficilement quantifiables. L'application des méthodes d'ACV simplifiées basées sur la logique floue nécessitent le jugement d'experts qualifiés, d'un logiciel spécialisé et les connaissances nécessaires pour développer les règles d'inférences (Bécaert et al., 2006).

1.3.5 Méthodes basées sur la typologie environnementale

Cette catégorie de méthodes permet la classification de produits (méthode ATEP) ou de substances (méthode FLASCTM) en fonction de certaines de leurs caractéristiques.

L'établissement de groupes peut être réalisé à partir d'une liste de principes ou d'analyses statistiques de données.

La méthode FLASCTM est utilisée par l'entreprise pharmaceutique GlaxoSmithKline pour analyser et comparer le cycle de vie des ingrédients pharmaceutiques actifs (Curzons et al., 2007). Des méthodes d'analyses statistiques de données telles que la typologie hiérarchique et l'analyse en composantes principales⁴ ont été utilisées pour regrouper les ingrédients actifs selon 14 profils d'impacts environnementaux similaires. Chaque profil correspond à certaines caractéristiques comme le type de molécule, la masse moléculaire, la présence d'anneaux aromatiques, etc. En établissant à quel profil environnemental correspond une substance, il est donc possible de connaître rapidement les impacts environnementaux moyens associés à ce profil et de les inclure dans une étude ACV simplifiée.

Des analyses statistiques de données ont également été effectuées afin d'établir des typologies environnementales de matériaux (Rombouts & Hennessey, 1999; Sun et al., 2004) et de produits (Sousa & Wallace, 2006). Dans le cas de la typologie de produits, sept groupes ont été déterminés à partir de l'analyse des caractéristiques et des résultats d'ACV de 61 produits. Toutefois, il est à noter que les données n'étaient pas suffisantes afin de généraliser les résultats obtenus (Sousa & Wallace, 2006).

Dans le cas de l'outil ATEP, les produits sont classés en fonction de principes empiriques, réglementaires, heuristiques et logistiques. Cette méthode est expliquée plus en détail à la section 1.4.3.

1.3.6 Méthodes de tableaux de données relatives au cycle de vie

Certaines méthodes sont basées sur l'utilisation de tableaux afin de montrer les extractions et les émissions reliées aux différentes étapes du cycle de vie. Les données apparaissant dans ces tableaux peuvent être des données quantitatives ou qualitatives brutes telles que les masses de matériaux utilisées, les consommations d'énergie, les distances de transport, la toxicité de substances. Il peut également s'agir d'informations ayant été calculées telles que les

⁴ Méthodes *hierarchical cluster* et *principal components analysis*

consommations de matière et d'énergie exprimées en personne-ressource. Un exemple de tableau de données, soit la méthode MECO, est présenté de manière plus approfondie à la section 1.4.2.

1.3.7 Méthodes basées sur des indicateurs environnementaux

Dans le Tableau 1.3, seulement quatre méthodes d'indicateurs environnementaux ont été citées, soit les méthodes CED (en combinaison avec l'approche ABC/XYZ), MIPS et Eco-Indicator 99. Cependant, il existe plusieurs autres méthodes d'indicateurs comme le Swiss Ecopoints modèles ou encore Okala Impact Factor. Ces méthodes quantitatives présentent l'avantage d'être basées sur des méthodologies systématiques de calcul.

Les indicateurs CED et MIPS sont respectivement fondés sur la consommation d'énergie et de ressources, alors que l'indicateur *Eco-Indicator 99* est basé sur plusieurs catégories d'impacts environnementaux qui ont été normalisées, pondérées et agrégées.

L'idée de base est d'obtenir un score unique associé à chaque processus unitaire et aux matériaux faisant partie du cycle de vie du produit à étudier. Grâce à ces scores simples, il n'est pas nécessaire d'établir un système de produits complexe, de recueillir des données d'émissions et de s'entendre sur des règles d'allocations (Jensen et al., 1997). La réalisation d'analyses environnementales du cycle de vie de produits est donc facilitée, mais de manière générale il est difficile de travailler avec des données différentes ou d'adapter les données génériques fournies par de la méthode.

Une autre approche par indicateurs répertoriée dans la littérature est le système d'indexation LInX qui incorpore les attributs de cycle de vie des produits dans la prise de décisions. LInX comprend des index reliés aux facteurs environnementaux, économiques, technologiques et sociopolitiques (Khan et al., 2004). Ces facteurs sont groupés en trois niveaux différents. Au niveau 1, sept sous-indices (quatre dans l'environnement, un chacun dans la faisabilité technique, le coût et sociopolitique) sont obtenus à partir du calcul de 21 paramètres. Au niveau 2, quatre sous-indices d'environnement sont regroupés pour former un seul indicateur environnement, santé et sécurité (EHS). La faisabilité technique et les sous-indices sociopolitiques sont combinés pour donner un indice technique. L'EHS, le coût et des indices techniques sont groupés pour obtenir l'indicateur final, soit le niveau 3 (Khan et al., 2004).

1.3.8 Simplification de l'analyse de cycle de vie (« Screening LCA »)

Un sondage qui a été effectué en 1995 par le North Carolina's Research Triangle Institute auprès de praticiens de l'ACV a permis d'identifier plusieurs approches de simplification utilisées par l'industrie (Graedel, 1998). Le Tableau 1.4 résume plusieurs de ces approches de simplification.

Tableau 1.4 : Exemples de différents processus de simplification d'ACV (Graedel, 1998; Hur Tak et al., 2005)

Enlever ou limiter	les étapes du cycle de vie et processus unitaire
	les matières premières, composants, procédés inclus dans le système
	les paramètres inclus
	les catégories d'impacts évaluées
	l'analyse d'impacts
Utiliser	des données qualitatives
	des critères d'arrêts (« knockout criteria »)
	des « specific entries » pour l'évaluation des impacts ou l'inventaire
	des données provenant de procédés, processus ou matériaux substitués

Par rapport à une analyse de cycle de vie détaillée, les analyses de cycle de vie simplifiées peuvent utiliser des données qui sont moins certaines et moins représentatives (technologiquement, temporellement, géographiquement). De plus, le niveau de détail du système de produit peut être plus bas qu'une analyse de cycle de vie détaillée afin de limiter le nombre de données nécessaires à la réalisation de l'étude simplifiée.

Plusieurs processus de simplification figurant au Tableau 1.4 ont été testés par Hunt et ses collaborateurs (1998) à l'aide d'études de cas sur vingt produits manufacturiers. Selon leur étude, les effets des processus de simplification sont souvent imprévisibles. En effet, lors du classement des produits analysés selon leurs impacts, la plupart des processus analysés ont donné des résultats incorrects en comparaison avec les résultats d'ACV détaillées. Hunt et ses collaborateurs ont montré que la validité des approches de simplification ne peut être jugée qu'au

cas par cas, car elle dépend des systèmes de produits étudiés, de la qualité des données et des objectifs visés.

1.4 Méthodes d'ACV simplifiées sélectionnées

Suite à la revue de littérature sur les méthodes d'ACV simplifiées, trois méthodes d'ACV simplifiées ont été sélectionnées afin d'être appliquées au cas d'un produit manufacturier à usage unique et de comparer les résultats obtenus par chaque méthode. Cette sous-section présente donc de manière plus détaillée chacune des trois méthodes dont le choix est justifié à la section 3.2.2.

1.4.1 Méthode Environmentally Responsible Product Assesment (ERPA)

Cette méthode a été développée en 1993 par Graedel et Allenby dans le cadre d'un projet réalisé pour le compte de la compagnie AT&T Corporation (Graedel, 1998). La méthode Environmentally Responsible Product Assesment (ERPA) est définie comme étant une méthode matricielle, puisque cette évaluation environnementale simplifiée est basée sur le calcul d'une matrice 5x5. Tel que montré au Tableau 1.5, une des dimensions de la matrice contient les étapes du cycle de vie du produit alors que l'autre contient les stressseurs environnementaux. Dans cet exemple, les valeurs inscrites dans la matrice sont les indices des cellules i, j .

Tableau 1.5 : Exemple de matrice ERPA (Graedel, 1998)

Étapes du cycle de vie	Stresseurs environnementaux				
	Choix des matériaux	Utilisation de l'énergie	Rejets gazeux	Rejets liquides	Rejets solides
Préfabrication	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
Fabrication	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5
Distribution	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5
Utilisation	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5
Fin de vie	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5

Bien qu'il existe d'autres types de méthode matricielle (plusieurs compagnies ont développé leurs propres méthodes matricielles qui sont adaptées à leur besoin), la méthode ERPA est la plus connue et la plus utilisée pour ce qui est des produits manufacturiers. En plus de permettre

l'évaluation de différents produits, cette méthodologie peut également servir à évaluer des services, des infrastructures ou des procédés.

L'évaluation environnementale réalisée à l'aide de la méthode ERPA est principalement qualitative : un score entre 0 (impact environnemental le plus grand, situation défavorable pour l'environnement) et 4 (impact environnemental le plus faible, situation la plus souhaitable pour l'environnement) sera attribué à chaque cellule de la matrice par un praticien. Par la suite, une double pondération peut être appliquée. Un score global, appelé R_{ERP} (Environmentally Responsible Product Rating) peut-être calculé par la sommation de tous les éléments de la matrice (voir Équation 1.1).

Équation 1.1 Calcul du score global de la matrice ERPA

$$R_{ERP} = \sum_i \sum_j M_{i,j}$$

L'attribution des scores comporte une grande part de subjectivité puisque deux praticiens qui réalisent une étude avec la méthode ERPA peuvent considérer différemment l'importance d'impacts environnementaux selon leurs expertises et leurs perceptions des risques potentiels. Heureusement, des guides de pointage ainsi que des protocoles, comme ceux présentés par Graedel (1998) dans le livre *Streamlined Life-Cycle Assessment* à l'Annexe B, peuvent limiter ce phénomène. Une étude réalisée par plusieurs groupes de quatre évaluateurs a montré que les scores globaux calculés variaient de moins de 15 % (Graedel, 1998).

Puisque la méthode ERPA n'est pas une méthode quantitative et qu'elle se base sur l'évaluation d'un produit par des experts, les résultats ne sont pas une mesure de performance fiable, mais plutôt une évaluation du potentiel d'amélioration environnementale. Autrement dit, cette méthode est bien adaptée à l'identification des points chauds d'un produit.

Plusieurs auteurs ont comparé l'utilisation de la méthode ERPA à d'autres méthodes d'ACV simplifiées (Bécaert et al., 2006; Côté, 2005; Hochschorner & Finnveden, 2003; Hur Tak et al., 2005). Ces études ont mené à différentes conclusions montrant certaines forces de la méthode ERPA telles que sa rapidité et sa facilité d'exécution ainsi que ses limites comme l'importance des choix effectués par l'analyste lors de l'évaluation des scores.

En plus de la représentation des résultats sous forme matricielle, les résultats sont souvent représentés sous forme de graphique circulaire. La figure suivante en présente un exemple, où les

25 axes numérotés représentent les valeurs des cellules de la matrice. Par exemple, l'axe 1,2 représente la cellule 1,2 de la matrice.

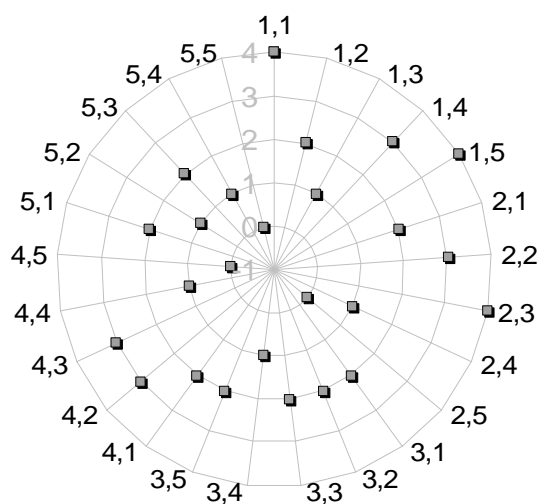


Figure 1.9 : Exemple de graphique circulaire ("target plot").

1.4.2 Méthode MECO

Cette méthode a été développée par le *Danish Institute for Product Development* et *dk-TEKNIK* dans le cadre d'un grand projet danois. Elle a été décrite par Pommer et al (2001) [en danois] et par Wenzel *et al* (2000).

Le tableau MECO peut être utilisé comme une méthode simplifiée d'ACV ou encore pour systématiser et faciliter la communication des résultats d'une ACV détaillée. Elle est réalisée selon quatre catégories (M, E, C et O) présentées au Tableau 1.6 et elle est basée sur trois principes exposés au Tableau 1.7.

Tableau 1.6 : Catégories de la méthode MECO et types d'impacts associées (Wenzel et al., 2000)

Catégories		Types de catégories d'impacts associés à cette catégorie MECO		
		Impacts environnementaux	Consommation de ressources	Impacts sur l'environnement de travail
M	Matériaux	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Déchets ▪ Cendres et scories 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ressources utilisées pour les matériaux ▪ De manière générale, consommation de ressources renouvelables 	
E	Énergie	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Changements climatiques ▪ Formation d'ozone photochimique ▪ Acidification ▪ Enrichissement en nutriment ▪ Déchets ▪ Cendres et scories ▪ Déchets nucléaires 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vecteurs énergétiques, plus particulièrement les ressources fossiles et le bois ▪ De manière générale, consommation de ressources non renouvelables 	
C	Produits chimiques	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Destruction de l'ozone stratosphérique ▪ Formation d'agents photooxydants ▪ Toxicité persistente ▪ Impact écotoxicologique ▪ Impact toxicologique chez les humains ▪ Déchets dangereux 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ressources utilisées pour la production de produits chimiques 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Impacts liés à l'exposition aux produits chimiques comme le cancer, les allergies, les dommages causés au système sexuel ou au système nerveux.
O	Autres (« Others »)			<ul style="list-style-type: none"> ▪ Travail monotone et répétitif ▪ Bruits ▪ Accidents de travail

Tableau 1.7 : Principes et justifications de la méthode MECO (Wenzel et al., 2000)

Principes	Justifications
Ensemble, les catégories matériaux (M), énergie (E), produits chimiques (C), et autres (O) représentent tous les échanges environnementaux terminaux.	Les matériaux, l'énergie et les produits chimiques représentent tous les entrants terminaux au système de produit. Tous les extrants terminaux sont causés directement ou indirectement par des éléments reliés à l'un de ces trois groupes. Le groupe « Other » représente les impacts sur l'environnement de travail qui ne sont pas reliés aux entrants et aux sortants (p. ex. travail monotone et répétitif, bruits, accidents de travail).
Les catégories M, E, C, O représentent chacun leurs propres types de consommation de ressources et d'impacts potentiels.	La consommation de matériaux représente un type de consommation de ressources, généralement la consommation de ressources renouvelables. La consommation d'énergie représente un deuxième type, généralement la consommation de ressources non renouvelables. Ensemble, M et E représentent tous les types d'utilisation des ressources. De plus, la consommation d'énergie est liée à un groupe de types d'impacts dû principalement aux émissions des procédés de combustion. La consommation de produits chimiques représente un autre groupe de types d'impacts. Ensembles, les catégories E et C représentent la majorité des types d'impacts environnementaux, tandis que O représente les impacts qui ne sont pas couverts par M, E et O.
Les catégories M, E, C, O représentent des domaines d'améliorations typiques dans le développement de produits.	Le concepteur de produits est habitué de travailler en pensant à l'économie ou la substitution de matériaux, d'énergie ou de produits chimiques. Cela est représenté par les catégories M, E et C. Les propriétés d'un produit, telles que la durée de vie et la facilité de désassemblage, avec lesquelles le concepteur est aussi familier sont liées à la catégorie O. Une initiative environnementale à l'étape de la conception d'un produit vise souvent l'un des quatre domaines représentés par M, E, C et O.

Comme le démontre le troisième principe qui mentionne l'utilisation de la méthode pour l'amélioration de produits du point de vue environnemental, la méthode MECO a été conçue afin de faciliter l'écoconception de produits. Les résultats peuvent être compilés dans un tableau où l'on retrouve les catégories M, E, C et O en fonction des différentes étapes du cycle de vie étudiées.

Tableau 1.8 : Tableau des résultats de la méthode MECO

Catégories	Étapes du cycle de vie				
	Extraction des matières premières	Fabrication	Usage	Transport	Fin de vie
Matériaux					
Énergie					
Chimiques					
Others (autres)					

Dans une étude, Hochschorner et Finneveden (2003) ont montré que par rapport à la méthode ERPA, la méthode MECO présentait plusieurs avantages et fournissait même certaines informations complémentaires à celle d'une analyse de cycle de vie détaillée.

Peu d'études utilisant la méthode MECO ont été publiées. Outre les exemples retrouvés dans le manuel *Environmental Assessment of Products*, les seuls produits analysés à l'aide de la méthode MECO qui sont cités dans la littérature sont l'automobile et la grenade explosive (Hochschorner & Finnveden, 2003; Hochschorner et al., 2006).

1.4.3 L'outil ATEP

Cet outil typologique élaboré par le Centre Technique des Industries Mécaniques (CETIM)⁵ vise à évaluer grâce à des données qualitatives, le profil environnemental des produits de type mécanique. Cet outil expert d'analyses environnementales est intégré à la méthode d'apprentissage organisationnel pour l'intégration de l'écoconception (MAIECO).

Plutôt que d'évaluer les aspects environnementaux, l'outil ATEP les hiérarchise selon leur ordre d'importance. Par rapport aux autres résultats d'analyses de cycle de vie simplifiées, les

⁵ Une entente a été réalisée avec le CETIM pour permettre l'utilisation de cette méthode par le CIRAIG dans le cadre de ce projet de maîtrise. L'arbre de décisions, la pondération ainsi que d'autres informations confidentielles ont été obtenues auprès du CETIM.

résultats obtenus à l'aide de l'outil ATEP ne sont donc pas « absolus ». La hiérarchisation est réalisée par le calcul de notes à l'aide d'un arbre de décisions :

« La note maximale (4) signifie que l'aspect environnemental doit être considéré en priorité d'un point de vue environnemental. La note minimale (1) signifie que l'aspect environnemental a une importance moindre et ne constitue donc pas une priorité. La note 0 signifie que l'aspect environnemental n'est pas concerné. » (Centre technique industriel, 2007)

Le calcul des notes est basé sur une série de postulats environnementaux présentés dans la thèse de doctorat de M. Stéphane Le Pochat (2005). Ces postulats ainsi que la pondération des notes et l'arbre de décisions reposent sur des justifications empiriques, logiques, réglementaires ou heuristiques.

Les différents aspects environnementaux de la méthode ATEP sont présentés au tableau suivant qui a été réalisé grâce aux informations fournies par le CETIM lors d'une formation :

Tableau 1.9 : Aspects environnementaux pris en compte dans l'outil ATEP

Aspects environnementaux	Caractéristiques
Matières premières (MP)	Nature des matériaux, des composantes et des fluides entrant dans la composition du produit
Production/Fabrication (F)	Ensemble des processus nécessaires à l'élaboration du produit, en interne et en externe
Utilisation (U)	Ensemble des ressources nécessaires à l'utilisation du produit
Recyclabilité en fin de vie (FV-R)	Aspects de conception susceptibles de réduire l'impact du produit en fin de vie
Substances dangereuses en fin de vie (FV-S)	Substances contenues dans le produit et susceptibles de pénaliser la fin de vie du produit
Logistique/transports (T)	Répartition géographique en % du nombre de fournisseurs et de sous-traitants
Emballages (Emb)	Conditionnement expédition, envoi au client final

Suite à la hiérarchisation des aspects environnementaux, l'outil propose une série de lignes directrices qui sont associées à chacun des sept aspects environnementaux, afin de rechercher des voies d'amélioration de la conception. Ces lignes directrices sont en fait des règles génériques

d'améliorations environnementales d'un aspect du cycle de vie du produit analysé (p. ex., réduire la consommation d'énergie, utiliser des matériaux recyclés, utiliser des matériaux recyclables, etc.). Chaque ligne directrice est notée en fonction de trois critères : environnement, faisabilité technique et aspects stratégiques. Les scores des critères techniques et stratégiques doivent être attribués par le(s) écoconcepteur(s), alors que le score environnemental correspond au score obtenu pour l'aspect environnemental lié à la ligne directrice. Tous ces scores sont ensuite compilés afin d'établir une note totale.

Par la suite, les lignes directrices sélectionnées par le(s) écoconcepteur(s) peuvent être associées à des indicateurs qui servent à déterminer l'évolution des aspects environnementaux du produit. Ainsi, un graphique référentiel tel que celui présenté à la Figure 1.10 peut être obtenu.

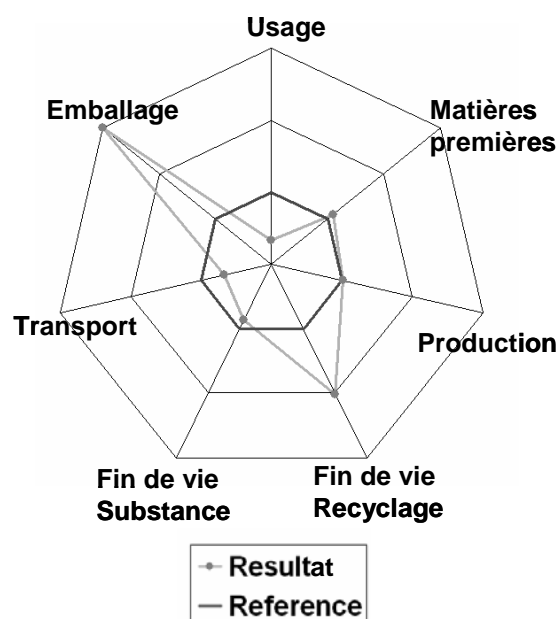


Figure 1.10 : Graphique référentiel obtenu à l'aide de la méthode ATEP.

Cet outil vise à déterminer et à hiérarchiser les lignes directrices d'écoconception d'un produit et à choisir des indicateurs environnementaux. Il offre l'avantage d'un questionnaire simple, d'un outil logiciel convivial et d'une méthodologie intégrée basée sur l'écoconception de produits. De plus, il intègre l'analyse des impacts ainsi que l'analyse réglementaire, basée sur le contexte réglementaire européen.

De manière générale, l'analyse typologique environnementale des produits est encore peu développée et ATEP est l'une des premières méthodes typologiques disponibles. Le principe de

base est qu'un type particulier de produit correspond à un type de profil environnemental. Or, l'un des problèmes rencontrés est le fait qu'il est difficile d'établir la typologie des produits, tel que démontré par les travaux de Sousa et Wallace (2006) qui ont utilisé la technique de classification hiérarchique afin de classer 64 produits selon leurs catégories environnementales. L'arbre de décisions de l'outil ATEP est, quant à lui, basé sur des postulats environnementaux. Or certains de ces postulats sont empiriques, aussi ils pourraient être modifiés en raison de l'acquisition de nouvelles connaissances ou des nouvelles réglementations.

1.5 Analyses des critères de conception et des fonctions de produit

En général, les produits sont conçus à partir d'une liste de spécifications, consistant en quelques fonctions et plusieurs contraintes. Peu de produits peuvent être exprimés par un seul critère, même s'il s'agit de la fonction principale ; les autres aspects tels que le coût, la durée de vie, la sécurité, les performances ou l'esthétique sont des facteurs très importants par rapport au choix des consommateurs (Lagerstedt, 2003). De plus, certains critères doivent être considérés par le manufacturier, comme les coûts de production, la stratégie corporative, les aspects légaux et la faisabilité technique. L'écoconception peut donc être considérée comme étant l'ajout de nouveaux critères à caractère environnementaux au sein des critères à prendre en compte lors des processus de conception et d'améliorations de produits.

L'une des étapes cruciales du développement de produits est la définition des besoins des consommateurs. Ces besoins doivent être clairement identifiés afin d'être traduits sous forme de fonctions que les produits pourront apporter aux consommateurs. Par exemple, une paire de souliers est un produit permettant de protéger les pieds, soit leur fonction principale. Mais les souliers ont également d'autres fonctions telles que de protéger contre le froid, de protéger contre les intempéries et de contribuer à la prestance sociale de leurs utilisateurs (Jolliet et al., 2005). Afin de développer des produits qui répondent réellement aux besoins des consommateurs, les équipes de conception cherchent donc à comprendre et identifier toutes les fonctions que le produit devrait procurer à leurs usagers.

Les domaines de l'analyse de cycle de vie et du développement de produits ont développé des vocabulaires différents concernant les fonctions de produits. De plus, plusieurs méthodes ont

été développées, notamment basées sur le déploiement des fonctions qualités (QFD) pour mettre en relation les fonctions des produits avec leurs impacts environnementaux.

1.5.1 Fonctions de produits selon le domaine de la conception de produits

Lors d'un processus de conception de produits, les fonctions attendues par le donneur d'ordre, c'est-à-dire l'entreprise ou la personne ayant demandé au concepteur de concevoir un nouveau produit, sont souvent rassemblées dans un cahier des charges. Ce document a pour objectif d'indiquer au concepteur l'ensemble des fonctions que le produit doit assurer. En plus des fonctions, le cahier des charges peut contenir des contraintes techniques que le produit doit respecter.

Parmi les acteurs impliqués dans le processus de conception de produit, les départements de marketing et de recherche et développement jouent des rôles clés dans la détermination des fonctions que le produit devrait avoir afin de répondre aux attentes des clients (Akao, 1993; Janin, 2000). Pour ce faire, il existe plusieurs approches afin de déterminer les fonctions attendues par les clients. Par exemple, la détermination peut être effectuée grâce à une consultation des employés de l'entreprise (particulièrement ceux des départements marketing et R&D) afin de profiter de leur savoir acquis ou par la réalisation d'études de marchés auprès des consommateurs (Akao, 1993).

1.5.2 Fonctions de produit selon le domaine de l'analyse de cycle de vie

L'un des éléments méthodologiques de base de l'ACV est le fait que les limites du système étudié sont déterminées par ses fonctions. Les fonctions du système étudiées servent également à déterminer l'unité fonctionnelle. Dans le cas où l'étude ACV réalisée a pour objectif d'analyser les impacts potentiels de différentes options, il est impératif que toutes les options remplissent la même fonction pour pouvoir être comparées (Jolliet et al., 2005).

Les normes ISO, qui précisent les exigences et les lignes directrices concernant la réalisation d'ACV, définissent le terme fonction comme étant les « caractéristiques de performance du système étudié ».

L'unité fonctionnelle est donc la « performance quantifiée d'un système de produits destinée à être utilisée comme unité de référence dans une analyse du cycle de vie » (ISO 14044, 2006b).

D'ailleurs, les normes ISO soulignent l'importance de l'unité fonctionnelle comme élément méthodologique qui différencie l'ACV des autres techniques telles que l'évaluation de la performance environnementale, l'évaluation de l'impact environnemental et l'évaluation des risques (ISO 14044, 2006b).

Or, une problématique émerge du fait que les produits manufacturiers remplissent généralement plus d'une fonction. D'après Lagerstedt et ses collaborateurs (2003), la majorité des outils d'écoconception, dont l'analyse de cycle de vie, sont basés sur un seul critère (la fonction principale exprimée quantitativement là, sous forme d'une unité fonctionnelle). Il en résulte que des produits ou concepts très différents sont souvent comparés.

1.5.3 Types de fonctions de produits

Il est possible de classer les fonctions de produits selon différentes catégories. Le modèle de Kano différencie les fonctions en lien avec la manière dont elles procurent de la satisfaction ou qu'elles causent de l'insatisfaction aux clients : 1) les fonctions dites obligatoires ou de base (*must-have*) ; 2) les fonctions reliées aux performances du produit (*linear satisfier, performance need*) ; 3) les fonctions attractives.

Les fonctions de bases représentent les caractéristiques du produit que les clients s'attendent impérativement à recevoir. Lorsque les produits procurent ces fonctions attendues, les clients n'en tirent pas de satisfaction et ne perçoivent généralement pas leur importance. Par contre, lorsque les produits ne répondent pas à ces attentes de bases, les clients se disent insatisfaits. Certaines fonctions du produit procurent aux clients une satisfaction proportionnelle au niveau de performance de leur accomplissement. Par exemple, une réduction de la consommation d'essence d'une voiture peut entraîner une augmentation proportionnelle de la satisfaction des clients (Lagerstedt, 2003). Les fonctions attractives ne sont généralement pas attendues par les clients, mais elles peuvent donner lieu à une grande augmentation de leur satisfaction.

Dans sa méthodologie visant à déterminer l'unité fonctionnelle d'une ACV axée sur les conséquences, Bo Weidema (2003) a proposé une classification des fonctions du produit. Trois types de fonctions sont proposés : 1) les fonctions obligatoires; 2) les fonctions de positionnement et 3) les fonctions non reliées au marché.

Les fonctions obligatoires sont des exigences devant absolument être remplies par le produit alors que les fonctions de positionnement sont des exigences considérées comme étant « agréables à recevoir ». Ces exigences de positionnement ont une grande influence sur la décision du consommateur à acheter un produit particulier plutôt que ses produits concurrents. Ces deux types de fonctions sont reliés aux attentes des consommateurs alors que les fonctions non reliées au marché n'ont qu'une faible incidence sur les comportements des consommateurs.

1.5.4 Méthode « Quality Function Deployment »

La méthode « Quality Function Deployment » (QFD) est une approche matricielle permettant de faire entendre les besoins des clients, exprimés comme étant « la voix du client » ou encore les qualités demandées, et les véhiculer à toutes les phases du cycle de développement de produits (conception, industrialisation, production, etc.). Pour ce faire, tous les départements de l'entreprise doivent prendre part à cette approche. De manière générale, cette approche est appliquée par des équipes multidisciplinaires de cinq à sept personnes (Janin, 2000). Le terme QFD désigne également les matrices, les tableaux et les diagrammes qui sont les outils au cœur de cette approche (Akao, 1993).

L'établissement des qualités demandées par le client commence par la collecte des données brutes (telles qu'exprimées par le client dans son langage). L'équipe réalisant l'approche QFD doit par la suite interpréter et reformuler ces données afin d'en tirer les informations essentielles sur le produit. Pour ce faire, l'approche QFD propose différents outils tels que le diagramme d'affinités ou le diagramme en arbre de déploiement (Akao, 1993).

Les qualités demandées sont l'un des éléments constitutifs de la matrice qualité (ou matrice de la qualité). Cette matrice est l'un des outils utilisés par cette approche afin de décrire le produit ou le service étudié. Il existe différentes façons possibles de réaliser ce type de matrice, par exemple en indiquant dans la matrice les qualités demandées par le client vs les mécanismes du produit. Cette matrice peut ainsi inclure plusieurs informations par rapport au produit et aux manières de l'améliorer, comme les qualités demandées par le client, les mécanismes, les essais, les modes de défaillances, les composants ou les paramètres de procédés (Akao, 1993).

La méthode QFD est donc une approche matricielle qui peut être adaptée aux besoins des entreprises afin d'assurer la qualité de la conception de ces produits. Par rapport à l'approche QFD standard, l'un des ajouts possibles est l'intégration d'aspects environnementaux.

1.5.5 Méthode QFD environnementale

Prenant la méthode QFD comme point de départ (en particulier la matrice de qualité), plusieurs techniques ont été proposées afin d'intégrer des résultats d'ACV dans le processus de conception de produits. La plupart des approches proposées sont strictement comparatives (Sakao, 2007; Stiassnie & Shpitalni, 2007; Utne, 2009; Zhang, 1999; Zhou & Schoenung, 2004), puisqu'elles ont été développées afin d'évaluer différentes options de conceptions selon différents critères (exigences du client, impacts potentiels agrégés en score unique calculés par l'ACV, coût du cycle de vie, etc.).

L'approche proposée par Bovea et Wang se distingue donc par le fait qu'elle permet l'identification des points chauds du produit selon des critères environnementaux, économiques et fonctionnels. Cette approche matricielle est basée sur la simplification de la matrice qualité de la méthode QFD. Elle intègre l'analyse des attentes des clients (c.-à-d. les fonctions du produit attendues par les consommateurs), l'ACV, l'analyse des coûts du cycle de vie et l'analyse de la volonté de payer des consommateurs par rapport aux différents composants du produit étudié. Le Tableau 1.10 montre les différentes matrices obtenues pour le cas d'une table, soit la matrice d'importance, la matrice du design initial et la matrice d'écoredesign.

La matrice d'importance montre les relations entre les composants du produit et les attentes des clients (déterminée à partir de sondages effectués auprès de consommateurs). Elle peut être utilisée afin de déterminer les composants les plus importants du point de vue des attentes du client. La matrice du design initiale montre l'index environnemental et l'index des coûts de chaque composant. Il est à noter que l'index environnemental est calculé à partir de résultats d'ACV utilisant la méthode *Eco-Indicator 99* (score unique). La matrice d'écoredesign permet de comparer des options d'améliorations au cas initial du point de vue du score environnemental et des coûts.

Tableau 1.10 : Approche matricielle d'écoredesign proposée par Bovea et Wang (2007) appliquée au cas d'une table de bureau

		Attentes des clients	Poids	Panneau de particules	Enduit	Bordure	Pattes de table	"Tab"	"Levelling"	Structure	Pièces de raccord en fer	Emballage	Total	
Matrice d'importance	Surface de travail solide	3	■	■	□									
	Stabilité	4	Δ			□			■	■	Δ			
	Pas de dommage durant les transports	4										■		
	Masse légère	1	■	Δ	Δ	□	Δ	Δ	■	Δ				
	Visuellement attractif	4												
	Sensation au toucher (bois)	3												
	Installation non visible	3												
	Peu dispendieux	3	Δ	Δ	Δ	□	Δ	Δ	□	Δ	Δ			
	Usage de matériaux recyclables/recyclés	3	□	Δ	Δ	□	Δ	Δ	□	□	□			
	Usage de matériaux non toxiques	4	□	□	Δ	□			□					
	Facile à désassembler	3									■			
	Évite de couper des arbres	3	■	Δ									□	
	Importance absolue			91	67	41	81	20	43	75	44	72	534	
Importance relative (%)			17	13	8	15	4	8	14	8	13	100		
Design initial	Enviro.	Impact environnemental absolu (mPt)		894	99	143	4156	20	12	4073	30	363	9790	
		Impact environnemental relatif (%)		9,1	1	1,5	42,4	0,2	0,1	41,6	0,3	3,7	100	
		Index environnemental		1,9	12,5	5,1	0,4	18,5	81	0,3	27,3	3,6		
	Coût	Coût relatif (%)		57,2	0,7	1,2	12,9	0,8	0,2	23,4	0,6	3	100	
		Index de coût		0,3	17,9	6,4	1,2	4,6	40,5	0,6	13,7	4,5		
Ecoredesign (alternatives)	#1	Comparaison environnementale (%)					-36						15,1	
		Comparaison des coûts (%)					-13						1,7	
	#2	Comparaison environnementale (%)								-0,5				-0,2
		Comparaison des coûts (%)								3				0,7
	#3	Comparaison environnementale (%)		-41		-20								-4
		Comparaison des coûts (%)		-17		-9								-9,8
	#4	Comparaison environnementale (%)		-14										-1,2
		Comparaison des coûts (%)		7,5										4,3
	#5	Comparaison environnementale (%)											-44	-1,6
		Comparaison des coûts (%)											-5,7	-0,2

Légende:

■	Relation forte (score de relation de 5)
□	Relation moyenne (score de relation de 3)
Δ	Relation faible (score de relation de 1)
	Pas de relation (score de relation de 0)

1.5.6 Matrice écofonctionnelle

La matrice écofonctionnelle (« eco-functional matrix ») (Lagerstedt, 2003) est un outil d'écoconception à dominance qualitative. La matrice met en relation un profil fonctionnel avec un profil environnemental.

Ces profils sont composés de plusieurs catégories de fonctions de produits et de catégories environnementales. Un profil fonctionnel et un profil environnemental générique (voir les profils figurant au Tableau 1.11) ont été développés et sont proposés par les auteurs de la méthodologie (Lagerstedt, 2003; Lagerstedt et al., 2003). Cependant, ces profils peuvent être raffinés et adaptés plus spécifiquement au produit traité lors du processus de conception.

La matrice doit être remplie par les concepteurs de produits premièrement en attribuant un score d'importance à chaque catégorie et deuxièmement en déterminant s'il y a des relations entre chacun des aspects. Les scores d'importance des fonctions sont déterminés selon une échelle de 0 à 10 en réponse à la question suivante : « Est-ce que le produit pourra être vendu et fonctionner comme prévu, même si cette catégorie fonctionnelle n'est pas complètement accomplie par le produit? » Si la réponse à cette question est oui, certainement, sans aucun problème, cette catégorie devrait être affectée d'une valeur faible (0, 1 ou 2) (Lagerstedt et al., 2003). Si la réponse est un peu plus vague, la catégorie doit être affectée d'une valeur d'environ 5. Une réponse fortement négative telle que : « non, le produit ne fonctionnera définitivement pas correctement si cette catégorie fonctionnelle n'est pas complètement remplie » indique qu'une valeur autour de 10 doit être attribuée.

Cette approche matricielle a été élaborée pour être utilisée au début du processus de conception, mais elle peut être utile dans le cas de l'amélioration d'un produit existant. Le Tableau 1.11 présente un exemple de matrice utilisée au début du processus d'écoconception afin d'évaluer les liens entre les aspects environnementaux et les fonctions pour le cas d'une radio de communication pour pompier. Dans cette matrice, les relations entre des catégories environnementales et des catégories fonctionnelles ayant toutes les deux des scores élevés (soit un score supérieur à 5) ont été encadrées afin d'illustrer leur importance.

Tableau 1.11 : Matrice écofonctionnelle pour le cas d'une radio de communication de pompier
(adapté de Lagerstedt, 2003)

		Profil fonctionnel							Profil environnemental										
Type de produit: Radio de communication pour pompier		Durée de vie	Durée d'utilisation	Fiabilité	Sécurité	Intéraction utilisateur/machine	Coût du produit	Adaptabilité technique	Exigence environnementale	Nbr de produits par an	Taille	Nbr de matériaux différents	Mélange de matériaux	Matériaux rares	Matériaux toxiques	Consommation d'énergie	Source d'énergie		
Fonction: Pour communiquer et parler n'importe quand en toute circonstance		Valeur	8	10	10	2	4	0	7	3	3	2	2	7	6	3	4	4	
Profil fonctionnel	Durée de vie	8																	
	Durée d'utilisation	10	x																
	Fiabilité	10		x															
	Sécurité	2			x														
	Intéraction utilisateur/machine	4				x													
	Coût du produit	0					x												
	Adaptabilité technique	7	x	x	x	x		x											
Profil environnemental	Exigence environnementale	3							x	x									
	Nbr de produits par an	3		x	x					x									
	Taille	2									x								
	Nbr de matériaux différents	2										x							
	Mélange de matériaux	7	x	x	x				x	x		x	x						
	Matériaux rares	6	x	x	x				x	x		x	x						
	Matériaux toxiques	3				x				x									
	Consommation d'énergie	4	x	x						x	x								
	Source d'énergie	4								x	x		x	x		x	x		

Légende :

x : Relation entre deux catégories

x : Relation importante entre deux catégories (les scores associés aux fonctions ou aux aspects doivent être supérieurs à 5)

1.6 Synthèse critique de la revue de littérature

Suite à la revue de littérature, un constat s'impose : les concepteurs ont besoin d'outils simples pour leur fournir de l'information concernant les impacts (ou aspects) environnementaux du cycle de vie des produits qu'ils doivent améliorer. Parmi les méthodes disponibles afin d'évaluer les impacts environnementaux d'un produit et de déterminer leurs points chaud, l'ACV présente de nombreux avantages en raison de sa rigueur méthodologique et de son approche holistique. Cependant, les méthodes simplifiées présentent l'avantage de réduire le temps et les

efforts associés à la réalisation d'une étude ACV. Il est donc nécessaire d'analyser plus en profondeur certaines des méthodes disponibles afin de déterminer si elles constituent un compromis avantageux entre complexité et incertitude.

De plus, un deuxième constat ressort de la revue de littérature : dans un contexte d'améliorations de produits, il est important de mettre en relation les aspects fonctionnels et environnementaux du produit à améliorer. Pour ce faire, les méthodes matricielles peuvent être employées. Ces méthodes peuvent permettre d'identifier les points d'amélioration du point de vue fonctionnel et environnemental.

La matrice proposée par Bovea et Wang permet de montrer les relations entre les composants du produit, les attentes des clients, les coûts et les résultats d'ACV. Cependant, les résultats d'ACV utilisés ont été calculés en utilisant un score unique, ce qui ne permet pas de montrer si les résultats sont les mêmes pour différentes catégories d'impacts.

Au contraire, la matrice proposée par Lagerstedt permet d'établir des relations entre différentes catégories environnementales et fonctionnelles. Cependant, l'évaluation environnementale est basée sur le jugement d'un expert et non sur le résultat d'une étude ACV.

Ensemble, ces deux constats suggèrent l'idée d'améliorer les approches matricielles existantes pour qu'elles combinent les critères de conception, exprimés sous la forme d'un profil fonctionnel, et les résultats provenant d'ACV ou d'ACV simplifiées, exprimées sous la forme d'un profil environnemental⁶ (au lieu d'utiliser un score environnemental unique comme dans le cas de la matrice proposée par Bovea et Wang). Le but visé par cette approche est de cibler des points d'améliorations pour le produit étudié, et ce, en se basant sur ses points chauds environnementaux et fonctionnels.

⁶ Le profil environnemental est défini comme étant la « compilation [...] des résultats d'indicateurs de catégories pour les différentes catégories d'impacts » (ISO14044 :2006). Les catégories d'impacts évaluées dépendent de la méthode d'évaluation des impacts choisie.

CHAPITRE 2 HYPOTHÈSE ET OBJECTIFS

Découlant des deux constats effectués lors de la synthèse critique de la revue de littérature, une hypothèse de recherche ainsi que des objectifs de projet ont été énoncés. Ils sont présentés dans ce chapitre.

2.1 Hypothèse de recherche

L'hypothèse de recherche sur laquelle se base ce projet est la suivante : *Dans un processus d'écoconception de produits manufacturiers à usage unique, l'utilisation d'une matrice ACV-fonctionnelle intégrant les données de l'ACV simplifiées et les fonctionnalités du produit permet de cibler des points d'améliorations.*

2.2 Objectifs

Les deux objectifs principaux visés par ce projet sont les suivants :

1. Comparer les méthodes d'ACV simplifiées permettant d'identifier les points chauds d'un produit manufacturier à usage unique;
2. Dans un contexte d'écoconception d'un produit manufacturier à usage unique, développer des matrices ACV-fonctionnelles, c'est-à-dire des matrices ayant le rôle d'interface entre les résultats d'ACV et les critères de conception.

2.3 Sous-objectifs et organisation de la recherche

Le Tableau 2.1 ci-dessous montre comment les différentes sections du mémoire se positionnent vis-à-vis des sous-objectifs de recherche.

Il est à noter que lors de ce projet de maîtrise, un article concernant l'écoconception de produits à usage unique a été rédigé puis soumis au journal scientifique *Journal of Cleaner Production*. Cet article est intégré au présent mémoire puisqu'il présente des résultats relatifs au deuxième objectif de ce projet de recherche.

Tableau 2.1 : Organisation de la recherche

Sous-objectifs		Méthodologie	Résultats
Objectif 1 : Comparaison des ACV simplifiées			
1.1	Dans le cadre d'une étude de cas, réaliser une ACV (selon la série 14040 d'ISO) axée sur les attributs d'un produit manufacturier à usage unique.	Section 3.2	Section 4.1
1.2	Réaliser une revue de littérature sur les ACV simplifiées.	Section 3.2	Section 1.3
1.3	Sélectionner les approches simplifiées qui seront comparées.	Section 3.2	Section 4.2
1.4	Comparer les résultats d'ACV simplifiées avec ceux d'une ACV détaillée en évaluant différents paramètres ainsi que la divergence des résultats en termes de points chauds.	Section 3.2	Section 4.3
Objectif 2 : Développement d'interfaces entre les résultats d'ACV et les critères de conception			
2.1	Dans le cadre d'une étude de cas, comprendre les processus d'améliorations et de développement de produits afin d'identifier le niveau d'intégration actuel des aspects environnementaux dans ces processus.	Section 3.3	Section 5.1
2.2	Identifier les critères de conceptions (c.-à-d. fonctions primaires et secondaires du produit) pour l'étude de cas.	Sections 3.3 et 5.2 (article)	Section 5.2 (article)
2.3	Développer les matrices ACV-fonctionnelles, c'est-à-dire les interfaces entre les données d'ACV (résultats du sous-objectif 1.1) et les critères de conception.	Sections 3.3 et 5.2 (article)	Section 5.2 (article)
2.4	Appliquer cette interface à l'étude de cas réalisée sur un produit à usage unique et identifier les composants du produit qui sont les plus grands contributeurs fonctionnels et environnementaux.	Sections 3.3 et 5.2 (article)	Section 5.2 (article)

CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE

3.1 Approche conceptuelle

La revue de littérature a montré qu'il existe différentes visions et différentes définitions pour certains termes comme *écoconception* et *point chaud*. Des choix ont donc été nécessaires afin de déterminer les définitions appropriées dans le cadre de ce travail de recherche. De plus, il est nécessaire d'utiliser un vocabulaire précis pour désigner le niveau de détail des différentes approches d'ACV. C'est pourquoi des définitions ont également dû être déterminées pour les termes *analyse de vie simplifiée*, *analyse de vie détaillée* et « *screening LCA* ».

3.1.1 Écoconception

Dans le cadre de ce rapport, le terme *eco-redesign* ne sera pas utilisé puisqu'il n'est pas fréquemment employé dans la littérature, mais il décrit bien la nature de ce projet de recherche. Le terme écoconception sera utilisé en gardant à l'esprit qu'il peut désigner le processus de conception et d'améliorations environnementales d'un produit existant.

Puisqu'il existe différentes visions de ce que représente l'écoconception, il a été nécessaire de déterminer une définition appropriée par rapport aux objectifs de ce projet de recherche et de l'étude de cas associée. Aussi, la définition utilisée inclut l'évaluation environnementale du produit visé par le projet d'écoconception **sur tout son cycle de vie**. La pensée de cycle de vie doit donc être appliquée lors du développement d'un produit manufacturier, comme en ce qui concerne le produit visé par l'étude de cas. Les avantages de la prise en compte du cycle de vie dans les processus d'écoconception d'un produit ont d'ailleurs été énoncés dans le rapport technique ISO/TR 14062 : 2002 qui porte sur « l'intégration des aspects environnementaux dans la conception et le développement de produit ». Ce rapport technique mentionne que :

« Les impacts environnementaux d'un produit sont largement déterminés par les entrants en matières et énergies et les sortants produits **à toutes les étapes de son cycle de vie**. Les impacts environnementaux peuvent être fortement influencés par les actions du ou des organismes ou du ou des individus qui utilisent le produit. » (ISO/TR 14062, 2002b)

La définition d'écoconception retenue dans le cadre de ce mémoire est donc celle énoncée par Janin (2000) dans sa thèse de doctorat :

« Intégration de la protection de l'environnement dès la conception des produits et des procédés industriels. L'objet d'une telle démarche est la réduction **des impacts** d'un produit sur l'environnement **tout au long de son cycle de vie** depuis l'extraction de ses matériaux constitutifs jusqu'à son élimination en fin de vie. Le concept de base est le modèle cycle de vie où tous les entrants (matériaux et énergie) et sortants (émissions polluantes et déchets) des processus utilisés en phase de fabrication, distribution, utilisation et élimination, sont identifiés et pris en compte dès la conception du produit. »

Cette définition a été choisie, car elle représente l'écoconception avant tout comme un processus technologique où les entrants et les sortants sur tout le cycle de vie du produit doivent être considérés. Contrairement aux définitions basées essentiellement sur des modèles sociaux culturels « [...] on ne cherche pas à réduire la quantité de produits fabriqués, mais à rendre cette production la plus inoffensive possible vis-à-vis de l'environnement » (Janin, 2000).

3.1.2 Points chauds

La revue de littérature a montré qu'il existe plusieurs définitions possibles de ce qu'est un point chaud. Avec les approches simplifiées, le type de points chauds obtenus est déterminé par la manière dont le système est modélisé (ex. par étape du cycle de vie, par composant, par processus unitaire) dans la méthode ainsi que du type d'évaluation environnementale réalisée (nombre d'aspects ou d'impacts environnementaux évalués). Par exemple, une méthode ACV détaillée pourra avoir des points chauds plus « précis » qu'une méthode d'AVC simplifiée parce qu'elle prend en compte plus de catégories d'impacts environnementaux ou qu'elle a un niveau de détail plus grand dans la modélisation des processus du cycle de vie.

3.1.3 Analyse de cycle de vie détaillée

L'analyse de cycle de vie détaillée (aussi appelée ACV complète dans la littérature) désigne l'analyse de cycle de vie environnementale par attribut réalisé en accord avec les normes ISO14040 à 14044. Selon cette norme l'ACV est la « compilation et [l']évaluation des intrants, des extrants et des impacts environnementaux potentiels d'un système de produits au cours de son cycle de vie ». Dans le cadre de cette maîtrise, l'ACV détaillée est donc définie comme étant la méthode de référence pour la comparaison avec les méthodes d'ACV simplifiées.

3.1.4 Analyse de cycle de vie de type screening

Une étude ACV peut être réalisée avec un niveau de détails moindre afin de réduire le temps et les ressources nécessaires, si cela est cohérent avec l'objectif visé. Ce type d'étude est appelée *Screening LCA* lorsque son objectif est d'identifier les points chauds d'un système (Goglio & Owende, 2009) et qu'elle utilise des données facilement accessibles (Moberg et al.), telles que des données provenant de bases de données génériques.

En effet, comme l'objectif est d'identifier les points chauds, la qualité des données est moins importante que pour une ACV détaillée. Toutefois, dans une étude de type *Screening LCA* il est important d'inclure tous les procédés du cycle de vie qui peuvent être des contributeurs majeurs aux impacts environnementaux.

3.1.5 Analyse de cycle de vie simplifiée

L'analyse de cycle de vie simplifiée a le même objectif que l'ACV détaillée⁷, cependant la compilation et l'évaluation du cycle de vie ne sont pas aussi complètes et détaillées. Il est à noter que dans le cadre de ce projet de recherche, une méthodologie d'analyse de cycle de vie simplifiée ne suit pas obligatoirement la méthodologie en quatre étapes définies par la norme ISO14040. Il est cependant nécessaire que ce soit une évaluation (de nature quantitative ou qualitative) ou une hiérarchisation qui permet d'évaluer **le cycle de vie complet** d'un produit ou d'un service, mais avec un niveau de détails moindre au niveau de la modélisation des processus. En effet, pour pouvoir identifier les points chauds d'un produit ou d'un service, il est nécessaire de ne pas omettre d'étapes du cycle de vie (Jensen et al., 1997).

3.1.6 Fonctions, critères de conception

Dans le cadre de ce mémoire, les termes fonctions et critères de conception seront utilisés afin de désigner les caractéristiques du produit recherchées par les consommateurs. Le terme **fonction** est justifiable puisqu'il s'agit du langage utilisé par le domaine de l'ACV et par la matrice éco-fonctionnelle développé par Mme Jessica Lagerstedt. Le terme **critère de**

⁷ L'ACV cherche à compiler et évaluer les intrants, les extrants et les impacts environnementaux potentiels d'un système de produits au cours de son cycle de vie (ISO14040, 2006).

conception se réfère au fait que les fonctions d'un produit peuvent être également vu comme étant des spécifications de nature fonctionnelles faisant partie du cahier de charge.

3.2 Objectif 1 : Comparaison des ACV simplifiées

3.2.1 Réalisation d'une étude de cas

Une étude de cas a été effectuée sur un produit à usage unique. Le produit étudié est une serviette sanitaire qui a les caractéristiques suivantes du point de vue cycle de vie :

- Approvisionnement : Le produit et ses emballages sont composés principalement de plastiques, de pulpe de bois, de carton, d'adhésifs et de polymères aux propriétés absorbantes (SAP). Chez les fournisseurs, ces matières sont traitées pour obtenir plus d'une dizaine de composants. Les composants sont par la suite transportés sur de grandes distances, principalement sur une échelle continentale par camion.
- Production : La production est, en fait, l'assemblage des différents composants qui sont coupés et collés. Par la suite, le produit est emballé. Cette étape requiert de l'électricité (pour les machines, les chariots élévateurs et la climatisation), consomme peu de gaz naturel et génère une grande quantité de rejets solides. Ces rejets sont majoritairement envoyés à l'enfouissement.
- Distribution : La distribution se fait à l'échelle continentale par camion.
- Usage : Une fois acheté, le produit est transporté par le consommateur avant d'être utilisé (sans consommation d'électricité ou de matières premières).
- Fin de vie : Le produit et son emballage sont envoyés à la collecte municipale (ils seront donc enfouis ou encore incinérés).

La serviette sanitaire est assemblée à partir d'une dizaine de composants, eux-mêmes constitués de plusieurs matériaux. Pour des raisons de confidentialité, ces composants sont désignés dans ce mémoire à l'aide de lettres. Le tableau suivant présente les principales caractéristiques de ces composants :

Tableau 3.1 : Composants du produit et leur fonction principale

Composant	Fonction principale
A	Absorbe et retient les fluides
B	Absorbe les fluides pendant que le composant A prend effet
C	Crée un effet visuel
D	Sépare les fluides des sous-vêtements
E	Sépare le fluide du corps et procure un effet douceur sur le corps
F	Protège le composant H avant son utilisation
G	Retient les composantes ensemble
H	Retient la serviette dans les sous-vêtements
I	Contrôle les odeurs
J	Protège le produit pendant sa distribution et son usage
K	Protège le produit pendant sa distribution et son usage
L	Protège le produit pendant sa distribution

Les résultats de l'étude de cas sont destinés à un usage interne par l'entreprise, mais pourraient également être rendus publics à des fins de marketing. L'**objectif** est d'évaluer dans un contexte nord-américain, les impacts environnementaux potentiels associés au cycle de vie complet du produit d'hygiène féminine étudié. Dans une perspective d'amélioration environnementale, il s'agit notamment d'identifier les « points chauds » du produit.

La **fonction principale** du produit étudié est « [d'] absorber (retenir) une quantité de flux menstruels pendant une période donnée ». Des **fonctions secondaires** ont également été identifiées soit de réduire les odeurs liées aux pertes menstruelles et d'assurer une certaine hygiène féminine (sensation de confort et de propreté).

La fonction principale a été quantifiée afin de déterminer l'**unité fonctionnelle** de l'étude, soit : « l'absorption du flux menstruel d'une femme ou d'une consommatrice nord-américaine moyenne sur une période d'un an ». Ces fonctions secondaires ont cependant été exclues de

l'étude, puisqu'elles sont de nature qualitative et qu'elles sont considérées marginales par rapport à la fonction.

Les **frontières du système** comprennent la production et le transport des matières premières jusqu'à l'usine de Montréal, la fabrication et la distribution de la serviette sanitaire de même que l'utilisation et l'enfouissement du produit en fin de vie. Elle inclut également la production des ressources consommées et la gestion des rejets générés à l'une ou l'autre de ces étapes.

Les **données** utilisées proviennent majoritairement de trois sources :

- le centre de recherche;
- la base de données *ecoinvent*;
- l'association *European Disposables And Nonwovens Association* (EDANA).

Le centre de recherche a fourni des données spécifiques concernant le produit. Par exemple par rapport aux composants de la serviette (composition massique, nature des matériaux, distances et mode de transport), aux procédés de fabrication (consommation de ressources et émissions) ainsi qu'aux activités de distribution (distances parcourues et mode de transport).

La base de données *ecoinvent* adaptée en ce qui a trait aux contextes énergétiques québécois et nord-américain a été utilisée lorsque possible pour la modélisation des processus. Des données supplémentaires ont été obtenues par l'entremise de l'association EDANA⁸ concernant la production de deux matériaux qui ne sont pas inclus dans la base de données *ecoinvent*.

Le système de produit a été modélisé dans le logiciel ACV SimaPro v.7.1.8 (PRé Consultants, 2007). De plus, des scénarios de conception ont également été développés afin de trouver des options permettant de réduire les impacts environnementaux associés au cycle de vie du produit. La **méthode d'évaluation des impacts** du cycle de vie IMPACT 2002+ (Jolliet et al., 2003) a été choisie afin de déterminer les résultats sous forme dommages. Les résultats ont par ailleurs été comparés à ceux obtenus à partir de la méthode ÉICV américaine TRACI (Bare et al., 2002) afin de vérifier leur validité.

⁸ Il s'agit de données non publiques ayant été obtenues par le CIRAIG

Les résultats de cette étude ACV ont été utilisés afin de remplir les deux objectifs de ce projet.

3.2.2 Sélection des approches simplifiées pour la comparaison

Les trois méthodes soulignées en bleu pâle dans le Tableau 1.3 sont les méthodes choisies dans le cadre de cette étude. Elles ont été choisies à l'aide des critères du Tableau 3.2.

Tableau 3.2 : Critères utilisés pour sélectionner les approches simplifiées

Critère	Sous-critère
Permettre l'identification des points chauds	<ul style="list-style-type: none"> • Ne pas être strictement comparative • Comprendre plusieurs types d'aspects/impacts environnementaux • Couvrir l'ensemble du cycle de vie
Être une méthode reconnue dans le domaine de l'ACV et de l'écoconception	<ul style="list-style-type: none"> • Avoir fait l'objet de publications (articles scientifiques, livres, rapports) • Représenter l'un des groupes de méthodes simplifiées (voir la section 1.3 de la revue de littérature)

Parmi les **méthodes matricielles basées sur le jugement d'experts**, la méthode ERPA est la plus employée et la plus méthodologiquement détaillée grâce au livre *Streamlined life-cycle assessment* rédigé par Thomas Graedel. Ce livre fournit une grille d'évaluation générique des produits qui peut être utilisée afin d'évaluer les points chauds environnementaux en termes de stressseurs et d'étapes du cycle de vie. Cette méthode a donc été sélectionnée pour comparer ses résultats à ceux d'autres approches simplifiées et à ceux de l'ACV réalisée dans le cadre de l'étude de cas.

Les **méthodes basées sur la logique floue** impliquent beaucoup de formation, puisqu'il s'agit de mathématiques complexes. Plusieurs aspects méthodologiques doivent être définis par les praticiens tels que les variables linguistiques et les règles floues, et ce, de manière spécifique pour chaque système étudié. L'utilisateur doit donc être en mesure de comprendre les implications de ces choix, ce qui complique l'application de ces méthodes. De plus, la majorité des méthodes répertoriées effectuent une comparaison entre différents produits ou procédés. Ces méthodes strictement comparatives ne peuvent pas permettre d'identifier les points chauds d'un

produit, puisqu'elles sont orientées vers la prise de décisions entre différentes options. Elles n'ont donc pas été sélectionnées puisqu'elles ne correspondent pas aux besoins de ce projet de recherche.

Parmi les approches de **typologies environnementales**, seul l'outil ATEP est présentement disponible pour évaluer des produits de manière à pouvoir identifier leurs points d'améliorations. Cet outil répond aux besoins de ce projet et à la définition adoptée, c'est pourquoi il a été sélectionné.

Aucune approche par **indicateurs environnementaux** n'a pas été sélectionnée. En effet, les méthodes basées sur un indicateur unique (CED, MIPS) ne comprennent pas une couverture complète des indicateurs environnementaux. Cela pose problème pour déterminer les points chauds en termes d'impacts environnementaux. Dans le cadre de ses travaux en design industriel, Colin Côté (2005) a démontré plusieurs avantages de la méthode *Eco-Indicator 99* dans le contexte de l'écoconception d'un meuble. Cependant, les résultats obtenus avec cette méthode sont sous forme de score environnemental agrégé, ce qui ne permet pas de différencier les résultats concernant les différents types d'impacts. Il en résulte que l'information à fournir aux concepteurs est plus limitée. De plus, les scores de plusieurs matières premières utilisées dans le produit visé par l'étude de cas ne sont pas disponibles puisqu'elles ne font pas parties des banques de données de ces méthodes. Une tentative pour utiliser l'approche LInX a montré qu'il est très difficile de calculer certains des paramètres sans avoir de logiciel ACV (par exemple, les émissions de gaz à effet de serre ou d'ion H⁺). De plus, la pertinence de certains paramètres et de certaines méthodes de calculs est discutable. Enfin, dans cette méthode, les index sont calculés pour l'ensemble du cycle de vie, ce qui rend difficile l'identification des points chauds.

Enfin, le **tableau de données** MECO a été choisi, car il s'agit d'une approche quantitative qui tient compte de l'ensemble du cycle de vie du produit et qui permet de prendre en compte des éléments (exemple : la masse, la consommation d'énergie, la toxicité, etc.) reliés à différents types d'impacts environnementaux. Il s'agit également du type de tableau le plus cité et le plus utilisé selon la revue de littérature.

Les méthodes ATEP, ERPA et MECO ont donc été sélectionnées. Elles répondent à l'objectif principal recherché soit l'identification des points chauds environnementaux d'un produit sur tout son cycle de vie. De plus, elles représentent différentes philosophies de simplifications possibles,

soit l'utilisation de matrices, de tableaux ou de typologie de produits. Deux de ces méthodes sont basées sur une évaluation par rapport à des critères environnementaux ou à des critères d'écoconception, alors que l'autre méthode est basée sur l'analyse de données d'inventaire. Ces trois méthodes sont décrites de manière plus exhaustive aux sections 1.4.1, 1.4.2, et 1.4.3.

3.2.3 Comparaison des résultats d'ACV simplifiées

Afin d'être comparées à l'étude de cas réalisée, les méthodes d'ACV simplifiées sélectionnées (ERPA, ATEP et MECO) ont été appliquées au cas du produit d'hygiène absorbant. Des critères de comparaison ont été choisis en relation avec le but visé par l'utilisation de méthode ACV ou d'ACV simplifiées, soit d'identifier les points chauds d'un produit à usage unique dans une optique d'écoconception. Dans le Tableau 3.3, les critères d'évaluations choisis ont été regroupés selon deux problématiques propres à l'application d'analyse environnementale : 1) la facilité d'utilisation qui est reliée essentiellement aux ressources nécessaires pour effectuer l'analyse simplifiée et 2) la qualité de l'évaluation qui est reliée à la pertinence scientifique et à la fiabilité de l'analyse réalisée. Ces deux critères expriment bien le défi de la simplification de l'ACV : avoir une méthode assez simple pour être intégrée au processus d'améliorations de produits mais assez complexe pour obtenir des résultats valables et significatifs.

Tableau 3.3 : Critères d'évaluation utilisés pour comparer les méthodes d'ACV simplifiées

Problématique	Critères d'évaluation
Facilité d'utilisation	<ul style="list-style-type: none"> • Données nécessaires (qualitatives ou quantitatives, spécifiques ou génériques) • Expérience requise en évaluation d'impacts • Formation requise par rapport à la méthode
Qualité de l'évaluation environnementale	<ul style="list-style-type: none"> • Type d'évaluation • Niveau de détail du système de produit • Points chauds obtenus

3.3 Objectif 2 : Développement d'une interface entre les résultats d'ACV et les critères de conception

Suite à la réalisation de l'étude de cas, une réflexion sur les liens entre impacts environnementaux et fonctionnalités de produits a été entreprise. Cette réflexion a eu lieu suite à l'analyse des processus d'améliorations et de développement de produits de l'entreprise visée par l'étude de cas.

3.3.1 Processus d'améliorations et de développement de produits de l'entreprise étudiée

L'entreprise visée par l'étude de cas est l'un des grands fabricants mondiaux de produits manufacturiers. Elle a développé plusieurs gammes de produits très diversifiées, incluant des produits d'hygiène absorbants à usage unique. Au Québec, l'entreprise possède un site manufacturier qui compte près de 700 employés, dont une centaine d'employés qui travaillent au centre de recherche affilié.

Un questionnaire a été réalisé afin d'obtenir des informations sur cette entreprise. Ce questionnaire d'environ vingt questions (voir le questionnaire à l'Annexe II) porte sur la culture d'entreprise, le développement de produits et le niveau d'intégration d'aspects environnementaux. Il a été rempli par le directeur du centre de recherche de l'entreprise en septembre 2008.

En plus des informations recueillies grâce au questionnaire, des renseignements supplémentaires sur le processus de développement de produits ont pu être obtenus lors d'une présentation donnée par l'un des employés de l'entreprise. Cette présentation portait également sur le logiciel utilisé pour gérer les projets de développement de produits.

3.3.2 Identification des critères de conception

Les critères de conceptions ont été identifiés grâce aux informations recueillies lors de la cueillette de données pour la réalisation de l'ACV. En effet, la fonction principale de chaque composant est l'une des informations qui ont été fournies lors de cette collecte. De plus, de nombreuses discussions concernant la fonction et l'unité fonctionnelle du produit étudié ont eu

lieu. Ces discussions ont mis en lumière l'importance des fonctions qualitatives telles que le sentiment de confort et de propreté ou le contrôle des odeurs, tel que discuté dans l'article présenté à la section 5.2.1.

3.3.3 Développer l'interface entre les données d'ACV et les critères de conception

L'objectif des deux matrices proposées est de pouvoir mettre en relation les résultats d'ACV, désignés comme étant le profil environnemental, et l'évaluation des critères de conception, désignée comme étant le profil fonctionnel. Tel que le démontre le Tableau 3.4, différentes façons de présenter ces deux profils ont été envisagées.

Tableau 3.4 : Possibilités envisagées concernant le profil environnemental et le profil fonctionnel

Profil environnemental (résultats d'ACV)	Profil fonctionnel (évaluation des critères de conception)
<ul style="list-style-type: none"> • Contribution relative aux différentes catégories d'indicateurs (problèmes ou dommages) environnementaux • Score unique (agrégation des différents indicateurs sous forme de contribution relative ou de pointage) • Classement selon les résultats d'ACV (du plus important au moins important) • Tests de sensibilité 	<ul style="list-style-type: none"> • Scores d'importance avec une échelle de 0 à 10 ou avec une échelle de 1 à 4 • Classement par ordre d'importance (du plus important au moins important) • Fréquence des changements ou des projets d'améliorations en lien avec cette fonction • Résultats de sondages auprès de consommateurs

C'est la contribution aux dommages environnementaux qui a été choisie comme profil environnemental, ce qui respecte la définition donnée par la norme ISO14044 :2006. Concernant le profil fonctionnel, l'évaluation des critères de conception en utilisant un score de 0 à 10, a été choisie. Cette manière de procéder développée par Jessica Lagerstedt a déjà fait l'objet de plusieurs études de cas (automobile, radio, etc.) (Lagerstedt, 2003; Lagerstedt et al., 2003). Dans le cadre de ce projet, l'évaluation des scores a d'abord été effectuée. Par la suite, cette évaluation ainsi que la matrice obtenue ont été validées auprès de l'un des directeurs R&D de l'entreprise.

CHAPITRE 4 RÉSULTATS : COMPARAISON DES ACV SIMPLIFIÉES

Ce chapitre contient les résultats obtenus concernant le premier objectif de ce projet, soit la comparaison d'approches d'ACV simplifiées. Les résultats des trois approches choisies ont été comparés à ceux de l'étude de cas selon différents critères. Mais d'abord, une étude ACV d'un produit à usage unique a été réalisée.

4.1 Étude de cas

L'étude de cas a fait l'objet d'un rapport détaillé soumis à l'entreprise. Les sous-sections suivantes en résument les résultats les plus significatifs pour ce projet de recherche.

4.1.1 Niveau de simplification de l'ACV réalisée

Comme mentionné dans la revue de littérature, toutes les analyses de cycle de vie comportent un certain niveau de simplification puisqu'une ACV parfaitement détaillée et complète est difficilement réalisable. C'est pourquoi les données manquantes, incomplètes ou non facilement accessibles ont été complétées par des hypothèses et des données génériques dans le cadre de l'étude de cas.

L'ACV réalisée comporte un niveau de détail très élevé concernant l'étape de production et ne peut être qualifiée de « *Screening LCA* ». En effet, des données spécifiques aux processus de production et de distribution ont pu être recueillies grâce à la collaboration des employés des différents départements de l'entreprise.

Au niveau de l'approvisionnement, le niveau de détail est plus faible, mais néanmoins adapté aux objectifs de l'étude. Des données (masses des composants et matériaux utilisés) facilement accessibles ont été recueillies en grande partie grâce aux spécifications techniques de l'entreprise concernant le produit et ses composants. Des processus d'*ecoinvent* ou des données d'EDANA ont par la suite été sélectionnés pour modéliser la production de matériaux et le transport entre les fournisseurs directs et l'usine de l'entreprise.

4.1.2 Résultats de l'étude ACV

Le cycle de vie environnemental du produit est dominé par l'étape de l'approvisionnement, qui contribue entre 76 à 94 % selon la catégorie d'impacts étudiée, comme

le montre l'article (voir section 5.2). Les étapes de production et d'utilisation ont de très faibles contributions aux dommages environnementaux. Au niveau de l'utilisation, il y a une activité qui survient soit le transport effectué par le consommateur, le produit étant jeté après une seule utilisation. L'usage est donc une activité dont les impacts sont fortement liés au comportement des utilisateurs (mode de transport, distance parcourue, nombre de produits transportés). La distribution du produit fini est la seconde étape du cycle de vie la plus importante, suivi de la fin de vie.

Étant donné l'importance de l'approvisionnement, cette étape du cycle de vie a été analysée plus en profondeur. Le Tableau 4.1 illustre les contributions relatives de chaque composant par rapport à cette étape. Les composants A, B, D et E sont les plus grands contributeurs aux quatre catégories d'impacts.

Tableau 4.1 : Contribution relative des différents composants relativement à l'étape du cycle de vie de l'approvisionnement (catégories de dommages, IMPACT 2002+)

Composant	Santé humaine	Qualité des écosystèmes	Changements climatiques	Ressources
Composant A	14%	37%	17%	13%
Composant B	26%	33%	20%	18%
Composant C	1%	4%	1%	0,4%
Composant D	8%	1%	12%	17%
Composant E	24%	2%	18%	22%
Composant F	8%	14%	8%	6%
Composant G	4%	0,5%	6%	6%
Composant H	2%	0,3%	3%	3%
Composant I	0,1%	0,0%	0,1%	0,2%
Composant J	6%	0,4%	6%	8%
Composant K	1%	0,1%	1%	2%
Composant L	5%	8%	8%	5%

Au cours de l'étude de cas, treize scénarios de conception ont été identifiés avec l'aide de l'un des directeurs R&D de l'entreprise. Il s'agit donc de scénarios réalistes visant à optimiser certains des composants du produit.

Tableau 4.2 : Variation des dommages environnementaux pour les scénarios de conception par rapport au produit non modifié (Catégories de dommages, IMPACT 2002+)

Scénarios de conception		Santé humaine	Qualité des écosystèmes	Changements climatiques	Ressources
1.	Composant A modifié	-10%	-29%	-3%	-1%
2.	Composant B modifié (#1)	-7%	9%	-5%	-8%
3.	Composant B modifié (#2)	16%	-28%	13%	21%
4.	Composant B modifié (#3)	-11%	-16%	-9%	-8%
5.	Composant B modifié (#4)	-14%	-11%	-11%	-12%
6.	Composant B modifié (#5)	-3%	-30%	-2%	2%
7.	Composant C modifié	-2%	-4%	-1%	-1%
8.	Composant D modifié	0,2%	4%	4%	-4%
9.	Composant E modifié (#1)	-8%	-0,4%	-2%	-0,1%
10.	Composant E modifié (#2)	-9%	0%	-2%	0%
11.	Composant G modifié	-4%	-1%	-5%	-5%
12.	Composant J modifié (#1)	-1%	0,04%	0,1%	0,3%
13.	Composant J modifié (#2)	-1%	2%	2%	-2%

Les scénarios 1, 5, 7 et 11 peuvent être combinés afin de créer une nouvelle serviette dite « optimisée » du point de vue environnemental. Ces scénarios ont été choisis car ils permettent de réduire les impacts environnementaux en modifiant les composants A, B, C et G. La Figure 4.1 montre que dépendamment de la catégorie de dommages, le scénario optimisé permet de réduire de 20% à 44% les impacts associés au cycle de vie du produit.

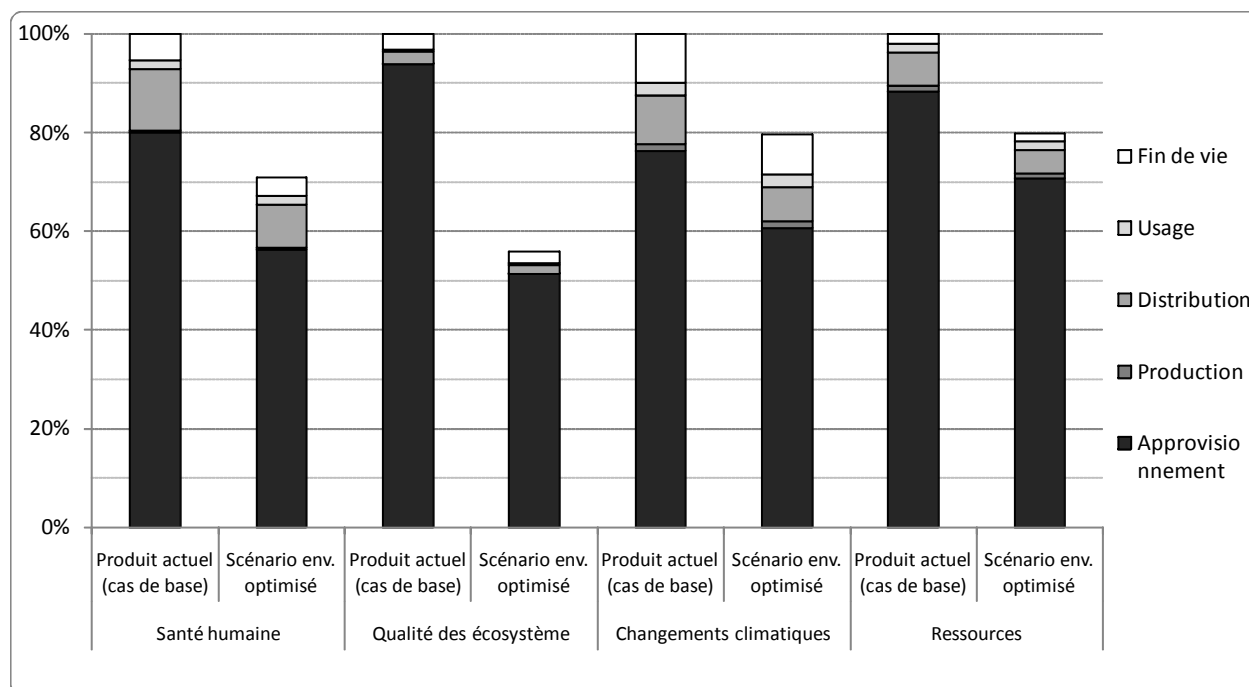


Figure 4.1 : Comparaison du scénario optimisé au scénario de base (Catégories de dommages, IMPACT 2002+).

L'analyse de sensibilité sur les différents paramètres clés du système a montré que l'approvisionnement ainsi que l'utilisation et la fin de vie sont les étapes reliées aux paramètres les plus sensibles (voir Tableau 4.3 où les trois paramètres les plus sensibles ont été soulignés en gris). Même si l'étape d'usage n'est pas un grand contributeur aux impacts environnementaux, l'analyse de sensibilité a mis en lumière l'importance des hypothèses posées concernant la distance de transport parcourue et le nombre de produits transportés.

Tableau 4.3 : Résumé de l'analyse de sensibilité

Étape du cycle de vie	Paramètres clés les plus sensibles
Approvisionnement	Masse du composant A
	Masse du composant B
	Masse du composant E
	Distance de transport du composant A
Production	----

Étape du cycle de vie	Paramètres clés les plus sensibles
Distribution	Distance de transport entre l'usine et les centres de distribution
	Distance de transport entre les centres de distribution et les détaillants
Usage	Distance de transport entre les détaillants et les domiciles des consommatrices
	Fraction du sac des consommatrices
Fin de vie	Fraction du produit enfoui (vs incinéré)
	Masse des retailles de production (« rejet de design »)
	Mode de gestion des rejets de production

4.2 Comparaisons de méthodes d'ACV simplifiées

Les détails de l'application aux méthodes simplifiées choisies, soit les méthodes ERPA, MECO et ATEP sont présentées aux l'Annexe III, IV et V. Cette section présente la comparaison de ces approches d'abord selon des critères reliés à leur applicabilité et ensuite à l'aide de critères portant sur la qualité des résultats obtenus.

4.2.1 Facilité d'utilisation des méthodes

Données nécessaires

Le temps requis n'a pu être mesuré en raison des facteurs suivants : 1) les courbes d'apprentissage liées aux méthodes différent et 2) la difficulté d'évaluer le temps requis pour la cueillette de données. En effet, chaque méthodologie simplifiée possède une courbe d'apprentissage différente liée par exemple à la documentation fournie et à la facilité d'appliquer une méthode. De plus, l'étendue de la cueillette des données est différente selon la méthode simplifiée appliquée. Or la cueillette a été réalisée pour une analyse de cycle de vie détaillée, ce qui ne permet pas de déterminer clairement le temps requis spécifiquement pour les données nécessaires à chaque méthode simplifiée. De plus, les données utilisées doivent être transformées (unité, mise à l'échelle par rapport à l'unité fonctionnelle) pour chaque méthode. Étant donné que c'est la même personne qui effectue ces opérations de traitement des données, elle acquiert une expérience, ce qui réduit le temps requis. C'est pour cette raison qu'au lieu d'évaluer le temps






requis, c'est le type de données requises pour chaque étape du cycle de vie qui a été considéré comme paramètre. En effet, il y a une relation directe entre le temps requis et les données requises.

Le Tableau 4.4 montre que le niveau de détail de la collecte de données ainsi que le type de données nécessaires varie grandement selon la méthode utilisée. Une version plus détaillée de ce tableau est disponible à l'Annexe VI. Il est à noter que certaines catégories de données sont plus faciles à trouver et nécessitent moins de temps et d'efforts tels que les données qualitatives ou les données provenant de base de données.

Tableau 4.4 : Types de données nécessaires pour différentes ACV

Type de données	ATEP	ERPA	MECO	ACV (étude de cas)
Fabrication des matériaux				
Fabrication des composantes			***	
Transport approvisionnement				
Production				
Transport distribution				
Utilisation				
Fin de vie				

Légende :

	Données qualitatives		Aucune donnée nécessaire
	Données quantitatives (génériques ou estimations)		Non spécifié par la méthode, dépend des frontières du système établies par l'analyste)
	Données quantitatives spécifiques		

La méthode ATEP est celle qui requiert le moins de données. Le questionnaire peut être rempli en moins de 20 min et les données demandées sont faciles à obtenir, car elles sont de nature quantitative. Cependant, cette méthode ne permet pas d'évaluer en profondeur les étapes du cycle de vie de la distribution et de la fin de vie.

Dans le cas de la méthode ERPA, l'analyse des données nécessaires est également basée sur le questionnaire à remplir. Dans le cas de l'application au produit d'hygiène absorbant, c'est la grille d'évaluation générique écrite par Graedel qui a été utilisée. Bien entendu, avec une grille

d'évaluation spécifique pour la comparaison de différents produits manufacturiers, la quantité et la qualité des données nécessaires seraient différentes.

Le Tableau 4.4 met également en évidence le fait que le tableau MECO et l'ACV réalisée requièrent des données de quantité et de qualité similaires. Dans les deux cas, il est nécessaire de définir clairement le système étudié et ses frontières, puisque cela influence l'étendue de la collecte de données. Pour la méthode MECO, des exemples sont fournis dans le document *Handbook on Environmental Assessment of Products* (2003) afin de guider les praticiens lors de la détermination des frontières et de la collecte de données.

Expérience en évaluation d'impacts requise et la formation par rapport à la méthode requise

Afin d'évaluer le niveau d'expérience et la formation requis pour être en mesure d'appliquer les différentes méthodes d'ACV simplifiées, il est nécessaire d'analyser les actions qui sont effectuées lors de l'application de chaque méthode. Cela a été résumé au Tableau 4.5 qui ne comprend toutefois pas les étapes de définition des objectifs, de collectes de données et d'interprétation des résultats puisqu'elles sont communes à chaque méthode.

Tableau 4.5 : Données nécessaires pour l'application de différentes méthodes d'ACV simplifiées

Méthode	Principales actions requises par la méthode
ATEP	Répondre à des questions à choix multiples sur les caractéristiques du produit et de son cycle de vie.
ERPA	Juger le degré de concordance avec les éléments de la grille d'évaluation pour chaque élément de la matrice (pour chaque combinaison d'un stresser environnemental et d'une étape du cycle de vie possible).
MECO	Calculer et convertir des données d'inventaire pour chaque catégorie environnementale grâce aux tableaux et aux équations fournies par le <i>Handbook on Environmental Assessment of Products</i> .
ACV	Modéliser le système étudié et évaluer l'impact environnemental (problème ou dommage) grâce à des modèles environnementaux en utilisant des bases de données et des logiciels spécialisés.

La méthode ERPA requiert la capacité de porter un jugement d'expert, et donc demande une meilleure compréhension des impacts environnementaux et du produit qu'une méthode comme ATEP qui est basée sur un arbre de décisions déjà fixé. C'est pourquoi celui qui applique cette

approche doit avoir non seulement les connaissances sur le cycle de vie du produit, mais aussi une connaissance de l'évaluation des impacts du cycle de vie. Dans le cas des concepteurs de produits, pour lesquels la formation et l'expérience par rapport au domaine de l'évaluation d'impacts sont très variables, cela peut s'avérer problématique.

Les conclusions concernant l'expérience et la formation nécessaires pour l'application de chaque type de méthode d'ACV simplifiées par des praticiens ont été représentées à la Figure 4.3. Cette figure résume bien le fait que l'outil ATEP est la méthode la plus simple à employer. Cela est vrai autant du point de vue des données nécessaires que de la formation et de l'expérience exigées pour son application.

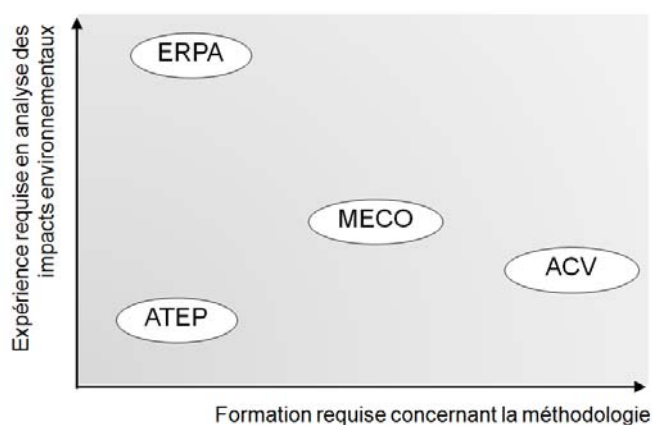


Figure 4.2 : Expérience et formation requises pour l'application de chaque type de méthode d'ACV simplifiée.

4.2.2 Qualité de l'évaluation réalisée

La facilité d'utilisation est un facteur clé pour les concepteurs de produits à la recherche d'une approche de simplification. Par contre, il faut mettre ce facteur en relation avec la fiabilité de la méthode. Cette sous-section vise donc à répondre à la question : « jusqu'à quel point est-il possible de simplifier une ACV sans diminuer la qualité scientifique de l'évaluation environnementale? »

Type d'évaluation environnementale

La qualité de l'évaluation étant un critère ardu à évaluer, les méthodes simplifiées ont été classées selon leur type d'évaluation environnementale. Une ACV permet l'évaluation des impacts environnementaux potentiels (problèmes ou dommages) à l'aide de modèles quantitatifs,

alors que les méthodes ERPA et ATEP sont des analyses de l'importance de différents aspects environnementaux (appelé stressseurs environnementaux dans le cas de la méthode ERPA) à l'aide de règles environnementales. La méthode MECO consiste à agréger et classer différentes données d'inventaire selon quatre catégories environnementales.

Tableau 4.6 : Types d'évaluations environnementales pour chaque méthode d'ACV simplifiée

Méthode d'ACV	Type d'évaluations environnementales
ATEP	Hiérarchisation d'aspects environnementaux (principales activités environnementales du cycle de vie du produit).
ERPA	Évaluation de stressseurs environnementaux pour chaque étape du cycle de vie.
MECO	Données d'inventaire pour chaque étape du cycle de vie.
ACV	Évaluation des impacts environnementaux (problème ou dommage) selon des modèles basés sur les chaînes de cause à effet pour chaque étape du cycle de vie qui peuvent elles-mêmes être décomposées sous forme de processus.

La Figure 4.3 met en relation le type d'évaluation environnementale avec la facilité d'utilisation. Les résultats ont mis en évidence le fait que pour un investissement comparable de temps et d'efforts, une ACV basée sur des données génériques est plus fiable qu'un tableau MECO.

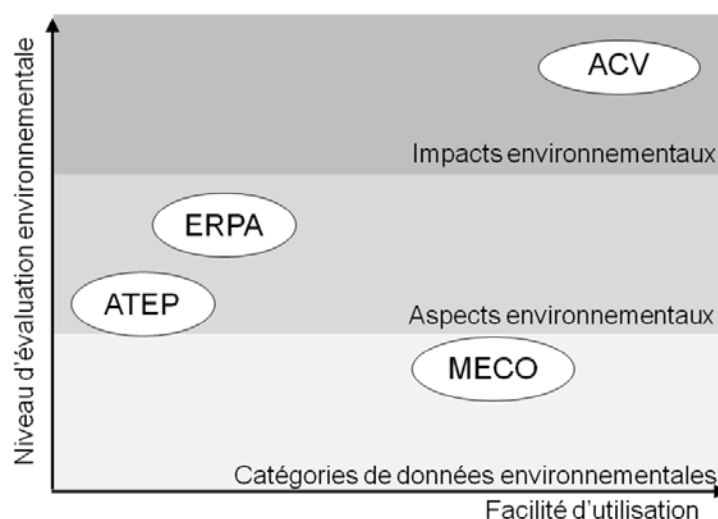


Figure 4.3 : Niveau d'évaluation environnementale par rapport à la facilité d'utilisation.

Niveau de détail du système de produit

Dans le cas des méthodes simplifiées ERPA, ATEP et MECO, les résultats présentés de manière standard sont exprimés uniquement en fonction des étapes du cycle de vie du produit. Étant donné que les résultats d'ACV peuvent être présentés non seulement en termes d'impacts associés à une étape du cycle de vie, mais aussi en termes de processus, cela permet de fournir beaucoup plus d'informations aux concepteurs de produits. Par exemple, l'ACV peut montrer aux concepteurs quels sont les composants ou les matériaux qui causent le plus d'impacts, ce qui n'est pas possible avec la méthode ATEP et qui est plus difficile avec les méthodes ERPA et MECO.

Points chauds obtenus

Chaque méthode permet d'analyser le cycle de vie des produits en fonction du type d'évaluation et du niveau de détail du système de produit. Afin de comparer les méthodes, les étapes du cycle de vie (approvisionnement, production, distribution, usage, fin de vie) ont été classées selon l'ordre d'importance obtenu à l'aide de chaque méthode.

Tableau 4.7 : Classement de l'importance des étapes du cycle de vie obtenu à l'aide des différentes méthodes

	ATEP	ERPA	MECO	ACV
Approvisionnement	1 ^{er}	2 ^e	1 ^{er}	1^{er}
Production	4 ^e	4 ^e	4 ^e	4^e
Distribution	1 ^{er}	1 ^{er}	3 ^e	2^e
Utilisation	5 ^e	5 ^e	5 ^e	5^e
Fin de vie	1 ^{er}	3 ^e	2 ^e	3^e

Dans le cas de la méthode ATEP, les résultats obtenus mettent à égalité les aspects environnementaux reliés avec les étapes d'approvisionnement, de distribution et de fin de vie. Or les résultats de l'ACV montrent de grandes différences entre les impacts associés à ces étapes. Avec la méthode ERPA, c'est l'étape de distribution qui obtient les plus grands scores suivie de l'étape de l'approvisionnement, ce qui est le contraire des résultats obtenus par l'ACV. La méthode MECO est difficile à utiliser pour comparer l'importance des différentes étapes du cycle

de vie. En effet, cela signifie qu'il faut comparer des étapes qui contribuent à différents types de catégories environnementales. Par exemple, pour l'approvisionnement, c'est la catégorie matériaux qui est dominante alors que pour les transports, c'est la catégorie de l'utilisation d'énergie.

CHAPITRE 5 RÉSULTATS : DÉVELOPPEMENT D'UNE INTERFACE ENTRE LES RÉSULTATS D'ACV ET LES CRITÈRES DE CONCEPTION

Ce chapitre présente les résultats obtenus en ce qui concerne le deuxième objectif de ce projet. D'abord, les réponses au questionnaire sur les processus d'amélioration et de développement de produits de l'entreprise étudiée sont présentées à la section 5.1. Les autres résultats concernant le développement d'une interface entre les résultats d'ACV et les critères de conception ont fait l'objet d'un article scientifique (voir la section 5.2.1).

5.1 Processus d'améliorations et de développement de produits de l'entreprise étudiée

Les réponses au questionnaire ainsi que les informations reçues lors de la formation permettent de mieux comprendre le contexte de développement de produits au sein de l'entreprise étudiée. Cette section présente les principaux renseignements obtenus concernant l'entreprise et son centre de recherche, par rapport au développement et à l'amélioration de ses produits d'hygiène absorbants.

5.1.1 Culture de l'entreprise et culture de développement de produits

L'entreprise cherche à différencier les produits qu'elle offre à ses clients de ceux de ses concurrents et à créer des marques de renommée. Si sa structure générale de gestion est de type décentralisé, il en va autrement en ce qui concerne le développement de produits et les politiques environnementales qui sont des aspects centralisés.

Le centre de recherche compte près d'une centaine d'employés, travaillant à l'amélioration des produits existants et au développement de nouveaux produits. Au niveau de ce centre, l'entreprise cherche à améliorer ses produits d'hygiène absorbants principalement pour réduire leur coût et améliorer leur compétitivité. Faciliter la production, mieux répondre aux besoins des clients et adapter le produit aux changements de matières premières et/ou de fournisseurs sont également d'autres raisons fréquemment citées pour justifier le besoin d'améliorer ce type de produits.

Pour ce faire, le centre de recherche utilise des tests en laboratoire et auprès de consommateurs, des études de marchés, des données financières et de productions. Il s'agit de données disponibles pour tous les employés grâce à des bases de données.

Il existe des plateformes d'innovations pour les différentes gammes de produits ainsi que certains composants clés. Ces plateformes analysent et génèrent des idées d'innovations, dont certaines sont retenues lors du développement de nouveaux produits. Ainsi, en suivant la procédure de développement de produits, un nouveau produit pourra intégrer plusieurs idées développées par les plateformes.

Tableau 5.1 : Implication des différents départements de l'entreprise dans le développement de produits

Département	Très impliqué	Impliqué	Peu impliqué	Pas impliqué
R&D				
Marketing				
Achat				
Production				
Qualité				
Logistique				
Direction				
Environnement				
Santé, sécurité				

L'entreprise utilise des processus systématiques de développement de produits très détaillés. Pour faciliter la réalisation et la gestion des projets de développement, des logiciels ont été implantés pour l'ensemble des gammes de produits de l'entreprise. Ces logiciels regroupent des

informations concernant les risques associés aux projets, les coûts, les normes à respecter⁹, le marketing, les tests de prototypes, etc. Bref, il s'agit d'outils qui suivent les différentes étapes du développement de produits. Présentement, il y a peu d'informations de nature environnementale qui sont consignées dans ces logiciels.

Annuellement, près de quatre-vingts modifications surviennent concernant la gamme de produits d'hygiène absorbants étudiée, la majorité étant des changements relativement aux logiciels et au matériel électronique utilisés (voir Figure 5.1).

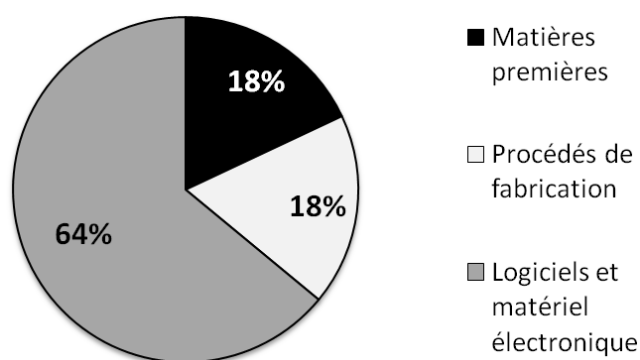


Figure 5.1 : Types de changements survenus en 2007 concernant la gamme de produits étudiée¹⁰.

5.1.2 Intégration des aspects environnementaux

Lors de leur embauche et lors d'activités de formation continue, les employés en développement de produits reçoivent des formations en environnement. Cependant, ces

⁹ Au niveau des États-Unis, le produit est soumis à la réglementation de la Food and Drug Administration (FDA). En effet, il s'agit d'un produit étant en contact dermique avec les utilisatrices durant son utilisation. Le choix des matériaux est donc effectué en conséquence. En plus des normes gouvernementales, les concepteurs de produits doivent respecter les normes supplémentaires imposées par l'entreprise.

¹⁰ Le nombre et le type de changements survenus sont tirés d'un fichier Excel fourni par la responsable environnement du site québécois de l'entreprise. Il est à noter que certains des changements effectués au cours de l'année 2007 n'ont pas été rapportés par les employés de l'entreprise, aussi le nombre réel de changements est probablement légèrement supérieur.

formations portent de manière presque exclusive sur le respect des normes et des consignes environnementales de l'entreprise. D'ailleurs, ce n'est qu'à la fin du processus de conception de produits, qu'une revue environnementale sommaire est effectuée. Néanmoins, plusieurs incitatifs existent pour réduire les impacts environnementaux des produits, tel que présenté au Tableau 5.2.

Tableau 5.2 : Raisons les plus importantes pour réduire les impacts environnementaux des produits

Raisons très importantes	Raisons moyennement importantes	Raisons peu importantes
<ul style="list-style-type: none"> • Faire du marketing environnemental • Respecter les normes environnementales • Suivre l'exemple des concurrents • Réduire les risques environnementaux • Répondre aux demandes de la haute direction (niveau corporatif) • Répondre aux demandes des consommateurs 	<ul style="list-style-type: none"> • Réduire les coûts de gestion des rejets • Réduire les coûts de production • Réduire les coûts de production • Être un leader dans le domaine de l'environnement • Améliorer les indicateurs environnementaux de l'entreprise (bilan environnemental de l'entreprise) • Répondre aux demandes de la direction du département développement de produit (niveau usine) • Répondre aux demandes des actionnaires 	<ul style="list-style-type: none"> • Répondre aux demandes des employés du département de développement de produits • Répondre aux demandes du département environnement

L'entreprise dispose d'un logiciel de conception pour l'environnement. Ce logiciel est toutefois peu utilisé par les concepteurs de produits, sauf à la toute fin du processus de conception par obligation. Une partie du logiciel qui classifie les différents types de matériaux est utilisée par la responsable en environnement du site québécois de l'entreprise.

5.2 Présentation de l'article : Écoconception de produits à usage unique : inclure les fonctions de produits dans l'ACV

L'article *Ecodesign of Single-Use Products: Consideration of Product Functions within LCA* a été soumis à la revue *Journal of Cleaner Production* le 13 novembre 2009. Il propose une approche matricielle qui combine analyse des critères de conception et résultats d'ACV, et ce, afin d'éviter de diminuer l'empreinte écologique en réduisant les fonctionnalités des produits manufacturiers. Plus particulièrement, l'article traite de la problématique des produits à usage unique.

Deux matrices nommées matrices « ACV-fonctionnelle » (« *LCA-functional matrix* ») ont été élaborées. Ces deux matrices possèdent la même structure, mais permettent d'évaluer deux éléments différents. La première matrice vise à évaluer les aspects environnementaux tandis que la seconde prend en compte les composants du produit. Les résultats mettent en évidence les relations entre les résultats quantitatifs de l'ACV et des informations qualitatives sur les spécifications des produits conduisant à une identification plus pertinente des points chauds du produit d'un point de vue environnemental et fonctionnel. L'article utilise les résultats de l'étude de cas sur un produit absorbant à usage unique (sous-objectif 1.1), afin de démontrer l'applicabilité de l'approche comme un outil pour l'écoconception et la communication de résultats d'ACV.

5.2.1 Ecodesign of Single-Use Products: Consideration of Product Functions within LCA

5.2.1.1 Abstract

To avoid having to reduce the functionality of existing consumer goods to minimize the ecological footprint, a matrix-based approach that combines the functional profil with the results of a Screening LCA is proposed. Two matrices were developed; one to assess environmental aspects and a second to evaluate product components. The results highlight the relationships between quantitative LCA results and qualitative information on product specifications leading to a more relevant identification of environmental and functional “hot spots”. A case study of an

absorbent single-use product was used to show the applicability of the approach as a tool for ecodesign.

5.2.1.2 Introduction

In an effort to reduce the environmental footprint of products, product design is evolving to include environmental life cycle aspects, an inclusion that may also be termed ecodesign [1]. One of the guiding principles for ecodesign is to increase the useful life of a product. However, in the case of single-use products such as personal hygiene or sterile medical products, this principle simply does not apply. For sanitary reasons, these products have been purposely designed to be disposable after one single use. Even if effective reusable alternatives are possible and available on the market, they are often still the preferred choice by the consumers. Nevertheless, designers require appropriate approaches to analyze and improve the life cycle of this type of product. This paper proposes a methodology to consider design aspects within Life Cycle Assessment (LCA).

Life Cycle Assessment

LCA is a quantitative methodology that evaluates the potential environmental impacts associated with a product throughout its life cycle, from cradle-to-grave. Impacts can be described as “changes to the environment” caused in part or entirely by environmental activities, namely environmental aspects [2]. Quantifying the impacts of a product by conducting an LCA offers the advantage of using model-based natural science describing cause-effects relationships. LCA is also guided by an established methodological framework regulated by ISO standards.

Until now, the scope of the large majority of LCA studies concerning single-use products was focused on comparing single-use vs. reusable products and not ecodesign purposes. For instance, there is a great number of LCA studies regarding disposable and reusable baby diapers, as compiled by Aumônier and Collins [3]. Only a few LCA case studies pertaining to other single-use products have been published. For the case of medical or hygiene absorbent products, detailed or screening LCA studies have been conducted for hydrophilic catheter [4], surgical drapes [5] and healthcare garments [5].

However, LCA can assist product designers not only in comparing two design options but also to identify which aspects of a product should be improved (i.e. the so-called hot spot

identification). Gasafi and collaborators [6] have proposed to use the identification of hot spots as a first step, before generating and evaluating more environmentally-friendly design options.

Design specifications

Throughout the product design process, designers work to create or improve products that can best meet customer needs. A fundamental aspect of product design is to translate these needs into a product design specification as a set of functionalities and other design requirements, such as efficiency, reliability, comfort, or safety requested.

There are different ways to analyze and classify the design requirements of a product. Lagerstadt and collaborators [7] have proposed an approach based on a generic set of eight functions called a functional profile: 1) Physical Lifetime, 2) Usetime, 3) Reliability, 4) Safety, 5) Human/machine interaction, 6) Economics, 7) Technical flexibility and 8) Environmental demand. In his five-step methodology to determine the functional unit of a consequential LCA, Weidema [8] has proposed a classification of three different product properties: obligatory, positioning and market irrelevant. Obligatory are “must-have” design requirements whereas positioning proprieties are considered as “nice to have” requirements that influence the decision of the consumers to buy this product instead of its competing product. Obligatory and positioning properties are both related to consumer expectations whereas market irrelevant proprieties have no or a low influence on consumer purchasing preference.

LCA practitioners often classify these requirements into main and secondary functions, which are the “performance characteristics” of the product studied according to ISO Standards [9]. In an LCA study, the main functions will be quantified in order to define the functional unit that will be used as a reference unit for the product system. For a comparative LCA study, the omission of secondary functions must be explained and documented. Analyzing the difference in secondary functions can also help in identifying and clarifying the limitations of the comparative study.

Product functions of single-use product

To environmentally improve single-use products, it is crucial to understand the functionalities they provide consumers and the reason they have been designed for a single-use. If they are disposable after a single use, is it because consumers find it convenient or is it that they are able to fulfill a functionality that a reusable product cannot?

For instance, disposable medical products are widely used, because of the low risk of infection and sterilization requirements associated with reusable medical products [4]. In a comparative study, LCA can assess the environmental impacts of sterilizing a medical product, and therefore evaluate the environmental impacts associated with this product function, but the risk of infection cannot be easily included in an LCA and in practice, is never taken into account.

This issue also arises for the secondary functions and market irrelevant properties of disposable absorbent products. For example, the sense of cleanliness and the discretion are important characteristics of an incontinence pad from a market perspective (See Tableau 5.3

Tableau 5.3). These secondary functions, especially qualitative ones, are difficult to include within an LCA, which is a tool based on a quantitative functional unit. However, they are often the priority of continuous improvement programs as they can have a significant influence on the choice of consumers to purchase one product over a competing one.

Tableau 5.3 : Functions of absorbent hygiene products (classified according to the three groups proposed by Weidema [8])

Product	Main / obligatory function	Secondary / Positioning function	Market propriety irrelevant
Incontinence pads Sanitary pads Baby diapers Tampons	Absorb/retain a fluid (with a certain efficiency during a "normal" time of use)	Cost Aesthetics Comfort (well-fitting shape, softness, sense of cleanliness) Odor control Reliability (no leakage, adhesion to the underwear) Discretion Protection during the transport Perception of effectiveness by the user	Economic and environmental cost of disposal (end-of-life)

Consequently, in spite of the difficulty in establishing causality links between secondary functions and the product's life cycle, it is relevant for product designers to use ecodesign approaches that allow them to gain knowledge on the environmental impacts of product functionalities.

Functional characterization methodologies

Several ecodesign approaches have been proposed in order to combine design requirements (or functionalities) and environmental life cycle impacts of a product. One well-known approach is to combine customer expectations (i.e. voice of the customer) and LCA into a Quality Function Deployment (QFD) methodology to perform design options comparisons [10-14]. However, these strictly comparative approaches are not appropriate to first identify product hot spots prior to assessing design scenarios.

Bovea and Wang have proposed a matrix-based approach by simplifying elements of the QFD matrix to show the relationships between customer expectations, LCA results expressed using a single weighted score indicator, life cycle costing, and product components [15]. In a first step, this methodology allows assessing the importance of product components, and then it characterizes the improvement options while focusing on the environmental impacts and the cost of the new environmental option.

Another approach worth mentioning is the Eco-functional matrix developed by Lagerstedt [16]. It helps designers to balance the environmental impacts of a product with functional preferences at the early design stage. The matrix is composed of two elements: the functional profile [7] (i.e. a set of eight functional categories) and the environmental profile (i.e. a set of eight environmental categories). The functional profile allows the designers to account for user and societal preferences, whereas the environmental profile allows characterizing the environmental impacts of the product based on its properties (e.g. size of the product, quantity of material used). Unlike the QFD method, the Eco-functional matrix is not based on the voice of the customer, but on the designers' assessment of the functional and environmental profiles. First, designers must allocate an importance score to each category of the functional and environmental profiles. Then, they must determine if there are relationships between the categories of the environmental and functional profiles.

The matrix-based approaches developed by Bovea and Wang as well as by Lagerstedt allow identifying the product's key functional and environmental characteristics. Lagerstedt's approach has the advantage of being conducted by designers, with results intended for designers. Compared to consumers, designers have a deeper understanding of their products, its technical possibilities and the related production processes. In addition, they can be aware of product functionalities that consumers want without being conscious of it, because of their experience in digesting and interpreting user's needs from market surveys and consumer testing.

It is noteworthy that this approach was only intended for early design stages, when LCA is not the most appropriate method partly because it is a data and time-intensive step. However, for improving existing single-use products, this approach could be expanded in a similar way to the approach proposed by Bovea and Wang to include LCA results. This approach should include not only a single environmental score, but a set of environmental impacts to avoid the risk of generating design options causing impact shifting .

5.2.1.3 Objectives

This paper proposes a matrix-based ecodesign tool to support the ecodesign process of existing single-use products by considering a comprehensive environmental profile. More specifically, the tool aims at making an explicit link between LCA results and the functionalities of a product. Two matrixes are proposed for the identification of key environmental aspects (first matrix) and key components (second matrix) in terms of functionality and life cycle environmental contributions to the product. The first matrix aims to present LCA results in a life cycle thinking perspective, whereas the goal of the second matrix is to present LCA results in a perspective more appealing to designers.

5.2.1.4 Methodology

The approach we propose is illustrated by an LCA conducted in collaboration with a company R&D center specialized in improving absorbent hygiene products [17]. The steps to apply the approach and the required data are illustrated in Figure 5.2. Before performing an LCA, the product life cycle is described in all its main components by sketching a flow chart (Step 1). Then, the screening LCA is performed (Step 2). A first matrix is elaborated by combining a functional profile with an environmental profile composed of LCA results to identify the

relationships with the product environmental aspects (Step 3). In the second matrix proposed, the environmental aspects are replaced by product components (Step 4). Finally, this second matrix is used to analyze the environmental and functional contribution of the different components, which lead to identify the components that should be prioritized when developing environmentally preferable design options.

For this paper, the term product component includes the packaging and refers to the product parts which are supplied to the production plant to be transformed and assembled. Usually, when a designer needs to improve a product characteristic, he or she will work on one or several components of the product and generate new design options. For this reason, the proposed approach is based on components, which have direct relationships with the functionalities and the design options of the considered product. Another advantage of this component-based approach is that it can be referred to as elements that bring functionalities to the product, but that is responsible for defined environmental impacts over the whole life cycle; the sum of the impacts of each component being the result of the product LCA.

Data requirements are shown in Figure 5.2 due to the time-consuming aspects of gathering the required data when applying this methodology. Data regarding product functions is normally part of the designer's information arsenal, even at the early designs stages, whereas the product life cycle data requires collaborative efforts with LCA practitioners.

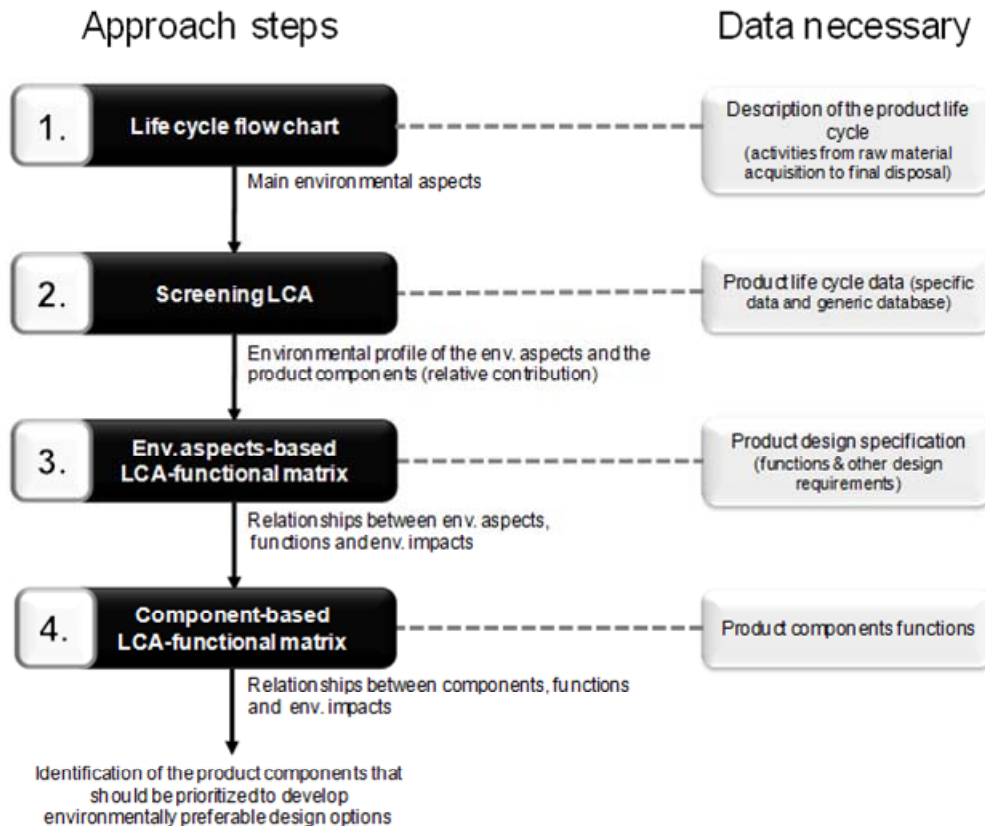


Figure 5.2 : Methodological approach proposed.

Life cycle flow chart

The first step of the methodology was to sketch a diagram of the product life cycle which provides an overview of the main activities of each life cycle stage (i.e. supplying, production, distribution, use, and end-of-life). Following ISO14044 standards [9], these environmental activities can be identified as the product environmental aspects. How each aspect relates to particular components of the product was clearly identified in the flow chart.

The life cycle flow chart allows designers to visualize the environmental aspects throughout the product lifetime causing resource consumption and emissions of pollutants. Designers are not always conscious of all these aspects since their decisions usually only directly or indirectly influence certain lifecycle processes. For example, they may change the material composition of a product, which will affect the supplying, but they have no influence on the electrical grid-mix used for the production.

Screening LCA

The methodology is illustrated based on a case study of a single-use absorbent product. An attributional LCA in accordance with ISO14040 and ISO14044 standards [9] was performed. Primary data (e.g. mass of components, inputs and outputs at the production & consumptions, transport mode and distances) were obtained from the R&D center. The LCI was modeled with the generic ecoinvent 2.0 database. The IMPACT2002+ impact assessment methodology [18] was selected to assess the environmental profile based on four damage indicators: human health, ecosystem quality, climate change and non-renewable resources consumption. SimaPro 7.1.8 software [19] was used to support the calculations. This LCA was performed as a collaborative effort between designers at the R&D center and CIRAIG analysts with the goal of identifying the product hot spots for ecodesign purposes.

For the purpose of generating the LCA-functional matrices, the LCA results need to be disaggregated according to environmental aspects (for the first matrix) and according to components (for the second matrix). The LCA disaggregated results per component cover the whole life cycle from raw material extraction to final disposal. Processes of the product systems that were not easily divisible according to component, such as the distribution processes, were allocated following the relative mass of components.

Environmental aspects-based LCA-functional matrix

The elaboration of the first matrix was conducted, using the concept developed by Lagerstedt and collaborators at the Department of Machine Design of the Royal Institute of technology (KHT) [16], but modified to integrate LCA results and to show only the relationships between the functional profile and the environmental profile. A functional profile composed by functions and design requirements specific to the product studied was developed. A new environmental profile was generated using the results of the LCA (Step 2) expressed as the relative contribution of the environmental aspects determined at Step 1. With the new profiles, the Eco-functional matrix (Table 2) was filled by 1) qualitatively assessing the importance of each of the functions; 2) indicating if there is a correlation between each environmental aspect and each function.

The importance score for the functional aspects were attributed using values between 0 and 10. A function with little or no effect on the sale and use of the product ought to be assigned a low value (0, 1 or 2). In contrast, a function having a major or dominant effect should receive a

score of nearly 10 and a function with significant effect should be appointed a value around 5. The existence of relationships between each function and each environmental aspects of the matrix was determined by answering the following question: “Does the function i affect the environmental aspect j ?” A link between a function and an environmental aspect was marked by a “+” and a strong link by a “++” mark. In the case where the function and the environmental impacts had a high contribution (functional score superior to 5 and impact contribution of >10% to a damage category), the “+” and “++” marks were circled to show the importance of this relationship from an environmental and functional point of view.

The resulting matrix (Tableau 5.4) can be highlighted in two areas: the first area shows the relationships between the environmental aspects and the functions of the product; the second area shows the contribution of the aspects to the environmental impacts. The matrix also includes a score column to assess the importance of each element of the functional profile.

Tableau 5.4 : Environmental aspect-based LCA-functional matrix

			Environmental aspects												
<i>Product Name</i>			Env. aspect A	Env. aspect B	Env. aspect C	Env. aspect D	Env. aspect E	Env. aspect F	Env. aspect G	Env. aspect H	Env. aspect I	Env. aspect J	Env. aspect K	Env. aspect L	
<i>Main function</i>															
			Score												
Functional profile	Function I			Area 1: Relationship between the environmental aspects and the functions											
	Function II														
	Function III														
	Function IV														
	Function V														
	Function VI														
Env. profile (IMPACT 2002+)	Human Health			Area 2: Relative contribution of the environmental aspects to the environmental impacts (LCA results)											
	Ecosystem Quality														
	Climate Change														
	Resources														

As pointed out in Figure 1, the data required to fill out this first matrix is based on designer knowledge as it pertains to functions and design requirements of the product and a basic comprehension of the product life cycle. However, the resulting matrix allows for a first discussion between environmental experts and designers about the relationships and the possible trade-offs between the functional and the environmental profile of the product within a life cycle perspective.

Component-based LCA-functional matrix

The second matrix was obtained by combining the environmental contribution of components (LCA results from Step 2) with the functional profile developed (Step 3). Similar to the environmental aspect-based LCA-functional matrix, this matrix (Tableau 5.5) is defined by two areas.

The first area was filled out by answering to the following questions: “Is this component crucial to the product’s function? If this component was not part of the product, could the product still provide this function?” These questions helped the designers to determine the importance of

the relationships between each component and each function. The second area was filled out with the LCA results according to component as described in the section on “Screening LCA”.

Tableau 5.5 : Component-based LCA-Functional matrix

			Components of the product											
<i>Product Name</i>			Component A	Component B	Component C	Component D	Component E	Component F	Component G	Component H	Component I	Component J	Component K	Component L
<i>Main function</i>														
			Score											
Functional profile	Function I		Area 1: Relationship between the components and the functions											
	Function II													
	Function III													
	Function IV													
	Function V													
	Function VI													
Env. profile (IMPACT 2002+)	Human Health		Area 2: Relative contribution of the components to the environmental impacts (LCA results)											
	Ecosystem Quality													
	Climate Change													
	Resources													

The resulting matrix can be beneficial to product designers by assessing which components are the most important contributors to the potential environmental life cycle impacts and functionalities of the product. An example of the usefulness of this assessment is the identification of components that are less valuable for the user from a functional perspective. Components can also be characterized by the fact that they cause more environmental impacts than they generate functionality to the product. Another type of component that can be identified with this matrix is the key components which are the biggest contributors in terms of environmental impacts and also functionalities.

5.2.1.5 Results

The results are based on a single-use product case study: a hygiene absorbent product.

Life Cycle Flow Chart

The main activities of the product life cycle are illustrated in the flow chart (Figure 5.3) where the black blocks represent aspects easily divisible according to components and grey, indivisible environmental aspects. The hygiene absorbent product modeled consists of twelve different components, including primary, secondary and tertiary packaging. Each component was identified by a letter for confidentiality reasons. The components are first produced and then transported from suppliers to the production plant where they are processed and assembled in the production line. During the production process, when some components are cut into anatomic shapes, trimming waste is generated. Along with other types of solid waste, they are transported and disposed in a landfill. The finished products are shipped out of the plant by truck and are distributed at a continental scale from distribution centers to retailers. The hygiene products are then transported by consumers and used. At the end of its life, the disposable products are sent to a municipal landfill, incinerator or a recycling facility.

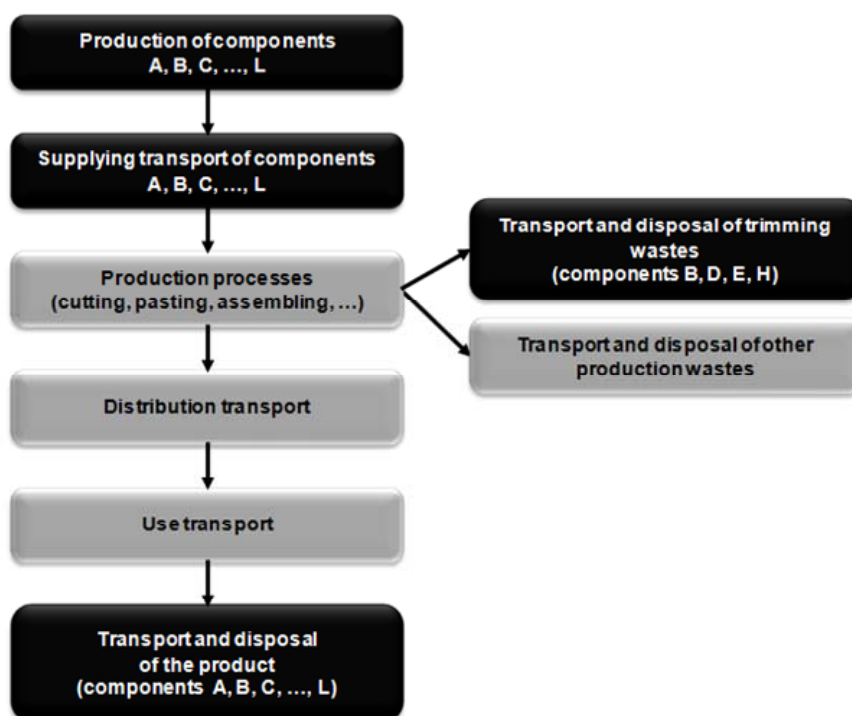


Figure 5.3 : Modeled hygiene absorbent product life cycle flow chart.

Screening LCA

The first step was to calculate environmental hot spots using the relative contribution of each life cycle stage and each product system process to damage categories. For the case study, the results presented in Tableau 5.6 show that the contribution of the use stage is minor, as can be expected for single-use products. The contribution of the production stage is also less significant when compared to other life cycle stages. Supply is by far the most impacting life cycle stage in each of the damage categories, followed by distribution and the end-of-life stage.

Tableau 5.6 : Relative contribution of life cycle stages (IMPACT 2002+, damage)

(modified from [17])

	Supply	Production	Distribution	Use	End-of-Life
Human Health (DALY)	80%	<1%	12%	2%	5%
Ecosystem Quality (PDF*m2*yr)	94%	<1%	2%	<1%	3%
Climate Change (kg CO2)	76%	1%	10%	3%	10%
Resources (MJ primary)	88%	1%	7%	2%	2%

For the purpose of the LCA-functional matrices, the results were reorganized to show the contribution of each environmental aspect and each component to the environmental impacts. Many aspects of the supply and the end-of-life life cycle stages could be easily disaggregated, and in turn, re-aggregated under a component life cycle. The production, distribution, use and production waste disposal unit processes were allocated according to the weight contribution of each component. This seemed appropriate for distribution and use processes, which mainly include transports. In the case of the production stage, which is responsible for less than 1% of each damage category, the environmental impacts are caused for the most part by the electric consumption of the production line.

Environmental aspects-based LCA-functional matrix

The LCA-functional matrix according to environmental aspects presented in Table 4 was obtained after developing more specific profiles for the absorbent hygiene products. The first matrix obtained illustrates the importance of functions such as fluid absorption, product shape-fitting, reliability (no leakage of fluid), softness and product cost. It also shows the relationships between these key functions and the environmental impacts as well as environmental aspects, which mainly include component supply and production processes.

Tableau 5.7 : Environmental aspect-based LCA-functional matrix applied to the case of a single-use absorbent product

		Environmental aspects																				
		Production of component A	Production of component B	Production of component C	Production of component D	Production of component E	Production of component F	Production of component G	Production of component H	Production of component I	Production of component J	Production of component K	Production of component L	Supplying transport	Production processes	Distribution transport	Use transport	Disposal of the product*	Disposal of trimming wastes*	Disposal of other production wastes*		
Product: Single-use hygiene absorbent product Main function: Absorb/retain fluids a quantity of fluid for a given period of time																						
		Score																				
Functional profile	Retain/absorb fluids	10	++	++		+	+															
	Product shape (confort)	9	+	++		++	++		+								++				++	
	Protection during the transport	4												++	+	+	+					
	Reliability	8	++	++		++	+		+								+				+	
	Aesthetics	6	++	++	+			++									+					
	Discretion	5	+	+										+	++	+						
	Odor control	7	+												++							
	Time of use	4	+	+	+	+	++		+	+	++											
	Softness	7					++															
	Adhesion to the underwear	8						+		++							+					
	Perception of effectiveness	3			++		+										+					
	Cost of the product	6	++	+	+	+	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	++	+			+	+
	Maintain the product architecture	3								++							++					
	Env. profile (IMPACT 2002+)	Human Health		10%	18%	1%	6%	17%	6%	3%	2%	<1%	4%	1%	4%	9%	<1%	13%	2%	5%	1%	<1%
Ecosystem Quality			34%	31%	4%	1%	1%	13%	<1%	<1%	<1%	<1%	<1%	8%	2%	<1%	2%	<1%	3%	<1%	<1%	
Climate Change			12%	14%	<1%	8%	13%	6%	4%	2%	<1%	4%	1%	6%	6%	1%	10%	3%	9%	1%	<1%	
Resources			11%	15%	<1%	14%	19%	5%	5%	3%	<1%	7%	2%	4%	4%	1%	7%	2%	2%	<1%	<1%	

Legend:

++	Strong link between a component and a function
+	Link between a component and a function
	No significative link
	High environmental contribution ($\geq 10\%$)

However, the matrix identified a few crucial environmental aspects, which are not part of the supply life cycle stage, such as distribution. The matrix also shows an existing link between the production process as well as the disposal of trimming waste with the product shape (regarding user comfort) and reliability. These relationships can be explained by the fact that to increase comfort and reliability, the product requires a certain curved shape to better fit the body. Therefore, some components must be cut during the production process and this generates trimming waste that must be disposed of.

Component-based LCA-functional matrix

The second LCA-functional matrix was applied to identify the components that should be prioritized by designers to generate greener design options.

The matrix shows that components F, G and L should be prioritized for product improvement because their relative environmental contributions are important when compared with their functionality contribution. This finding can lead designers to rethink the way the product provides the functionalities linked to these two components. Two such examples include optimization of the current components in order to reduce their mass or changing the materials used. Another option would be to modify the other components so as to highlight functionalities associated with components F, G and L.

This matrix also reveals that components A, B, D and E, which are main components in terms of mass for the single-use product studied, are responsible for the highest environmental contributions to the Human Health, Ecosystem Quality and Resources categories. More importantly, the matrix allows putting into perspective these main environmental contributions by showing that they are also the essential components from the functional point of view. For designers, this means that modifying these components can lead to a significant reduction of the product footprint, but that particular care must be taken to ensure that the new product design generated will still meet the customer's functional preferences. Therefore, the matrix can be used by designers to estimate and bring awareness to the environmental influence of their decision when they are working on improving one of the most important functions or when modifying a key component.

Tableau 5.8 : Component-based LCA-functional matrix applied to the case of a single-use absorbent product

Product: <i>Single-use hygiene absorbent product</i> Main function: <i>Absorb/retain fluids a quantity of fluid for a given period of time</i>		Components of the product												
		Component A	Component B	Component C	Component D	Component E	Component F	Component G	Component H	Component I	Component J	Component K	Component L	
Functional profile	Score													
	Retain/absorb fluids	10	++	++		+	+							
	Product shape (confort)	9	+	++		++	++			+				
	Protection during the transport	4									++	+	+	
	Reliability	8	++	++		++	+		+					
	Aesthetics	6		+	++			++						
	Discretion	5	+	+							+	++	+	
	Odor control	7	+								++			
	Time of use	4	+	+	+	+	++		+	+	++			
	Softness	7					++							
	Adhesion to the underwear	8						+		++				
	Perception of effectiveness	3			++		+							
	Cost of the product	6	++	+	+	+	++	+	+	+	+	+	+	+
	Maintain the product architecture	3							++					
Env. profile (IMPACT 2002+)	Human Health		19%	23%	2%	9%	22%	8%	4%	2%	<1%	5%	1%	5%
	Ecosystem Quality		37%	32%	4%	2%	3%	13%	1%	1%	<1%	1%	<1%	6%
	Climate Change		20%	18%	1%	14%	19%	7%	6%	4%	<1%	5%	1%	5%
	Resources		16%	18%	1%	16%	21%	6%	5%	3%	<1%	8%	1%	5%

Legend:

++	Strong link between a component and a function
+	Link between a component and a function
	No significative link
	High environmental contribution ($\geq 10\%$)

5.2.1.6 Discussion

The approach presented allows designers and LCA experts to address issues related to the product life cycle system and the product functionalities. In the case of single-use products where design processes are often driven by the expectations of consumers, product functionalities and their importance are part of the designer's knowledge and experience. Nevertheless, the

assessment of the functional profile could be improved by conducting consumer surveys specifically designed for developing the matrix. The first matrix presented, which is based on environmental aspects, has the advantage of presenting results from a life cycle perspective. The second matrix allows presenting LCA results in a more meaningful way for designers despite the fact that results were aggregated over the entire life cycle.

Both matrices benefit from LCA's rigorous and proven methodology to quantify environmental impacts. Concurrently, they require investment in both resources and expertise from an LCA practitioner. It should be noted however, that some parts of the LCA product system, and hence, ecodesign concepts generated with LCA, go beyond designer influence [20]. This problem also appears when working with the proposed matrix, although it is less problematic when results are presented in terms of components, over which designers have a direct influence. Nevertheless, these elements, which cannot be directly influenced by product designers, deserve to be highlighted if the LCA study identifies them as environmental hot spots. Communicating LCA results must therefore be made in a way that informs stakeholders of the important environmental aspects of the product life cycle they can control.

The proposed methodology could be applied and adapted to other types of single-use products provided that they are composed by different components, ingredients, raw materials or lifecycle processes which are in direct relationship with many product functions. Furthermore, when performing the LCA, other impact assessment methodologies with different impact levels (midpoint or endpoint) can be used instead of damage calculated with IMPACT2002+.

Among all the ecodesign approaches available to include environmental concerns into product design, some lead to simple modifications of the original product, while others lead to more radical changes. Hence, Stevels [20] has described four different levels of sophistication for which ecodesign can be performed: 1) environmental improvement of current product 2) radical design change based on existing concept 3) green function innovation and 4) green system innovation. The higher the level of ecodesign, the higher the level of innovation eco-efficiency. Similarly, time and resources requirements, risks incurred and stakeholders' involvement increase with the level of ecodesign.

One drawback of the proposed approach is the fact that it is less suitable for higher ecodesign levels (e.g.: levels 3 and 4). This can be explained by the fact that the starting point of the

proposed approach is a design per component, which does not promote radical changes since the product alternative generated tends to keep the same product architecture with only modifications to selected components. Higher levels might involve more risks and efforts for the producer and adjustment for the consumers who must accept some changes regarding their consumption behavior; however they might allow major impact reductions.

In the case of a totally new design where the architecture of a product is completely different and its functionalities have changed, the matrix is still useful for designers, but mostly to ensure that the new designed product has an impact on the functional and environmental hot spots. This is why the identification of the ecodesign level is an important first step to determine if this approach is appropriate.

5.2.1.7 Conclusions

The proposed approach by environmental aspects and by components was developed to introduce a life cycle perspective into a continuous development process. The resulting LCA-functional matrices highlight the relationships between quantitative LCA results and qualitative information on product specifications, a clear benefit for product designers. It avoids the need to quantify the functional characteristics of a product, which are intrinsically qualitative. From a functional point of view, the resulting matrix allows a more comprehensive and environmentally relevant identification of product hot spots, which help the designer to generate new improvement options.

There is a reason why single-use products are very popular among consumers; they are often perceived as more convenient in terms of functionality. In the case of personal hygiene products, even if a greener design product is able to absorb fluids, it can be perceived by consumers as having different characteristics. This is why there is a need for this type of approach: to help the development of ecodesign products and to ensure that they will meet design requirements. These products must generate less environmental damage, but also have better or similar functional profile (cost, aesthetic, performance, etc.) than their competing products and therefore be more easily accepted by consumers.

5.2.1.8 Acknowledgment

The authors wish to thank the partners of the International Chair in Life Cycle Assessment (CIRAIG): Arcelor Mittal, Bell Canada, Cascades, Eco-Entreprises-Québec, Recyc-Québec, Électricité de France, Gaz de France, Hydro-Québec, Johnson & Johnson, Le Mouvement des caisses Desjardins, Rio Tinto Alcan, Rona, SAQ, Total and Veolia Environnement.

5.2.1.9 Reference

- [1] ISO/TR 14062, Environmental management — Integrating environmental aspects into product design and development (2002).
- [2] ISO 14001, Environmental management systems -- Requirements with guidance for use (2004).
- [3] S. Aumônier and M. Collins, Life Cycle Assessment of Disposable and Reusable Nappies in the UK, Environment Agency (2005).
- [4] H. Stripple, R. Westman and D. Holm, Development and environmental improvements of plastics for hydrophilic catheters in medical care: an environmental evaluation, *Journal of Cleaner Production* 16 (2008), pp. 1764-1776.
- [5] C.S. Ponder and M. Overcash, Life Cycle Assessment of Healthcare Garments, Proceedings of InLCA/LCM 2007, Portland, Oregon, USA (2007).
- [6] E. Gasafi, L. Meyer and L. Schebek, Using Life-Cycle Assessment in Process Design: Supercritical Water Gasification of Organic Feedstocks, *Journal of Industrial Ecology* 7 (2003), pp. 75-91.
- [7] J. Lagerstedt, C. Luttrupp and L.-G. Lindfors, Functional Priorities in LCA and Design for Environment, *International Journal of Life Cycle Assessment* 8 (2003), pp. 160-166.
- [8] B. Weidema, Market information in life cycle assessment, Copenhagen, Danish Environmental Protection Agency (2003).
- [9] ISO 14044, Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines (2006).

- [10] Y. Zhang, Green QFD-II: a life cycle approach for environmentally conscious manufacturing by integrating LCA and LCC into QFD matrices, *International Journal of Production Research* 37 (1999), pp. 1075-1091.
- [11] E. Stiassnie and M. Shpitalni, Incorporating Lifecycle Considerations in Axiomatic Design, *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 56 (2007), pp. 1-4.
- [12] I.B. Utne, Improving the environmental performance of the fishing fleet by use of Quality Function Deployment (QFD), *Journal of Cleaner Production* 17 (2009), pp. 724-731.
- [13] X. Zhou and J.M. Schoenung, Development of a hybrid environmental impact assessment model: A case study on computer displays, *Proceedings of IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*, Scottsdale (Arizona, USA) (2004).
- [14] H. Kobayashi and K. Haruki, A product life cycle planning method for environmentally conscious design, *Seimitsu Kogaku Kaishi/Journal of the Japan Society for Precision Engineering* 69 (2003), pp. 193-199.
- [15] M.D. Bovea and B. Wang, Redesign methodology for developing environmentally conscious products, *International Journal of Production Research* 45 (2007), pp. 4057-4072.
- [16] J. Lagerstedt, Functional and environmental factors in early phases of product development - Eco functional matrix, [Doctoral thesis], Stockholm, KTH Royal Institute of technology (2003).
- [17] J.-A. Chayer and M. Fugère, Life cycle assessment of an hygiene absorbent product, Montréal, CIRAIG, (2009). Unpublished.
- [18] O. Jolliet, M. Margni, R. Charles, S. Humbert, J. Payet, G. Rebitzer, et al., IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology, *International Journal of Life Cycle Assessment* 8 (2003), pp. 324-330.
- [19] PRé Consultants, SimaPro 7.1.8 (2007).
- [20] A. Stevels, Integration of EcoDesign into business, a new challenge, *Proceedings of EcoDesign '99: First International Symposium On Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*, Tokyo, Japan (1999).

CHAPITRE 6 DISCUSSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVE

Ce chapitre vise à mettre en perspective les différents résultats présentés aux chapitres 4 et 5. D'abord, une discussion sur les approches de simplification est présentée. Par la suite, l'approche matricielle proposée est analysée par rapport à sa pertinence et surtout par rapport aux possibilités qu'elle offre. Il est à noter qu'une partie de la discussion sur l'approche matricielle est intégrée à l'article (voir section 5.2.1.6).

6.1 Objectif 1 : Comparaison des ACV simplifiées

6.1.1 ATEP

Les résultats présentés au Chapitre 4 soulignent plusieurs aspects positifs de l'approche par typologie de produits (méthode ATEP). Par rapport aux autres méthodologies testées, cette approche est très intéressante puisqu'elle nécessite peu de données, d'efforts, de formation et d'expérience en évaluation d'impacts. Durant son utilisation, le seul point faible qui a été relevé est l'utilisation de certains termes qui ne font pas partie du langage courant des concepteurs de produits. Fait intéressant, le caractère « à usage unique » du produit fait partie des éléments pris en compte par l'arbre de décisions de l'outil ATEP.

La qualité de l'évaluation réalisée n'est pas suffisante par rapport aux objectifs poursuivis puisqu'elle ne permet pas de distinguer les aspects environnementaux les plus critiques du cycle de vie du produit étudié. De plus, il y a uniquement sept aspects environnementaux compris dans la méthode, ce qui limite grandement les informations pertinentes pouvant être fournies aux concepteurs de produits. L'outil ATEP ne permet donc pas d'évaluer de manière plus détaillée le système de produit étudié, comme les différentes activités d'approvisionnement. Or, les processus en amont de la production constituent de grands contributeurs aux impacts environnementaux et sont reliées aux possibilités d'améliorations les plus intéressantes, comme le démontrent les scénarios de conception testés dans le cadre de ce projet (voir les résultats à la section 4.1.2). Sans un questionnaire spécifique au produit, il est difficile de comparer les différentes activités faisant partie de son cycle de vie. Toutefois, l'avantage de ce type d'approche est le fait qu'il n'y a pas de jugement ou de choix méthodologiques à poser, donc la

variabilité des résultats pour un même produit est pratiquement nulle lorsque celui qui réalise l'évaluation a une connaissance adéquate du cycle de vie du produit.

La revue de littérature a montré qu'actuellement il est difficile d'établir des groupes d'ACV. Cependant, au fur et à mesure que le nombre d'ACV publiées concernant les produits manufacturiers (dont les produits à usage unique) augmentera, les méthodes de typologies environnementales pourront être améliorées. Cela a déjà été réalisé à l'échelle des ingrédients pharmaceutiques et pourrait être reproduit à l'échelle des produits de consommation. D'ailleurs la classification pourrait être effectuée non seulement pour les produits, mais aussi pour leurs composants. Le raffinement des algorithmes de décisions pourrait donc faire de la typologie environnementale l'approche la plus pertinente pour l'amélioration à condition d'améliorer la qualité de l'évaluation obtenue, puisqu'il s'agit de l'approche la plus intéressante du point de vue de la facilité d'utilisation.

6.1.2 ERPA

La méthode ERPA a permis d'évaluer l'importance des étapes du cycle de vie pour cinq types de stressors environnementaux. Tout comme pour l'outil ATEP, une grille de score générique a été utilisée afin d'évaluer le produit d'hygiène étudié. Les résultats obtenus soulignent l'importance des étapes de distribution et d'approvisionnement. De manière similaire, les résultats de l'ACV et de la méthode ERPA ont montré que la contribution de l'usage est négligeable. Cette méthode a toutefois surévalué l'importance de la distribution par rapport à l'approvisionnement. Cela peut être expliqué par le fait que le produit étudié est un produit commun, peu dispendieux, qui est en contact avec le corps de l'utilisatrice durant son usage. Il ne contient donc pas de matières rares, toxiques ou radioactives, ce qui sont des critères déterminants concernant les scores associés à l'approvisionnement.

Il est à noter que certains critères de la grille d'évaluation ne sont pas appropriés pour le cas d'un produit d'hygiène absorbant à usage unique et ce particulièrement en ce qui concerne la fin de vie du produit. Par exemple, l'un des critères porte sur le fait que le produit est facilement démontable ou encore qu'il est composé de peu de matériaux différents. Or, cela a peu d'intérêt dans le cas du produit étudié puisqu'il est souillé après son usage et qu'il n'est donc pas recyclable ou réutilisable (sauf en ce qui concerne les emballages).

Malgré le fait qu'elle soit une méthode simplifiée, exigeant moins de données et de formation qu'une ACV, la méthode ERPA nécessite une expérience suffisante en évaluation des impacts pour comprendre les critères d'évaluations et juger de leur degré de concordance avec le produit étudié. Cela peut représenter un défi pour les concepteurs de produits, s'ils n'ont pas les connaissances requises.

6.1.3 MECO

La pratique a montré que la méthode MECO est plus difficile à utiliser que les autres approches pour déterminer l'importance d'une étape du cycle de vie par rapport à une autre. En effet, le tableau MECO utilise quatre catégories différentes dont certaines sont surtout associées à l'une des étapes du cycle de vie. Il est à noter que la catégorie « produits chimiques », est basée sur l'évaluation des risques toxicologiques que présentent les substances composant le produit (p. ex. substance corrosive, substance cancérigène, etc.). Or le cycle de vie du produit étudié contient peu de substances présentant des risques, puisqu'il est mis en contact direct avec la peau des usagers. Pour le produit étudié, c'est donc les catégories matériaux et énergies qui ont permis de comparer les impacts associés à chacune des étapes du cycle de vie.

Les résultats de la comparaison avec les autres méthodes ont montré que cette méthode nécessite presque autant de données qu'une ACV de type *screening*. Or, l'ACV a l'avantage d'évaluer différentes catégories d'impacts en se basant sur la modélisation des chaînes de cause à effet selon un cadre méthodologique défini par les normes ISO. Dans le cas où les praticiens ont la formation, les bases de données et les logiciels requis pour réaliser une ACV, le tableau MECO présente donc peu d'avantages par rapport à l'ACV.

6.1.4 Analyse de cycle de vie

Réaliser une étude ACV requiert une expérience et un apprentissage important pour un concepteur de produits. De plus, cela demande du temps et des efforts considérables. Cependant, il faut noter que les bases de données disponibles facilitent grandement la collecte de données.

Tel qu'attendu, l'ACV est la méthode qui est la plus difficile à réaliser par rapport aux trois autres méthodes étudiées. Par contre, les efforts supplémentaires pour la réalisation d'une ACV permettent d'obtenir une qualité d'évaluation largement supérieure aux trois autres méthodes. Dans le contexte de l'écoconception de produits, l'ACV de type *screening* doit donc être

favorisée puisqu'elle permet non seulement d'obtenir des résultats plus fiables, mais aussi des résultats plus utiles aux concepteurs. En effet, il s'agit de la seule méthode testée qui permet d'évaluer les impacts associés à chacun des composants du produit. Or les résultats du deuxième objectif de ce projet de recherche ont démontré le bien-fondé d'utiliser une approche par composant dans le contexte de l'amélioration environnementale d'un produit existant.

6.2 Objectif 2 : Développement d'une interface entre les résultats d'ACV et les critères de conception

6.2.1 Niveau d'écoconception

Niveau d'écoconception décrit par Stevel

Tel que discuté dans l'article, une approche d'écoconception basée sur les composants de produits est moins appropriée pour provoquer des changements radicaux, ce qui correspond à un niveau d'écoconception de type 3 ou 4 selon l'échelle décrite par Stevel (1999). De plus, une situation où le niveau d'écoconception est plus élevé implique des changements non seulement pour l'entreprise qui développe et fabrique les produits, mais aussi pour les consommateurs. Pour les usagers de nouveaux produits radicalement différents, cela peut signifier une modification de leurs habitudes. En effet, les nouveaux produits peuvent leur apporter des fonctionnalités différentes ou encore moins de fonctionnalités dites secondaires au profit d'une diminution de leurs impacts.

Typologie d'écoconception d'Albrassart et Aggeri

Selon la typologie élaborée par Albrassart et Aggeri (2007), soit le deuxième type de typologie d'écoconception présenté lors de la revue de la littérature (voir section 1.1.2), l'approche proposée et son application à l'étude de cas appartiennent au cas de l'« écoconception réglée en cycle de vie ». En effet, il s'agit d'une situation où plusieurs catégories environnementales sont évaluées et où des critères de conception précis sont pris en compte. Albrassart et Aggeri mentionnent également que ce type de situation est caractérisée par l'existence de tâches bien définies et d'un design du produit qui est dominant dans le marché (« *dominant design* ») (Clayton et al., 1998). Or, c'est effectivement le cas pour le produit à usage unique étudié, puisqu'une architecture du produit commune (ou très semblable) est considérée

comme un standard par tous les fabricants de produits d'hygiène absorbants. La description du produit et de ses principaux composants dans le rapport de développement durable de l'association industrielle EDANA (2007) en est une démonstration puisque cela correspond bien aux caractéristiques du produit étudié.

Conséquemment, les avantages ainsi que les limites décrites par Albrassart et Aggeri concernant cette situation d'écoconception réglée en cycle de vie sont également applicables à l'approche proposée. Cette approche basée sur l'utilisation de l'ACV et de critères de conception formels est appropriée au cas d'un *dominant design*. Elle permet de réduire et de contrôler les coûts liés au respect des normes environnementales et peut améliorer l'image de marque des produits existants, notamment grâce à la possibilité d'obtention d'écolabel. Par contre, elle est peu adaptée « [...] à la conception de solutions plus innovantes qui peuvent être nécessaires pour sortir d'une trajectoire technologique ayant épuisé ses effets » (Abrassart & Aggeri, 2007). En effet, ce type d'approche n'implique pas une remise en question systématique des fonctions, des matériaux, de l'architecture et des modes de fonctionnement du produit.

Dans le cas présent, l'application d'une approche de type « écoconception réglée en cycle de vie » permet de réduire de 20% à 44% les impacts associés au cycle de vie du produit, comme le montre les résultats du scénario optimisé du point de vue environnemental par rapport au produit actuel. Pour aller plus loin et réduire radicalement les impacts environnementaux associés au produit, il faudrait donc adopter une approche innovante, selon l'expérience de MM. Abrassart et Aggeri. Cependant, cela nécessiterait une intégration plus forte et plus systématique des aspects environnementaux, par rapport au niveau actuel (voir les résultats du questionnaire à la section 5.1.2).

6.2.2 Adaptabilité des matrices ACV-fonctionnelle

Type de produits

Tel que mentionné dans l'article, les matrices proposées peuvent et devraient être adaptées au contexte dans lequel elles sont utilisées. Un produit qui n'est pas le résultat de l'assemblage de composants pourrait être analysé à l'aide d'une matrice selon les matériaux ou les ingrédients dont il est constitué. Pour le cas d'une automobile, qui est un produit plus complexe, une matrice pourrait analyser globalement l'automobile en fonction de ses principaux

groupes de composants (moteur, carrosserie, système de direction, etc.). À cela s'ajouteraient des matrices créées pour analyser spécifiquement chacun de ces groupes selon leurs composants.

Ajout de critères ou d'information

Dans le cadre de l'étude de cas, lors de la présentation des résultats d'ACV à l'entreprise, l'une des demandes des participants a été de mettre en relation la masse des composants avec leurs impacts environnementaux. Il s'agit d'une information supplémentaire qui pourrait être ajoutée aux matrices ACV-fonctionnelles. En outre, les matrices pourraient communiquer des éléments supplémentaires provenant de l'ACV, tels que la sensibilité des éléments analysés (aspects environnementaux ou composants). De même, les matrices pourraient intégrer les contraintes que les concepteurs se doivent de respecter comme les contraintes techniques ou les règlements auxquels le produit est soumis. Dans un autre cas où la démarche visée est d'intégrer non seulement des aspects environnementaux, mais aussi des aspects économiques et sociaux, afin d'avoir un processus de « conception durable », la matrice pourrait être modifiée afin d'intégrer ce type de critères.

De plus, la matrice pourrait être utilisée pour comparer différentes options. C'est ce que Bovea et Wang ont réalisé (voir section 1.5.5) à l'aide de leur matrice d'«Ecoredesign» qui comparent les scores environnementaux et les coûts associés à différentes options. Par contre, il serait intéressant que cette comparaison soit effectuée en regard des impacts environnementaux et des critères de conception de manière à vérifier l'effet de l'optimisation environnementale du produit sur son profil fonctionnel, ce qui n'est pas le cas avec la matrice d'«Ecoredesign».

Par contre, seules les informations pertinentes pour les concepteurs doivent être ajoutées aux matrices. En effet, pour être des outils de communication efficace, les matrices se doivent d'être des compromis entre la quantité d'informations qu'elles contiennent et leur grandeur. En effet, en multipliant le nombre de colonnes et de rangées, les matrices peuvent devenir trop complexes aux yeux des concepteurs de produits. Les ajouts doivent donc être dosés.

Évaluation selon le type de consommateur

Il est à noter que les habitudes des consommateurs ne sont pas uniformes, ce qui n'apparaît pas dans les résultats des matrices ACV-fonctionnelles puisque ce sont les comportements des utilisateurs « moyens » qui sont analysés. Or, les résultats de l'ACV montrent que le profil environnemental du produit à usage unique étudié peut varier selon les

comportements des utilisateurs. En effet, le profil environnemental est sensible au mode de transport et à la distance que parcourt le consommateur pour l'achat de son produit. Dans le cas du profil fonctionnel, un certain type d'utilisateur peut accorder une importance plus grande à l'esthétique du produit par rapport à sa fiabilité.

En déterminant des types de consommateurs, tel que l'a fait le *Department for Environment Food and Rural Affairs* de la Grande-Bretagne (2008), les matrices pourraient donc être appliquées non seulement pour l'utilisateur moyen, mais aussi pour des catégories spécifiques, notamment par rapport à leur comportement pro-environnemental. Par exemple, certains consommateurs sont prêts à faire des changements plus radicaux comme l'achat de produits dont le profil environnemental a été amélioré au détriment du profil fonctionnel, contrairement à d'autres pour qui le produit amélioré ne répond pas à leurs attentes.

6.2.3 Évaluation du profil fonctionnel

Tel que discuté dans l'article, certaines fonctions sont essentiellement de nature qualitative. Mais l'étude de cas montre l'exemple du coût et de la fiabilité qui sont des fonctions quantifiables. Le profil fonctionnel pourrait donc inclure une partie qui quantifie ces fonctions à la condition que des données pour le faire soient disponibles. En fait, l'évaluation du profil fonctionnel aurait avantage à employer une technique similaire à la méthode QFD afin de réduire la variabilité des réponses. Le docteur Akao décrit la procédure habituellement employée au sein de son entreprise comme étant : 1) de faire appel aux spécialistes de différents départements, 2) d'utiliser des études de marchés conduites par les équipes en collaboration avec des utilisateurs-clients et 3) d'utiliser le savoir-faire acquis lors des analyses d'information antérieures (Akao, 1993). Une démarche similaire pourrait mener à l'amélioration de la qualité de l'évaluation du profil fonctionnel.

De plus, la modification de l'échelle utilisée pourrait être bénéfique afin de réduire la variabilité des réponses (moins de choix, donc moins de résultats différents possibles). Par exemple, l'échelle de 0 à 10 qui est utilisée dans ce projet¹¹ pourrait être remplacée par une

¹¹ Cette échelle de 0 à 10 est utilisée puisqu'il s'agit de celle utilisée dans l'approche d'évaluation du profil fonctionnel développé par J. Lagerstedt (2003)

échelle plus courte n'ayant pas de point médian comme une échelle de 1 à 4. Par contre, une recherche dans la littérature disponible sur le sujet de la longueur de l'échelle n'a pas permis de confirmer ou d'infirmer si une échelle de 1 à 4 serait plus appropriée que l'échelle de 0 à 10. Afin de déterminer l'échelle la plus appropriée dans le cas des matrices ACV-fonctionnelles, des essais auprès d'équipes de conceptions devraient être effectués.

Dans le cas du produit étudié, les critères de conception utilisés étaient essentiellement de nature fonctionnelle. Cependant, au fur et à mesure que l'influence des critères environnementaux sur les choix que font les consommateurs s'intensifie, des qualités environnementales pourraient être ajoutées au profil fonctionnel. En effet, si le fait que le produit soit biodégradable ou que ses emballages soient recyclables sont des critères exigés par le consommateur, cela devrait apparaître dans le profil fonctionnel. Bref, si certaines caractéristiques environnementales du produit influencent le choix des consommateurs, cela doit être visible dans la matrice ACV-fonctionnelle.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Ce projet de maîtrise s'est concentré sur l'intégration de l'ACV comme outil d'écoconception dans le cadre de projets d'améliorations de produits à usage unique. Le point de départ de cette intégration est l'identification des points chauds du produit, menant à l'élaboration de deux objectifs : la comparaison d'approches d'ACV simplifiées et la mise en relation des résultats d'ACV avec des critères de conception au sein de matrices. L'atteinte de ces deux objectifs a permis de cibler des points d'améliorations grâce à l'utilisation de matrices ACV-fonctionnelles facilitant l'identification des points chauds environnementaux et fonctionnels d'un produit à usage unique.

Dans le cadre du premier objectif, une analyse de la littérature a montré les forces et faiblesses des approches de simplification existantes. Les méthodes ERPA, MECO et ATEP ont par la suite été appliquées au cas d'un produit d'hygiène absorbant à usage unique pour lequel une étude ACV a également été effectuée, et ce, conformément aux normes ISO14040. La méthode ATEP s'est distinguée par sa facilité d'utilisation, cependant cela s'est traduit par un compromis à faire au niveau de la qualité de l'évaluation, étant donné que l'arbre de décisions de la méthode est trop simple pour prendre en compte toutes les étapes du cycle de vie du produit étudié. La méthode ERPA a permis d'identifier les stressors environnementaux et les étapes du cycle de vie les plus importants. Cela dit, elle nécessite de la part de l'utilisateur, l'expérience nécessaire pour porter des jugements. De plus, quelques différences ont été observées par rapport aux résultats de l'ACV. Enfin, les résultats de la comparaison ont montré qu'il est préférable de réaliser une étude ACV plutôt qu'un tableau MECO. En effet, la qualité de l'évaluation obtenue est largement supérieure, alors que la facilité d'utilisation est similaire, sauf en ce qui concerne la formation requise.

Dans le cadre du deuxième objectif, un questionnaire a été élaboré afin de mieux comprendre le contexte d'améliorations et de développement de produits ayant cours chez l'entreprise visée par l'étude de cas. Les réponses à ce questionnaire ont permis de caractériser le processus de conception de l'entreprise. Par la suite, deux interfaces différentes ont été développées afin de mettre en relation le profil environnemental (c.-à-d. les résultats d'ACV) et le profil fonctionnel (c.-à-d. les critères de conception). La première interface est une matrice basée sur les aspects environnementaux alors que la deuxième est une matrice basée sur les composants du produit.

Ces deux matrices, appelées matrices ACV-fonctionnelles, ont été appliquées à l'étude de cas afin d'identifier les points chauds environnementaux et fonctionnels d'un produit à usage unique.

Ces deux axes de recherches mènent à l'établissement de certaines recommandations, afin de faciliter le travail des concepteurs et des experts en environnement. L'une de ces recommandations est de déterminer s'il est approprié d'utiliser des données génériques provenant de bases de données ou si des données spécifiques sont nécessaires afin de respecter les objectifs visés par l'étude. Dans le cas des matrices ACV-fonctionnelles, l'utilisation d'ACV de type *screening*, est appropriée puisque l'objectif est d'identifier les points chauds.

Par ailleurs, l'établissement de nouvelles typologies de produits, de substances ou de composants basées sur des résultats d'ACV pourraient permettre de bâtir de nouvelles approches d'ACV simplifiées à condition d'avoir les données nécessaires pour le faire.

Une autre recommandation concerne l'identification des membres de l'équipe de conception ainsi que les membres de l'entreprise possédant des informations ou de l'influence sur les différents aspects environnementaux du cycle de vie et sur les critères de conception concernant le produit. Leur identification peut grandement faciliter la collecte de données et la communication des résultats. En effet, la communication des résultats doit être effectuée de manière à indiquer aux différents intervenants de l'entreprise les aspects environnementaux du cycle de vie du produit sur lesquels ils peuvent exercer un contrôle. En effet, certains des points chauds du produit peuvent concerner les membres de l'entreprise qui ne font pas partie de l'équipe de conception.

Les matrices ACV-fonctionnelles devraient être adaptées au type de produits étudié. En effet, il est important que le profil fonctionnel soit spécifique au produit étudié afin de favoriser l'intégration de ce type de matrice dans les processus existants de conception. Les profils fonctionnels doivent chercher à quantifier ce qui est quantifiable sans pourtant négliger ce qui est de nature qualitative. Toutefois, même si ce type de matrice peut intégrer énormément d'informations, elles risquent de devenir trop lourdes si des éléments inutiles pour les concepteurs de produits y figurent.

L'approche matricielle présentée dans ce mémoire a été proposée afin d'être un outil d'écoconception. Elle a été testée dans le cadre très précis de l'amélioration d'un produit à usage unique pour cibler ses points chauds. Il est intéressant de noter que ce type d'approche pourrait

être adapté afin de répondre au besoin plus général de mettre en relation les impacts environnementaux d'un produit, d'un service ou d'un procédé par rapport à son utilité pour les parties prenantes (consommateurs, entreprises, gouvernements, etc.). En effet, au fur et à mesure que le nombre d'études réalisées augmente, le besoin d'utiliser et de communiquer efficacement les résultats d'ACV dans le contexte de prise de décisions multi-critères est de plus en plus mis en lumière. Des approches matricielles similaires à celle qui a été développée dans ce projet constituent donc une voie intéressante pour répondre à ce besoin.

BIBLIOGRAPHIE

- "Composant". (2009). *Termium Plus*. Consulté le 30 septembre 2009, tiré: <http://www.btb.termiumplus.gc.ca/>.
- "Environmental impact". (2009). *Termium Plus*. Consulté le 4 octobre 2009, tiré: <http://www.btb.termiumplus.gc.ca/>.
- "Fonction". (1993). *Le nouveau petit Robert*. Paris.
- Abrassart, C., & Aggeri, F. (2007). Quelles capacités dynamiques pour les stratégies de développement durable des entreprises ? Le cas du management de l'éco-conception. *XVIème Conférence Internationale de Management Stratégique, Montréal, Canada* (pp. 29).
- Akao, Y. (1993). *QFD: prendre compte des besoins du client dans la conception de produit* (1^e éd.).
- Alton, C. C., & Underwood, P. B. (2003). Let us make impact assessment more accessible. *Environmental Impact Assessment Review*, 23(2), 141-153.
- Aumônier, S., & Collins, M. (2005). *Life Cycle Assessment of Disposable and Reusable Nappies in the UK* (P1481): Environment Agency.
- Bare, J. C., Norris, G. A., Pennington, D. W., & McKone, T. (2002). TRACI: The Tool for the Reduction and Assessment of Other Environmental Impacts. *Journal of Industrial Ecology*, 6(3&4), 49-78.
- Bécaert, V., Bage, G. F., Cadotte, M., & Samson, R. (2006). Fuzzy Life Cycle Evaluation: A Tool to Interpret Qualitative Information in Streamlined LCA. *LCE 2006 - Towards a closed loop economy, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium* (Vol. 1).
- Bovea, M. D., & Wang, B. (2007). Redesign methodology for developing environmentally conscious products. *International Journal of Production Research*, 45(18-19), 4057-4072.
- Brezet, H. (1997). Dynamics in ecodesign practice. *UNEP Industry and Environment (UNEP IE)* 20(1-2), 21-24.

- Brezet, J. C., & van Hemel, C. (1997). *Ecodesign: a promising approach to sustainable production and consumption* Paris.
- Centre technique industriel. (2007). *Méthode d'Apprentissage organisationnel pour l'Intégration de l'ÉCOconception*.
- Chayer, J.-A., & Fugère, M. (2009). Life cycle assessment of an hygiene absorbent product (pp. 109). Montréal: CIRAIG.
- Clayton, M. C., Fernando, F. S., & James, M. U. (1998). Strategies for Survival in Fast-Changing Industries. *Manage. Sci.*, 44(12), 207-220.
- Côté, C. (2005). *Évaluation comparative de deux méthodes d'analyse de cycle de vie simplifiée dans un contexte de conception de produit au sein de PME*. Mémoire inédit, Université de Montréal, Montréal.
- Curzons, A. D., Jiménez-Gonzalez, C., Ducan, A. L., Constable, D. J. C., & Cunningham, V. L. (2007). Fast Life Cycle Assessment of Synthetic Chemistry (FLASCTM) Tool. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 12(4), 272-280.
- Department for Environment Food and Rural Affairs. (2008). *A Framework for pro-Environmental Behaviours*. London: Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA).
- EDANA. (2007). *Sustainability Report 2007-2008 - Absorbent Hygiene Products*.
- Fleischer, G., Gerner, K., Kunst, H., Lichtenvort, K., & Rebitzer, G. (2001). A Semi-Quantitative Method for the Impact Assessment of Emissions Within a Simplified Life Cycle Assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 6(3), 149-156.
- Fonction. (1993). *Le nouveau petit Robert*. Paris.
- Gasafi, E., Meyer, L., & Schebek, L. (2003). Using Life-Cycle Assessment in Process Design: Supercritical Water Gasification of Organic Feedstocks. *Journal of Industrial Ecology*, 7(3-4), 75-91.
- Goglio, P., & Owende, P. M. O. (2009). A screening LCA of short rotation coppice willow (*Salix* sp.) feedstock production system for small-scale electricity generation. *Biosystems Engineering*, 103(3), 389-394.

- Gonzalez, B., Adenso-Diaz, B., & Gonzalez-Torre, P. L. (2002). A fuzzy logic approach for the impact assessment in LCA. *Resources, Conservation and Recycling*, 37(1), 61-79.
- Graedel, T. E. (1998). *Streamlined life-cycle assessment* (1^e éd.). New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Graedel, T. E., & Saxton, E. (2002). Improving the Overall Environmental Performance of Existing Telecommunications Facilities. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 7(4), 219-224.
- Heijungs, R. (1996). Identification of key issues for further investigation in improving the reliability of life-cycle assessments. *Journal of Cleaner Production*, 4(3-4), 159-166.
- Hochschorner, E., & Finnveden, G. (2003). Evaluation of Two Simplified Life Cycle Assessment Methods. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 8(3), 119-128.
- Hochschorner, E., Hägvall, J., Finnveden, G., Griffing, E., & Overcash, M. (2006). Environmental life cycle assessment of a pre-fragmented high explosive grenade. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 81(3), 461-475.
- Huijbregts, M. A. J., Rombouts, L. J. A., Hellweg, S., Frischknecht, R., Hendriks, A. J., van de Meent, D., et al. (2005). Is Cumulative Fossil Energy Demand a Useful Indicator for the Environmental Performance of Products? *Environmental Science & Technology*, 40(3), 641-648.
- Hunt, R. G., Boguski, T. K., Weitz, K., & Sharma, A. (1998). Case Studies Examining LCA Streamlining Techniques. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 3(1), 36-42.
- Hur Tak, Jiyong Lee, Jiyeon Ryu, & Kwon, E. (2005). Simplified LCA and matrix methods in identifying the environmental aspects of a product system. *Journal of environmental management*, 75(3), 229-237.
- ISO 14001. (2004). Environmental management systems -- Requirements with guidance for use (pp. 23).
- ISO 14044. (2006a). Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines (pp. 54).
- ISO 14044. (2006b). Management environnemental — Analyse du cycle de vie — Exigences et lignes directrices (pp. 56).

- ISO/TR 14062. (2002a). Environmental management — Integrating environmental aspects into product design and development (First ed.).
- ISO/TR 14062. (2002b). Management environnemental - Intégration des aspects environnementaux dans la conception et le développement de produit.
- Janin, M. (2000). *Démarche d'éco-conception en entreprise - Un enjeu: construire la cohérence entre outils et processus*. École nationale supérieure d'arts et métiers, Chambéry.
- Jensen, A. A., Elkington, J., Christiansen, K., Hoffmann, L., Møller, B. T., Schimdt, A., et al. (1997). *Final Report - Life Cycle Assessment (LCA), A Guide to Approaches, Experiences and Information Sources*. Søborg, Denmark: dk-TEKNIK Energy & Environment/European Environment Agency (EEA).
- Jolliet, O., Margni, M., Charles, R., Humbert, S., Payet, J., Rebitzer, G., et al. (2003). IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 8(6), 324-330.
- Jolliet, O., Saadé, M., & Crettaz, P. (2005). *Analyse du cycle de vie - Comprendre et réaliser un écobilan* (1^e éd.): Presses Polytechniques et universitaires Romandes.
- Khan, F. I., Sadiq, R., & Veitch, B. (2004). Life cycle iNdeX (LInX): a new indexing procedure for process and product design and decision-making. *Journal of Cleaner Production*, 12(1), 59-76.
- Kobayashi, H., & Haruki, K. (2003). A product life cycle planning method for environmentally conscious design. *Seimitsu Kogaku Kaishi/Journal of the Japan Society for Precision Engineering*, 69(2), 193-199.
- Koffler, C., Krinke, S., Schebek, L., & Buchgeister, J. (2008). Volkswagen slimLCA: a procedure for streamlined inventory modelling within life cycle assessment of vehicles. *International Journal of Vehicle Design*, 46(2), 172-188.
- Kuo, T.-C., Chang, S.-H., & Huang, S. H. (2006). Environmentally conscious design by using fuzzy multi-attribute decision-making. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 29(5), 419-425.

- Lagerstedt, J. (2003). *Functional and environmental factors in early phases of product development - Eco functional matrix*. Doctoral thesis inédit, KTH Royal Institute of technology, Stockholm.
- Lagerstedt, J., Luttrupp, C., & Lindfors, L.-G. (2003). Functional Priorities in LCA and Design for Environment. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 8(3), 160-166.
- Le Pochat, S. (2005). *Intégration de l'éco-conception dans les PME : Proposition d'une méthode d'appropriation de savoir-faire pour la conception environnementale des produits.*, L'école nationale supérieure d'arts et métiers, Paris.
- Lewis, H., Gertsakis, J., Grant, T., Morelli, N., & Sweatman, A. (2001). *Design and Environment: A Global Guide to Designing Greener Goods*. Sheffield: Greenleaf Publishing.
- M. Dettenkofer, R. G. h., M. Scherrer and F. Daschner (1999). Einweg- versus Mehrweg-Patientenabdeckung im Operationsaal Ökobilanz: Vergleich von Zellstoff-Polyethylen- und Baumwoll-Mischabdeckung. *Der Chirurg*, 70(4), 485-491.
- Moberg, Å., Johansson, M., Finnveden, G., & Jonsson, A. Printed and tablet e-paper newspaper from an environmental perspective -- A screening life cycle assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, In Press, Corrected Proof.
- Pochat, S. L., Bertoluci, G., & Froelich, D. (2007). Integrating ecodesign by conducting changes in SMEs. *Journal of Cleaner Production*, 15(7), 671-680.
- Pommer, K., Bech, P., Wenzel, H., Caspersen, N., & Olsen, S. I. (2003). *Handbook on Environmental Assessment of Products* (1^e éd.): Danish Environmental Protection Agency.
- Ponder, C. S., & Overcash, M. (2007). Life Cycle Assessment of Healthcare Garments. *In LCA/LCM 2007, Portland, Oregon, USA*.
- PRé Consultants. (2007). *SimaPro 7.1.8*.
- PRé Consultants B.V. (2000). The Eco-indicator 99 - A Damage Oriented Method for Life Cycle Impact Assessment - Manual for Designers (2nd ed., pp. 22 + annexes).

- Ritthoff, M., Rohn, H., & Liedtke, C. (2002). *Calculating MIPS : Resource Productivity of Products and Services* (27): Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy at the Science Centre North Rhine-Westphalia.
- Rombouts, J. P., & Hennessey, J. M. (1999). Applying classifications of materials and energy transformations to early environmental assessment of products. *EcoDesign '99: First International Symposium On Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*, Tokyo, Japan (pp. 98-101).
- Sakao, T. (2007). A QFD-centred design methodology for environmentally conscious product design. *International Journal of Production Research*, 45(18-19), 4143-4162.
- SETAC-Europe. (1997). *Simplifying LCA: Just a Cut?* (1^e éd.). Brussels: SETAC-Europe.
- Sousa, I., & Wallace, D. (2006). Product classification to support approximate life-cycle assessment of design concepts. *Technological Forecasting & Social Change*, 73, 228–249.
- Stevens, A. (1999). Integration of EcoDesign into business, a new challenge. *EcoDesign '99: First International Symposium On Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*, Tokyo, Japan (pp. 27-32).
- Stiassnie, E., & Shpitalni, M. (2007). Incorporating Lifecycle Considerations in Axiomatic Design. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 56(1), 1-4.
- Stripple, H., Westman, R., & Holm, D. (2008). Development and environmental improvements of plastics for hydrophilic catheters in medical care: an environmental evaluation. *Journal of Cleaner Production*, 16(16), 1764-1776.
- Sun, M., Rydh, C. J., & Kaebernick, H. (2004). Material Grouping for Simplified Product Life Cycle Assessment *The Journal of Sustainable Product Design*, 3(1-2), 45-58.
- Todd, J. A., & Curran, M. A. (1999). *Streamlined Life Cycle Assessment: A Final report from the SETAC North America Streamlined LCA Workgroup*: Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC)/SETAC Foundation for Environmental Education.

- Toffoletto, L., Bulle, C., Godin, J., Reid, C., & Deschênes, L. (2007). LUCAS - A New LCIA Method Used for a Canadian-Specific Context. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 12(2), 93-102.
- Utne, I. B. (2009). Improving the environmental performance of the fishing fleet by use of Quality Function Deployment (QFD). *Journal of Cleaner Production*, 17(8), 724-731.
- Walker, P. (2007). Summary of leads and information on assessing and comparing the sustainable development performance of products.
- Weidema, B. (2003). *Market information in life cycle assessment* (863). Copenhagen: Danish Environmental Protection Agency.
- Weinberg, L., & Eagan, P. (1997). Introducing design for the environment at boeing defense and space group through the application of abridged life-cycle analysis. *Environmental Quality Management*, 7(1), 71-79.
- Wenzel, H., Hauschild, M., & Alting, L. (2000). *Environmental Assessment of Products - Volume 1: Methodology, Tools and Case Studies in Product Development* (2^e éd. Vol. 1): Kluwer Academic Publishers.
- Zhang, Y. (1999). Green QFD-II: a life cycle approach for environmentally conscious manufacturing by integrating LCA and LCC into QFD matrices. *International Journal of Production Research*, 37(5), 1075-1091.
- Zhou, X., & Schoenung, J. M. (2004). Development of a hybrid environmental impact assessment model: A case study on computer displays. *IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, Scottsdale (Arizona, USA)* (pp. 91-96) Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

ANNEXE I

Stratégie d'écoconception

La liste suivante de stratégies est tirée du document « Ecodesign : A Promising approach to sustainable production and consumption » et a été traduite par Janin (2000).

Tableau I.1 : Stratégies d'écoconception (Brezet, J. C. & van Hemel, 1997; Janin, 2000)

Axes stratégiques d'écoconception	Stratégies d'écoconception
Sélection de matériaux ayant le moins d'impacts	<ul style="list-style-type: none"> • moins toxiques (moins dangereux) • renouvelables • peu énergivores • recyclés • recyclables
Réduction du nombre de matériaux	<ul style="list-style-type: none"> • réduction de la masse • réduction du volume
Optimisation des techniques de production	<ul style="list-style-type: none"> • techniques de production alternatives • moins d'étapes de production • consommation d'énergie minimale • moins de production de déchets
Optimisation du système de distribution	<ul style="list-style-type: none"> • emballages réutilisables, plus propres et moins nombreux ou volumineux • modes de transport moins énergivore
Réduction des impacts des produits en phase d'utilisation	<ul style="list-style-type: none"> • Moins de consommation énergétique • Sources d'énergie plus propres et renouvelables • Moins de besoins en énergie non renouvelable
Optimisation de la durée de vie des produits	<ul style="list-style-type: none"> • Durabilité et fiabilité • Maintenance et réparations facilitées • Structure modulaire des produits • Fort lien produit-consommateur
Optimisation de la fin de vie des produits	<ul style="list-style-type: none"> • Désassemblage des produits • Réutilisation des produits • Refabrication/remise à neuf

Axes stratégiques d'écoconception	Stratégies d'écoconception
	<ul style="list-style-type: none">• Recyclage des matériaux (facilité par leur marquage)• Incinération plus sûre
Développement d'un nouveau concept: modification de la "façon de penser"	<ul style="list-style-type: none">• Dématérialisation• Partage de l'utilisation des produits• Intégration de nouvelles fonctions• Optimisation fonctionnelle des produits

ANNEXE II

Questionnaire sur le développement de produit

L'objectif de ce questionnaire¹² est de comprendre le fonctionnement actuel du développement de produits chez l'entreprise visée par l'étude de cas. Les questions sont séparées en trois sections :

A) Culture de l'entreprise au niveau corporatif

B) Culture de développement de produits

C) Intégration des aspects environnementaux et de la pensée cycle de vie

Selon vos préférences, il est possible de répondre à ce questionnaire soit par courriel, par téléphone ou par une rencontre.

A) Culture de l'entreprise (niveau corporatif)

1) Laquelle des stratégies concurrentielles suivantes décrit le mieux la situation de l'entreprise au niveau corporatif?

- a. Réduction/Leadership au niveau des coûts ("efficiency")
- b. Différenciation de l'offre et des services aux clients ("differentiation")
- c. Créer une marque de renommée ("branding")
- d. Orientation client ("responsiveness")
- e. Innovation
- f. Autre : _____

2) Lequel des aspects suivants décrit le mieux la structure de gestion de l'entreprise?

¹² Plusieurs questions sont adaptées du questionnaire développé par Marc Janin dans le cadre de sa thèse de doctorat. Elles sont indiquées grâce à un astérisque.

- a. Structure de gestion centralisée - beaucoup de contrôle corporatif
 - b. Structure de gestion décentralisée - peu de contrôle corporatif
 - c. Autre : _____
- 3) Le développement de produit (secteur R&D) et l'environnement sont-ils des aspects centralisés ou décentralisés?
- 4) Au niveau corporatif, quelles proportions du budget total sont allouées au développement de produits?

B) Culture de développement de produits (au niveau du centre de recherche de Montréal)

- 5) Au niveau du centre R&D de Montréal, quelles sont les différentes gammes de produits ?
Quel est le nombre de produits pour chaque gamme de produits?
- 6) Combien d'employés travaillent au sein du centre R&D de Montréal ?
- 7) Quels sont les départements qui sont le plus impliqués dans le développement de produits?

Tableau II.1 : Départements les plus impliqués dans le développement de produits

Département	Très impliqués	Moyennement impliqués	Peu impliqués	Pas impliqués
R&D				
Marketing				
Achat				
Production				
Qualité				
Logistique				
Direction				
Environnement				
Santé, sécurité				
Autres départements :				

- 8) Quels sont les départements (ou type d'employés) qui initient le plus souvent les projets de développement et d'améliorations de produits? Est-ce des employés de Montréal ou des employés du centre corporatif qui initient la majorité des projets?
- 9) Qui supervise les projets de développement de produits? Combien de personnes sont impliquées par un projet de développement de produits?
- 10) Y a-t-il un processus systématique d'améliorations et de développement de produits implanté dans l'entreprise? Si oui, quels sont les différents critères à rencontrer lors du processus de développement?
- 11) Quels sont les outils logiciels utilisés (p. ex. logiciel CAO/DAO, bases de données, logiciel de gestion de projet) lors du développement de produits?
- 12) Existe-t-il un schéma montrant les différentes étapes de l'amélioration d'un produit? Sinon, pourriez-vous énumérer les principales étapes?
- 13) Quelles sont les raisons qui motivent le plus souvent les projets de développement et d'améliorations de produits ?

Tableau II.2 : Raisons qui motivent le plus souvent les projets de développement et d'améliorations de produits

Raison¹³	Très fréquent	Fréquent	Peu fréquent
Réduire les coûts de production			
Faciliter la production			
Mieux répondre au besoin des clients			
Demeurer compétitif			
Augmenter la qualité du produit			
Respecter des législations			
Réduire l'impact du produit sur l'environnement			
Autre :			

14) Quels sont les changements les plus fréquents en ce qui concerne le produit spécifiquement visé par l'étude ACV?

¹³ Les raisons ont été adaptées de celles mentionnées dans le rapport technique ISO14062 sur l'écoconception (ISO/TR 14062, 2002b)

Tableau II.3 : Changements les plus fréquents concernent le produit visé par l'étude ACV

Changement	Très fréquent	Fréquent	Peu fréquent
Changement de matières premières			
Changement de fournisseurs			
Changement au procédé de fabrication (p. ex. machinerie, pièce d'équipement)			
Nouveau design/ optimisation de la coupe de la serviette			
Ajout de nouvelles composantes			
Changement d'emballage			
Autre : _____			

15) À quelle fréquence y a-t-il des changements apportés aux produits (plus spécifiquement, les serviettes ultra-minces)?

- a. Hebdomadaire
- b. Mensuel
- c. Trimestriel
- d. Annuel

16) Quelles sont les données utilisées lors du développement et de l'amélioration de produits (p. ex. tests auprès de consommateurs, études de marché, pourcentages des ventes, données de production, tests en laboratoire, etc.)? Est-ce que ces données sont accessibles à tous les employés grâce à des bases de données?

C) Intégration des aspects environnementaux et de la pensée cycle de vie (au niveau du centre de recherche de Montréal)

17) Pour l'entreprise, quelles sont les raisons les plus importantes de réduire les impacts environnementaux des produits ?

Tableau II.4 : Raisons de réduire les impacts environnementaux

Raisons de réduire les impacts environnementaux	Très important	Moyennement important	Peu important
Réduire les coûts de gestion des rejets			
Réduire les coûts de production			
Réduire les coûts de transport			
Faire du marketing environnemental			
Respecter les normes environnementales			
Suivre l'exemple des concurrents			
Être un leader dans le domaine de l'environnement			
Réduire les risques environnementaux			
Améliorer les indicateurs environnementaux de l'entreprise (bilan environnemental de l'entreprise)			
Répondre aux demandes des employés du département de développement de produit			
Répondre aux demandes du département de l'environnement			
Répondre aux demandes de la haute direction (niveau corporatif)			
Répondre aux demandes de la direction du département développement de produit (niveau usine)			
Répondre aux demandes des actionnaires			
Répondre aux demandes des consommateurs			
Autre raison : _____			

18) *Les initiatives suivantes peuvent être appliquées afin de réduire les impacts environnementaux associés aux produits. Parmi les initiatives suivantes, encerclez celles qui ont déjà été employées lors de projet développement de produits. Souligner celles qui semblent les plus prometteuses.

- Sélectionner des matériaux
 - moins toxiques
 - renouvelables
 - peu énergétivores
 - recyclés
 - recyclables (surtout pour le cas des emballages)
 - biodégradables
- Réduire
 - la masse du produit
 - le volume du produit
- Optimiser la production en réduisant
 - la consommation d'énergie
 - le nombre d'étapes de production
 - la génération de rejets solides (p. ex. déchets de production, retailles)
 - la génération de rejets liquides (p. ex. eaux usées)
 - la génération de rejets gazeux (p. ex. poussières)
- Optimiser la distribution du produit en modifiant
 - les matériaux utilisés pour les emballages
 - la masse des emballages
 - les modes de transport
 - Autres initiatives : _____

- 19) *De manière générale, est-ce que les développeurs de produits sont familiers avec les termes suivants :
- a. Pensée cycle de vie, Analyse de cycle de vie
 - b. Écoconception, conception pour l'environnement
 - c. Impacts environnementaux
 - d. Développement durable
- 20) Comment les employés de développement de produits sont-ils formés par rapport à l'environnement ? (p. ex. formation continue, conférences, comité d'environnement, bulletins sur l'environnement, etc.)
- 21) *Au niveau du centre de recherche et de l'usine de Montréal, comment la gestion de l'environnement est-elle organisée? Y a-t-il :
- a. Un responsable en environnement ?
 - Si oui, comment est-il impliqué dans le processus de développement de produits ?
 - Quelle est sa place dans l'organigramme du centre de recherche ?
 - b. Un département ou un comité en environnement ?
 - Si oui, comment est-il impliqué dans le processus de développement de produits ?
 - c. Des consultants externes en environnement ?
 - Si oui, comment sont-ils impliqués dans le processus de développement de produit ?

ANNEXE III

Application de l'outil ATEP

La section suivante présente les résultats obtenus lors de l'application de l'outil ATEP, l'une des trois méthodes d'analyse du cycle de vie simplifiée qui ont été sélectionnées et ensuite appliquées au cas d'une serviette sanitaire.

Déroulement de l'application

Les résultats ont été obtenus grâce au fichier *Access* fourni par le CETIM. Ce fichier permet d'appliquer la méthode très facilement puisqu'il intègre tous les éléments de la méthode (questionnaires, liste de lignes directrices et d'indicateurs, outils graphiques, rapports en format pdf). Grâce à lui, l'arbre de décisions est appliqué automatiquement. Les étapes du déroulement de la méthode sont les suivantes :

1. Questionnaire stratégique ;
2. Questionnaire environnemental ;
3. Hiérarchisation des aspects environnementaux grâce à l'arbre de décisions ;
4. Choix de lignes directrices environnementales¹⁴ ;
5. Choix d'indicateurs environnementaux¹⁵.

Questionnaire stratégique

Le questionnaire stratégique demande environ vingt minutes afin d'être complété. Il permet d'obtenir des informations sur le produit et l'entreprise qui ne sont pas directement reliés aux aspects environnementaux. Voici les principales étapes de ce questionnaire :

- Description de l'entreprise (p. ex. chiffre d'affaires, nbr d'employés) ;
- Identification des attentes et des problèmes environnementaux soulevés par des clients ;
- Identification des clients et des arguments qui sont les plus importants pour eux ;

¹⁴ Cette étape n'a pas été appliquée dans le cadre de ce projet de recherche, puisque le but est d'analyser le cycle de vie du système.

¹⁵ Idem

- Identification des axes stratégiques du produit ;
- Description des politiques ou des systèmes de gestion environnementale de l'entreprise et de ses fournisseurs ;
- Description du produit (p. ex. fonction, unité fonctionnelle, principaux matériaux et principales étapes du cycle de vie).

Certains termes ou abréviations utilisés dans le questionnaire stratégique ne sont pas des termes familiers pour les utilisateurs qui ne sont pas des experts dans le domaine de l'environnement. Par exemple, les termes suivants sont utilisés dans le questionnaire : politique de flux tendus, code NAF, BE, fonction, unité fonctionnelle. Malheureusement, il n'y a pas de lexique disponible dans le fichier *Accès* pour expliquer aux concepteurs de produits la signification de ces termes.

Questionnaire environnemental

Tout comme pour le questionnaire stratégique, le questionnaire environnemental est rapide et facile à compléter. Il contient une série de questions portant sur chacun des aspects environnementaux évalué par l'outil ATEP. La majorité de ces questions sont de nature qualitative, comme le montre l'exemple présenté au Tableau III.1.

Tableau III.1 : Exemple du questionnaire environnemental concernant l'aspect environnemental des emballages (Centre technique industriel)

Liste de vérification pour le conditionnement et approvisionnement des emballages	Réponses possibles
Les emballages sont-ils réutilisables?	<ul style="list-style-type: none"> • Oui à 100% • Oui en partie • Non
Les emballages sont-ils recyclables?	<ul style="list-style-type: none"> • Oui à 100% • Oui en partie • Non
Si les emballages sont recyclables, faites-vous le tri pour le recyclage ?	<ul style="list-style-type: none"> • Oui • Non

Tout comme pour le questionnaire stratégique, certains termes utilisés sont spécifiques à des réglementations environnementales ou au contexte technique de l'analyse environnementale. Les concepteurs de produits ne sont donc pas nécessairement familiers avec ces termes. D'ailleurs, certaines questions mentionnent des éléments de la réglementation environnementale européenne. Certains éléments du questionnaire ne sont donc pas appropriés au contexte nord-américain.

Arbre de décisions de l'outil ATEP

En moins de dix minutes, les scores suivants ont été obtenus grâce à l'arbre de décisions. Les résultats de la hiérarchisation de la serviette sanitaire étudiée sont présentés au Tableau III.2 et à la Figure III.1.

Tableau III.2 : Caractéristiques et scores obtenus pour les aspects environnementaux évalués par l'outil ATEP

Aspects environnementaux	Caractéristiques de cet aspect (adapté de Centre technique industriel, 2007)	Score	Raison
Matières premières (MP)	Nature des matériaux, des composants et des fluides entrant dans la composition du produit	4	Dû au fait qu'il n'y a aucune consommation d'énergie lors de la phase d'utilisation
Production/Fabrication (F)	Ensemble des processus nécessaires à l'élaboration du produit	3	Dû au fait que c'est un produit à usage unique
Utilisation (U)	Ensemble des ressources nécessaires à l'utilisation du produit	0	Dû au fait que c'est un produit à usage unique
Recyclabilité en fin de vie (FV-R)	Aspects de conception susceptibles de réduire l'impact du produit en fin de vie	4	Dû au fait que c'est un produit à usage unique
Substances dangereuses en fin de vie (FV-S)	Substances contenues dans le produit et susceptibles de pénaliser la fin de vie du produit	0	Dû au fait qu'aucun métal lourd, composant électronique, retardateur de flamme ou substance dangereuse n'entre dans la composition du produit.
Logistique/transports (T)	Répartition géographique en % du nombre de fournisseurs et de sous-traitants	4	Dû au fait que c'est un produit à usage unique
Emballages (Emb)	Conditionnement expédition, envoi au client final	4	Dû au fait que c'est un produit à usage unique

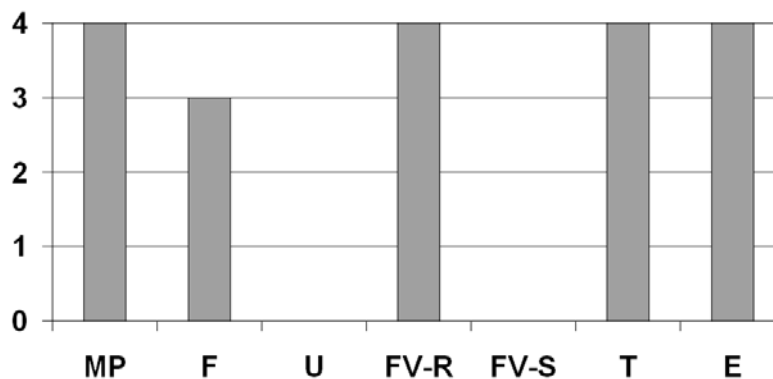


Figure III.1 : Scores environnementaux obtenus pour les aspects environnementaux.

Les résultats peuvent être expliqués en analysant l'arbre de décisions de l'outil ATEP. Le fait que le produit étudié est un produit à usage unique est l'une des caractéristiques les plus importantes selon l'arbre de décisions. En effet, cela détermine ou intervient dans l'attribution du score des aspects environnementaux suivants : l'emballage, le transport, l'usage, la fabrication ainsi que la recyclabilité en fin de vie. Seuls les aspects de matières premières et de substances en fin de vie ne sont pas affectés par cette caractéristique. Or la catégorie « produit à usage unique » peut comprendre plusieurs produits manufacturiers très différents. Cela signifie que pour des produits manufacturiers aussi différents qu'une couche pour bébé, une bouteille de shampoing, un appareil photo jetable ou un savon à vaisselle, les résultats obtenus avec l'outil ATEP seront sensiblement les mêmes. L'analyse de l'arbre de décisions montre aussi que la distribution du produit n'est pas prise en compte dans la hiérarchisation des aspects environnementaux. Or, dans le cas étudié, soit le cycle de vie d'un produit à usage unique dont la masse volumique est très faible et qui est transporté par camion à une échelle continentale, cela constitue un des aspects environnementaux non négligeable.

Identification des points chauds avec l'outil ATEP

Les résultats de la hiérarchisation peuvent être interprétés afin d'identifier les points chauds du cycle de vie du produit. Ainsi, les aspects environnementaux ayant obtenu le score maximum, c'est-à-dire les matières premières, le recyclage en fin de vie, le transport ainsi que l'emballage, sont des points chauds selon l'outil ATEP.

ANNEXE IV

Application de la méthode MECO

L'application de la méthode MÉCO est basée sur le livre *Handbook on Environmental Assessment of Products* (Pommer et al., 2003). Voici la démarche à suivre :

1. Définition des objectifs et du champ de l'étude ;
2. Collection de données sur le cycle de vie du produit ;
3. Calcul des masses de matériaux et des ressources consommées pour la catégorie *Matériaux* ;
4. Calcul de l'énergie et des ressources consommées pour la catégorie *Énergie* ;
5. Étude des risques liés aux produits chimiques (catégorie *Produits chimiques*) ;
6. Analyse des autres impacts non répertoriés dans les catégories *Matériaux*, *Énergie* et *Produits chimiques* (catégorie *Autre*) ;
7. Réalisation du tableau MECO et analyse des résultats ;

Calcul des masses de matériaux et des ressources consommées pour la catégorie *Matériaux*

Suite à la collecte de données, la méthode MECO nécessite le calcul des masses de matériaux utilisés, et ce, pour toutes les étapes du cycle de vie du produit étudié. Dans le cas de la serviette sanitaire, c'est l'étape de préproduction qui nécessite le plus de matériaux.

À l'aide des données concernant la composition de la serviette sanitaire et de son emballage, les masses des matériaux utilisés ont été calculées. La méthode MECO suggère d'inscrire tous les matériaux et par la suite d'évaluer s'il s'agit d'une quantité importante qui doit nécessairement être évaluée. Dans le cas présent, à l'étape de la production, les quantités de fluides pour le nettoyage et la lubrification n'ont pas été évaluées puisqu'il s'agit de quantités négligeables. En effet, étant donné le caractère simplifié de la méthode, seuls les matériaux constituant au moins 1% massique du système ont été inclus.

À l'aide du *Tableau B1* du *Handbook on Environmental Assessment of Products* (Pommer et al., 2003), les masses de matières premières (en g) ainsi que les quantités de ressources utilisées (en millipersonnes-réserves) ont été calculées. Toutefois, certaines substances ne figuraient pas dans le *Tableau B1* et n'ont pu être évaluées. Pour d'autres, des approximations ont été utilisées afin d'estimer la quantité de ressources utilisées. Il est à noter que dans le cas de la phase de

transport, l'essence n'est pas prise en compte par la catégorie *Matériaux*, puisqu'elle est considérée dans la catégorie *Énergie*.

Calcul des énergies et des ressources utilisées pour la catégorie *Énergie*

Toutes les formes d'énergies (électricité, vapeur, pétrole pour le transport) doivent être évaluées par rapport à la quantité (MJ) et ensuite transformées en consommation de ressources (mPR). L'énergie utilisée pour extraire les matières premières de l'environnement et les transformer en matériaux, une énergie appelée énergie primaire, est également comptabilisée par la méthode MECO. Le *Tableau B.2* du *Handbook on Environmental Assessment of Products* (Pommer et al., 2003) fournit des valeurs pour les matériaux les plus couramment utilisés par l'industrie manufacturière. Or, tout comme pour la catégorie *Matériaux*, le tableau fourni par la méthode ne contient pas toutes les données nécessaires concernant les composants de la serviette sanitaire étudié. Aussi l'énergie associée à la production de ces composants n'a pu être calculée.

La quantité de joules consommés est par la suite transformée en unité de ressources consommées (mPR). Pour ce faire, l'hypothèse posée par la méthode est que toute l'énergie consommée correspond à une quantité de combustibles fossiles. Cette hypothèse est appropriée pour les pays où l'approvisionnement en énergie provient en grande partie de combustibles fossiles. Or ce n'est pas le cas du contexte québécois, où l'hydroélectricité est la principale source d'électricité.

Il est à noter que pour la méthode MECO, l'étape du cycle de vie transport représente tous les transports effectués lors du cycle de vie. Le calcul du nombre de tonnes*kilomètre montre que le transport des matières premières ainsi que la distribution du produit fini sont les principaux processus de transport.

Étude des risques liés aux produits chimiques (catégorie *Produits chimiques*)

Tout produit chimique qui compose le produit étudié ou qui constitue une émission liquide, gazeuse ou solide lors du cycle de vie du produit doit être considéré par la catégorie produit chimique. Pour chaque substance, une recherche doit être effectuée afin de vérifier les risques (p. ex. substance corrosive, substance cancérigène, etc.).

Afin de déterminer si une substance du cycle de vie de la serviette sanitaire doit figurer dans le tableau MECO, certaines caractéristiques des substances doivent être connues. Par exemple, il

faut consulter pour chaque substance leurs fiches MSDS afin de connaître les phases de risques ainsi que les phases de sécurité qui leur sont associées. Ces phases ont été définies par la directive européenne 2001/59/EC. Par exemple, elles indiquent si une substance est nocive par inhalation ou si elle doit être tenue à l'écart de la chaleur. Afin d'évaluer la catégorie *Produits Chimiques*, il faut également consulter les listes de produits dangereux selon l'État danois et selon l'Union européenne ainsi qu'une liste de substances ayant un effet sur la couche d'ozone.

Dans le cas de la serviette sanitaire, il y a peu de produits chimiques utilisés. Bien sûr, il y a les agents de lubrification et de nettoyage utilisés pour la machinerie lors de la préproduction et la production. Toutefois, étant donné les faibles masses utilisées, ces produits n'ont pas été inclus dans les frontières du système. Parmi les substances chimiques présentes en quantités significatives lors du cycle de vie de la serviette sanitaire, peu d'entre elles sont toxiques. Cela peut être expliqué par le fait que les matériaux entrant dans la composition d'un produit d'hygiène absorbant doivent être appropriés pour être utilisés (contact dermique prolongé avec l'utilisatrice).

Analyse des autres impacts non répertoriés dans les catégories *Matériaux*, *Énergie* et *Produits chimiques* (catégorie *Autre*)

Dans le cas de la serviette sanitaire, il est difficile d'évaluer les conditions de travail pour l'extraction des matières premières et la fabrication des composants. Cependant, les conditions de travail lors de la production du produit à l'usine sont bien connues. Il y a peu de poussières à l'usine et le niveau de bruit est acceptable. Cela peut être expliqué par le fait que les machines de production ne sont pas à air ouvert. De plus, la température dans l'usine est relativement stable (un système de climatisation est en fonction l'été et l'hiver la chaleur dégagée est suffisante pour chauffer l'usine). Par contre, le travail des opérateurs et des caristes est relativement répétitif.

Identification des points chauds avec le Tableau MECO

Les informations rassemblées sur le cas du produit d'hygiène absorbant ont été intégrées au Tableau MECO suivant (voir Tableau IV.1). Pour chaque catégorie, il est possible d'identifier l'étape du cycle de vie qui a la plus grande contribution. Cependant, il est difficile de classer les étapes du cycle de vie selon leur importance, puisque cela signifie qu'il faut comparer des étapes qui contribuent à différents types de catégories environnementales.

Tableau IV.1 : Tableau MECO appliqué au cas d'un produit d'hygiène absorbant

		Matières premières	Production	Transport	Usage	Fin de vie
Matériaux	Quantité	Carton, pulpe, papier 5,28 g	Utilisation d'eau 4,08 g			Serviettes usées 6,37 g
		PE 1,53 g	(pour le traitement de la poussière)			Rejets de design 1,24 g
		PET 0,67 g	Nettoyants et fluides N/D			Rejet de production 0,28 g
		Polymère absorbant* 0,60 g	(pour l'entretien des machines)			Emballages usés 1,66 g
		Adhésif* 0,47 g				
		PP 0,40 g				
		Autres matériaux* 0,34 g				
Matériaux	Ressources	Bois 0 mPR				
		Pétrole 3,65E-04 mPR				
		Gaz Naturel 8,55E-04 mPR				
Énergie	Primaire	4,0E-01 MJ	6,74E-03 MJ	1,63E-01 MJ		
	Ressource	3,9E-04 mPR	6,57E-06 mPR	1,6E-04 mPR		
Chimique		Données non disponibles sur les processus de fabrication des matières premières et des composants	Nettoyants et fluides (faibles quantités)			
Autre		Données non disponibles sur les conditions de travail lors de la fabrication des matières premières et des composants	Travail répétitif des opérateurs des lignes de production et des caristes, Risques de blessures reliés aux machines			Préoccupation des consommateurs par rapport à la quantité de déchets générés

* Les ressources et l'énergie nécessaires pour ces matériaux n'ont pu être pris en compte

ANNEXE V

Application de la méthode ERPA

Les différentes étapes de la méthode ERPA sont les suivantes :

1. Établissement d'une liste de critères et d'une grille de scores¹⁶ ;
2. Collecte de données ;
3. Attribution d'un score¹⁷ ;
4. Analyse des résultats.

Établissement d'une liste de critères et d'une grille de scores

Dans le cadre de ce travail, une évaluation en utilisant les critères génériques présentés par Graedel dans le livre *Streamlined Life-Cycle Assessment* (Graedel, 1998) a été réalisée. Pour chaque stressor environnemental et pour chaque étape du cycle de vie, Graedel a établi une liste de critères. Il a déterminé des conditions « extrêmes » pour lesquelles un score maximal ou minimal doit être attribué.

Il est à noter que, dans le cadre de cette application, la note de 4 signifie qu'il s'agit d'un score maximal (élément problématique, impact environnemental élevé) et la note 0 correspond à un impact environnemental faible. Ceci est l'inverse de l'échelle de scores définie par Graedel, mais cela est plus similaire aux échelles de scores utilisées par les autres méthodes d'analyses de cycle de vie simplifiées. Le Tableau V.1 montre l'évaluation de chacune des cellules de la matrice ERPA à l'aide des critères génériques (Graedel, 1998).

¹⁶ Dans le cas de la serviette sanitaire, cette étape n'a pas été réalisée puisque c'est la grille de scores et de critères génériques élaborée par Graedel qui a été utilisée.

¹⁷ Une étape de pondération des stressors environnementaux et des étapes du cycle de vie peut également être ajoutée.

Attribution d'un score

Tableau V.1 : Attribution d'un score à chaque cellule de la matrice ERPA pour le cas d'un produit absorbant à usage unique

Cellule	Étape	Stresseur env.	Critères d'évaluation
1,1	Préproduction	Matériaux	<ul style="list-style-type: none"> Composition des matériaux connue, sauf en ce qui concerne certains matériaux tels que les encres. Toutefois, ils représentent une très faible proportion de la composition de la serviette. Il n'y a pas de matériaux rares, toxiques ou radioactifs qui entrent dans la composition de la serviette. Cela peut être expliqué par le fait qu'il s'agit d'un produit à usage unique, fabriqué en grande quantité et qu'il est en contact direct avec la peau lors de son usage. (Score≠4) Plusieurs matériaux vierges sont utilisés (pulpe de bois, plastiques, etc.) pour la fabrication d'une serviette sanitaire. (Score≠0) Le score attribué est de 2 en raison de la méconnaissance de la composition de certains matériaux (composant I) et du fait que le produit n'est pas conçu de manière à maximiser l'utilisation de matériaux recyclés ou renouvelables.
1,2	Préproduction	Énergie	<ul style="list-style-type: none"> Certains matériaux requièrent beaucoup d'énergie (p. ex. papier et pulpe) mais il est difficile de dire qu'il existe des options faciles à appliquer. (Score≠4 et Score≠0) Ce produit n'est pas conçu de manière à minimiser l'utilisation de matériaux issus de procédés énergivores et les distances de transports ne sont pas minimisées. Aussi le score attribué est de 2.
1,3	Préproduction	Résidus solides	<ul style="list-style-type: none"> Certains matériaux achetés par des fournisseurs ne contiennent pas de métaux. Plus de trois matériaux sont emballés dans des contenants ou films non recyclés. Cependant, ces emballages sont simples (moins de trois composants). (Score≠4, mais élevé) Le produit n'est pas conçu de manière à réduire l'achat de matériaux générant de grandes quantités de résidus solides lors de leur l'extraction/purification. Les matériaux achetés de fournisseurs contiennent plusieurs emballages (primaire, secondaire). La diversité des matériaux n'est pas minimisée (elle est relativement grande). Le score attribué est de 3.
1,4	Préproduction	Résidus liquides	<ul style="list-style-type: none"> Il n'y a pas de matériaux de remplacement connus générant moins de résidus liquides lors de leur extraction. Les emballages ne contiennent pas de substances toxiques lixiviables. (Score≠4) Il y a des résidus liquides produits lors de l'extraction/purification. (Score≠0) Les contenants de produits liquides ne sont pas réutilisables, cependant il y a peu de produits liquides qui entrent dans la composition d'une serviette sanitaire. Du papier entre dans la composition de la serviette, ce qui génère de grandes quantités de résidus liquides. Le score attribué est de 2.

Cellule	Étape	Stresseur env.	Critères d'évaluation
1,5	Préproduction	Résidus gazeux	<ul style="list-style-type: none"> Les matériaux n'engendrent pas une quantité substantielle de gaz toxiques, de gaz à effet de serre, ... (Score≠4) Il y a certains résidus gazeux émis lors de l'extraction/purification. (Score≠0) Le produit n'est pas conçu de manière à réduire l'émission de résidus gazeux lors de la préproduction. Toutefois, les matériaux principaux (papier, pulpe et plastiques) n'émettent pas de quantités significatives d'émission gazeuses. Le score attribué est de 1.
2,1	Production	Matériaux	<ul style="list-style-type: none"> La fabrication ne requiert pas de matériaux toxiques, rares ou radioactifs. (Score≠4) La fabrication n'est pas opérée en boucle fermée. (Score≠0) Il y a certains résidus gazeux émis lors de l'extraction/purification. (Score≠0) Des matériaux vierges sont utilisés, de plus certains procédés chimiques sont requis (encres, neutralisant d'odeur, SAP) Le score attribué est de 2.
2,2	Production	Énergie	<ul style="list-style-type: none"> L'énergie requise pour la fabrication n'est pas élevée par rapport au rendement des machines de production (Score≠4) La fabrication et les essais requièrent un minimum d'énergie. (Score≠0) La conception du produit n'est pas faite de manière à minimiser l'énergie utilisée. Il y a peu d'étapes énergivores lors de la production. Il y a peu d'opportunités d'échanges thermiques et de cogénération. Le score attribué est de 1.
2,3	Production	Résidus solides	<ul style="list-style-type: none"> La génération de résidus solides est grande, cependant il y a des programmes de récupération lors de la production. Chacun des composants du produit ne contient pas au moins 90% de matière recyclée ou réutilisée. (Score≠4 et ≠0) La génération de résidus solides n'est pas minimisée et il y a peu de réutilisation des différents types de résidus solides (retailles, rejets de production, poussières). Les possibilités de revendre les résidus solides comme entrant pour un autre système sont à l'étude (mise en place avec cimenterie). Le score attribué est de 3.
2,4	Production	Résidus liquides	<ul style="list-style-type: none"> La génération de résidus liquide est faible. Il s'agit principalement d'adhésifs qui entrent dans la composition du produit, ainsi que de solvants et des huiles pour la machinerie (Score≠4) Chacune des composantes du produit ne contient pas au moins 90% de matière recyclée ou réutilisée. (Score≠0) Le score attribué est de 1.
2,5	Production	Résidus gazeux	<ul style="list-style-type: none"> La génération de résidus solides est grande, cependant il y a des programmes de récupération lors de la production. Chacune des composants du produit ne contient pas au moins 90% de matière recyclée ou réutilisée. (Score≠4 et ≠0) La génération de résidus solides n'est pas minimisée et il y a peu de réutilisation des différents types de résidus solides (retailles, rejets de production, poussières). Les possibilités de revendre les résidus solides comme entrant pour un autre

Cellule	Étape	Stresseur env.	Critères d'évaluation
			<p>système sont à l'étude (mise en place avec cimenterie).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le score attribué est de 3.
3,1	Distribution	Matériaux	<ul style="list-style-type: none"> • Les serviettes sont emballées par trois matériaux vierges (plastique de la pochette, plastique du sac et carton de la boîte). (Score=4)
3,2	Distribution	Énergie	<ul style="list-style-type: none"> • Les modes de production des emballages et le transport consomment d'importantes quantités d'énergie, mais les autres possibilités sont moyennement difficiles à appliquer. (Score≠4 mais élevé) • Étant donné le transport sur de grandes distances principalement par camion, le score attribué est de 3.
3,3	Distribution	Résidus solides	<ul style="list-style-type: none"> • L'utilisation des emballages pour les produits est importante et peu de considérations sont accordées aux possibilités d'emballages. (Score=4)
3,4	Distribution	Résidus liquides	<ul style="list-style-type: none"> • Peu de résidus liquides sont générés lors de la distribution. (Score=0)
3,5	Distribution	Résidus gazeux	<ul style="list-style-type: none"> • Les plans de distribution ne sont pas conçus pour minimiser les émissions. Possibilité d'incinération des emballages (palettes, boîtes de carton) • Le score attribué est de 2.
4,1	Usage	Matériaux	<ul style="list-style-type: none"> • L'utilisation du produit ne requiert aucune consommation de matériaux liée à son utilisation, son entretien et sa réparation du produit. (Score=0)
4,2	Usage	Énergie	<ul style="list-style-type: none"> • L'utilisation du produit ne requiert aucune consommation d'énergie liée à son utilisation, son entretien et sa réparation du produit. (Score=0)
4,3	Usage	Résidus solides	<ul style="list-style-type: none"> • Le produit n'entraîne aucun résidu solide lié à son utilisation, son entretien et sa réparation du produit. (Score=0)
4,4	Usage	Résidus liquides	<ul style="list-style-type: none"> • Le produit n'entraîne aucun résidu liquide lié à son utilisation, son entretien et sa réparation du produit. (Score=0)
4,5	Usage	Résidus gazeux	<ul style="list-style-type: none"> • Le produit n'entraîne aucun résidu gazeux lié à son utilisation, son entretien et sa réparation du produit. (Score=0)
5,1	Fin de vie	Matériaux	<ul style="list-style-type: none"> • Le produit ne contient pas de mercure, d'asbestos ou de cadmium. (Score≠4) • La diversité matérielle n'est pas minimisée, elle est plutôt élevée. Le produit n'est pas démontable et ses parties ne sont pas recyclables. (Score≠0) • Les matériaux n'ont pas été choisis en fonction de l'option d'élimination désirée, soit l'enfouissement en ce qui concerne la serviette (contrairement à l'emballage). • Le produit est libre de piles. • Le produit ne contient pas de BPC ou de TPCÉ • La composition des adhésifs, des encres et des neutralisants d'odeur n'est pas entièrement connue. • Score attribué de 1.
5,2	Fin de vie	Énergie	<ul style="list-style-type: none"> • Le recyclage et l'élimination du produit n'est pas à forte intensité, il est moyennement élevé par rapport aux produits pouvant remplir la même fonction (serviette maxi, tampon, serviettes réutilisables, coupe menstruelle). (Score≠4) • Il est impossible de recycler le produit, à l'exception de son emballage.

Cellule	Étape	Stresseur env.	Critères d'évaluation
			<ul style="list-style-type: none"> Le transport des emballages pour le recyclage n'est pas à forte intensité énergétique. Score attribué de 2.
5,3	Fin de vie	Résidus solides	<ul style="list-style-type: none"> Le produit n'est pas composé principalement de matériaux non recyclables (Score≠4) Le produit ne peut pas facilement être remis à neuf et réutilisé, il n'est pas facilement démontable. (Score≠0) Le produit ne peut pas être loué plutôt que vendu Le produit utilise des adhésifs comme liants. Il n'y a pas de plastique prédominant dans la composition du produit. Score attribué de 2.
5,4	Fin de vie	Résidus liquides	<ul style="list-style-type: none"> Le produit n'est pas composé principalement de matériaux liquides non recyclables (Score≠4) Le produit n'utilise aucun liquide d'opération (p.ex. huiles, fluides hydrauliques, liquides de refroidissement). Des agents nettoyants ou solvants seraient nécessaires pour son reconditionnement. (Score≠0) Les liquides contenus dans le produit ne peuvent être récupérés lors du désassemblage. Le désassemblage, récupération et réutilisation n'est pas possible (pas de génération de résidus liquides) Score attribué de 1.
5,5	Fin de vie	Résidus gazeux	<ul style="list-style-type: none"> Le produit ne contient ou ne produit principalement que des matériaux gazeux non recyclables qui sont dissipés dans l'atmosphère en fin de vie. (Score≠4) Le produit ne contient aucune substance perdue par évaporation/sublimation (autre que l'eau) et aucune substance volatile n'est utilisée pour le reconditionnement. (Score≠0) Le produit ne contient pas de gaz. Le désassemblage, la récupération et la réutilisation ne génère pas de résidus gazeux. Les parties en plastique peuvent être incinérées sans avoir recours à des dispositifs de contrôle de la pollution de l'air sophistiqués. (Les parties en plastiques qui peuvent poser problèmes en ce sens sont celles qui contiennent un moyen d'isolement polybromé ou des additifs à base de métaux lourds, sont finies avec des peintures à base de polyuréthane ou sont plaquées ou peintes avec des métaux.) Score attribué de 1.

Analyse des résultats

Le Tableau V.2 résume les scores obtenus qui sont également illustrés à la Figure V.1 sous la forme d'un « graphique-cible » (« *target plot* »).

Tableau V.2 : Matrice de résultats avec méthode ERPA (critères génériques)

	Matériaux	Énergie	Rejets solides	Rejets liquides	Rejets gazeux
Préproduction	2	2	3	2	1
Production	2	1	3	1	0
Distribution	4	3	4	0	2
Usage	0	0	0	0	0
Fin de vie	1	2	2	1	1

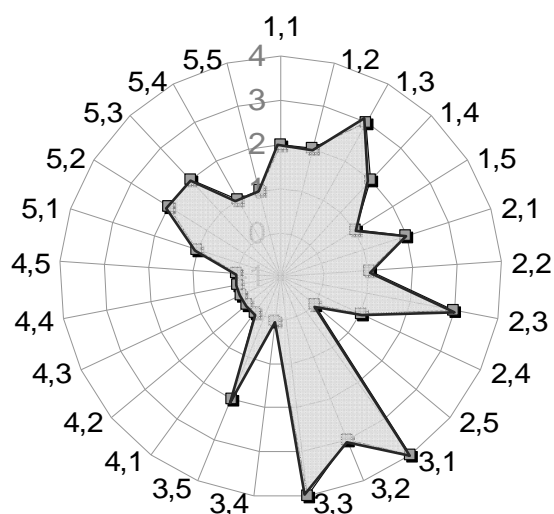


Figure V.1 : Graphique « cible » des résultats avec la méthode ERPA.

Identification des points chauds avec la méthode ERPA

Les points chauds identifiés à l'aide de la méthode ERPA pour le cas de la serviette sanitaire sont les matériaux et l'énergie utilisés lors de la phase de distribution ainsi que les rejets solides générés lors des étapes de la préproduction, de la production et de la distribution. Il est également important de mentionner que presque tous les scores obtenus pour l'étape de la préproduction sont relativement élevés.

ANNEXE VI

Données requises pour l'application des méthodes d'ACV simplifiée

Le Tableau VI.1 montrent les données nécessaires pour l'application des différentes méthodes d'ACV simplifiées, et ce, pour le cas du produit d'hygiène absorbant.

Tableau VI.1 : Données d'inventaire nécessaires pour l'application de différentes méthodes

Type de données (adapté au cas de la serviette sanitaire)		Est-ce des données requises par cette méthode?			
		ATEP	ERPA	MECO	ACV réalisée dans le cadre de l'étude de cas
Fabrication des matériaux (incluant les emballages du produit)	Consommation de ressources		Jugement concernant la composition des composants (en particulier p/r aux matériaux rares ou vierges)	Masse de matériaux utilisés transformée en milli-personne-ressource (mPR)	Incluse dans les processus d'ecoinvent
	Consommation d'énergie		Jugement concernant l'utilisation d'énergie pour la fabrication de matériaux	Masse de matériaux utilisés transformée en énergie primaire (MJ)	Incluse dans les processus d'ecoinvent
	Émissions	Type de substances (dangereuses, Cl, Br, etc.)	Jugement sur les émissions liquides, solides et gazeuses	Risques associés aux matériaux (phase de risque et de sécurité)	Calculé par la méthode d'impact d'ACV choisie
	Distances à parcourir		Jugement sur l'optimisation des distances de transport	Estimation de la distance parcourue	Incluse dans les processus d'ecoinvent
	Mode de transport			Choisi parmi les trois types de transports considéré par la méthode (bateau, train, camion)	Incluse dans les processus d'ecoinvent
	Emballage des matériaux	Type d'emballages (recyclables, réutilisable?)			Hors des frontières du système
Fabrication des composantes (incluant les emballages du produit)	Consommation de ressources		Jugement concernant la composition des composants (en particulier p/r aux matériaux rares ou vierges)	Masse de matériau utilisée transformée en milli-personne-ressource (mPR)	Négligée ou en partie incluse dans les données génériques
	Consommation d'énergie		Jugement concernant l'utilisation d'énergie pour la fabrication de matériaux	Masse de matériau utilisée transformée en énergie primaire (MJ)	Négligée ou en partie incluse dans les données génériques

Type de données (adapté au cas de la serviette sanitaire)		Est-ce des données requises par cette méthode?			
		ATEP	ERPA	MECO	ACV réalisée dans le cadre de l'étude de cas
	Émissions		Jugement sur les émissions liquides, solides et gazeuses	Risques associés aux matériaux (phase de risque et de sécurité)	Calculée par la méthode d'impact d'ACV choisie
	Distances à parcourir	Échelle nationale, continentale?	Jugement sur l'optimisation des distances de transport	Estimation de la distance parcourue	Donnée obtenue auprès de l'entreprise de production
	Mode de transport			Choisi parmi les trois types de transports considéré par la méthode (bateau, train, camion)	Donnée obtenue auprès de l'entreprise de production
	Emballage des composantes	Type d'emballages (recyclables, réutilisable?)			Hors des frontières du système
Production	Consommation d'énergie par les lignes de production		Évaluation de la quantité d'énergie requise pour la fabrication	En énergie primaire (MJ) et en milli	Quantifiée avec utilisation de grid-mix énergétique
	Consommation d'énergie par les autres services (chariot élévateur, chauffage, entretien, etc.)		N'est pas nommé formellement dans la grille de pointage	En énergie primaire (MJ) et en milli-personne-ressource (mPR)	Donnée obtenue auprès de l'entreprise de production
	Consommation de ressources par les lignes de production		Évaluation du type de ressources utilisées (toxiques, rares, radioactif, vierges)	Masse de matériaux utilisés transformée en milli-personne-ressource (mPR)	Donnée jugée négligeable suite à une première collecte de données
	Consommation de ressources par les autres services (chariot élévateur, chauffage, entretien, etc.)		Masse de matériaux utilisés transformée en milli-personne-ressource (mPR)	Masse de matériaux utilisés transformée en milli-personne-ressource (mPR)	Donnée jugée négligeable suite à une première collecte de données
	Émissions liées à la production	% d'opérations polluantes	Évaluation des émissions (solides, liquides, gazeuses)	Quantification des émissions solides et évaluations des émissions (liquides et gazeuses) basées sur le risque.	Quantification des émissions (solides, liquides, gazeuses)
Distribution	Distances à parcourir		Jugement sur l'optimisation des distances de transport	Estimation de la distance parcourue	Estimation et en partie spécifique
	Mode de transport		Jugement sur l'optimisation des transports	Choisi parmi les trois types de transports considéré par la méthode (bateau, train, camion)	Type de transport connu - Choisis parmi les processus disponibles dans les bases de données d'ACV
Utilisation	Distances à parcourir		N'est pas nommé formellement dans la grille de pointage	Estimation de la distance parcourue	Estimation de la distance parcourues par les consommateurs.

Type de données (adapté au cas de la serviette sanitaire)		Est-ce des données requises par cette méthode?			
		ATEP	ERPA	MECO	ACV réalisée dans le cadre de l'étude de cas
	Mode de transport		N'est pas nommé formellement dans la grille de pointage	Choisi parmi les trois types de transports considéré par la méthode (bateau, train, camion)	Choisis parmi les processus disponibles dans les bases de données d'ACV
Fin de vie	Traitement en fin de vie	Recyclable, réutilisable?	Recyclable, démontable, réutilisable?	Incinération ou réutilisation/ recyclage seulement	Statistiques utilisées pour estimé les types de traitements probables
	Distances à parcourir		N'est pas nommé formellement dans la grille de pointage	Estimation de la distance parcourue	Estimation de la distance parcourue
	Mode de transport		N'est pas nommé formellement dans la grille de pointage	Choisi parmi les trois types de transports considéré par la méthode (bateau, train, camion)	Choisis parmi les processus disponibles dans les bases de données d'ACV

Légende :

	Données qualitatives
	Données quantitatives (génériques ou estimations)
	Données quantitatives spécifiques

	Aucune donnée nécessaire
***	Non spécifié par la méthode, dépend des frontières du système établis par l'analyste)