

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

INTÉGRATION DE L'ANALYSE DU CYCLE DE VIE
DANS UNE APPROCHE DE QUANTIFICATION CORPORATIVE DES
ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE

SOPHIE FALLAHA
DÉPARTEMENT DE GÉNIE CHIMIQUE
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

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

SEPTEMBRE 2009

© Sophie Fallaha, 2009.

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

INTÉGRATION DE L'ANALYSE DU CYCLE DE VIE
DANS UNE APPROCHE DE QUANTIFICATION CORPORATIVE DES
ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE

présenté par : FALLAHA Sophie

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

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

Mme MILLETTE Louise, Ph.D., présidente

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

Mme DESCHÊNES Louise, Ph.D., membre et codirectrice de recherche

M. LESAGE Pascal, Ph.D., membre

DÉDICACE

*À Véronique, Michel, Isabelle et Catherine,
Pour votre patience et votre soutien*

*À Yves,
Pour chacun de nos pas, passés et à venir*

*À tous mes amis d'ici et d'ailleurs,
Parce que la distance n'est qu'une notion purement géographique*

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier mon directeur de recherche, Pr Réjean Samson, ma co-directrice de recherche, Pre Louise Deschênes, ainsi que mes superviseurs à la recherche, Mme Valérie Bécaert et Pr Manuele Margni, pour leurs valeureux conseils tout au long de mon projet.

Également, un merci tout spécial à Geneviève Martineau pour sa merveilleuse disponibilité, son soutien, son enseignement technique et ses précieux conseils.

Je tiens aussi à remercier les partenaires de la Chaire internationale en analyse du cycle de vie pour leur soutien financier : ArcelorMittal, Bell Canada, Cascades, Éco Entreprises Québec et Recyc-Québec, Groupe EDF et GDF-SUEZ, Hydro-Québec, Johnson&Johnson, Mouvement des caisses Desjardins, RONA, SAQ, Total et Veolia Environnement.

Plus particulièrement, mes remerciements vont à Mme Emmanuelle Aoustin et Mme Laurence Hamon de Veolia Environnement pour avoir proposé ce projet, fourni de précieuses données et participé aux discussions.

Également, je remercie tous les membres de la fabuleuse équipe du CIRAIQ pour leur dynamisme, leurs lumières et leur écoute.

RÉSUMÉ

Un nombre important de méthodologies pour comptabiliser les émissions de gaz à effet de serre a suivi la mise en application d'outils de lutte contre le changement climatique proposés par le protocole de Kyoto, dont les marchés d'échange des émissions. Les méthodologies de comptabilisation des émissions GES font face à un enjeu important: quantifier, inventorier et déclarer les émissions GES d'une organisation.

Ce projet de maîtrise étudie l'utilisation de l'analyse du cycle de vie pour bonifier la méthodologie de quantification corporative des émissions de gaz à effet de serre. Il est articulé autour de l'hypothèse de recherche suivante : la compatibilité de l'analyse du cycle de vie quant à la quantification corporative des émissions de gaz à effet de serre permet de l'intégrer et de la bonifier grâce à une meilleure connaissance de la chaîne logistique ainsi qu'une approche multicritère de l'évaluation des impacts environnementaux.

L'hypothèse de recherche se décline sur deux objectifs de projets. En premier lieu, il s'agit de vérifier la compatibilité des éléments méthodologiques des deux approches et la possibilité théorique d'intégrer l'ACV dans la quantification des GES. Dans ce but, les deux méthodologies sont comparées de façon systématique. Par la suite, une approche conceptuelle de leur intégration est développée. En second lieu, il s'agit de vérifier la possibilité pratique de cette intégration. Pour ce faire, des bilans GES et une ACV sont réalisés sur des opérations de « Veolia Propreté ». Une comparaison systématique des résultats permet de vérifier trois critères de validation et entériner ainsi l'approche conceptuelle.

Tout d'abord, la comparaison systématique des deux méthodologies identifie trois éléments méthodologiques clé qui permettent leur compatibilité : les frontières de système, l'évaluation des impacts et l'horizon temporel. En regard de ceux-ci, l'approche conceptuelle développe une représentation de l'adéquation des deux méthodologies selon trois axes :

- *Chaîne logistique* : selon cet axe, celui du cycle de vie de l'organisation, l'ACV est déstructurée à la manière de la comptabilisation GES. Ceci rend compatibles les frontières de systèmes des deux méthodologies.
- *Évaluation des impacts* : la compatibilité des méthodologies vient du fait que l'évaluation de l'impact sur le changement climatique est déjà incluse dans l'ACV. Qui plus est, cette dernière élargit l'éventail des impacts environnementaux considérés, de par son approche multicritères.
- *Horizon temporel* : les deux méthodologies sont compatibles grâce à une unité fonctionnelle de l'ACV fixée par rapport aux opérations annuelles de l'organisation à l'étude.

Ensuite, les résultats de l'étude de cas valident cette approche conceptuelle. La comparaison systématique des résultats de bilan GES et d'ACV mène à plusieurs conclusions intéressantes.

La première est que, lorsque comparés par rapport aux mêmes frontières, les résultats de bilans GES et d'ACV sont similaires quant à leur impact sur le changement climatique. Ce constat agit à titre de pivot entre les deux méthodologies puisqu'il montre la compatibilité des facteurs d'émission et des banques de données génériques ACV pour l'inventaire de substances contribuant au changement climatique.

De plus, les émissions indirectes, autres que celles liées à la production d'électricité achetée, sont non-négligeables. Ceci a été montré pour le cas spécifique d'une organisation dont les activités opérationnelles touchent la gestion des matières résiduelles. Ce constat est vrai tant pour le changement climatique que pour une évaluation étendue des impacts potentiels.

Finalement, l'évaluation étendue des impacts identifie deux cas de figures pour lesquels le seul bilan GES ne cible pas l'activité contribuant principalement à un autre indicateur d'impacts. De fait, une activité fortement contributrice au changement climatique apparaît négligeable à d'autres catégories d'impacts et, à l'opposé, une activité

faiblement contributrice au changement climatique domine une autre catégorie d'impacts.

L'approche conceptuelle proposée possède toutefois des limites. Elle ne traite pas des sujets des impacts environnementaux évités issus d'activités telles le recyclage ou la valorisation. Elle n'apporte pas non plus de solution au risque de chevauchement des inventaires des chaînes logistiques inhérent à la comptabilisation du *scope 3*.

Malgré cela et en regard des résultats, les deux objectifs du projet de recherche ont été atteints. L'hypothèse de recherche est donc vérifiée. Grâce à leur compatibilité, l'ACV peut s'intégrer à la quantification corporative des GES. Elle la bonifie par une meilleure connaissance de la chaîne logistique et une approche multicritère de l'évaluation des impacts environnementaux

ABSTRACT

With the implementation of Kyoto Protocol and the carbon market, greenhouse gas accounting became high on the agenda of environmental management. Corporate greenhouse gas accounting hence faces a great challenge: quantify, account and report for corporate greenhouse gas emissions.

This M.Sc.A. research project focuses on the use of life cycle assessment in order to improve corporate greenhouse gas accounting methodology. Hence, the research hypothesis of this project is as follow:

Being compatible one to the other, life cycle assessment can be incorporated to greenhouse gas accounting. The latter is thus improved through a better understanding of the logistic chain and a multicriteria approach of the evaluation of environmental impacts.

This research hypothesis aims to attain two objectives. The first objective is to verify the compatibility of various components of both methodologies and the theoretical possibility to combine them. In order to do so, they are consistently compared. A conceptual approach of their integration is then developed. The second objective of the project is to verify the practical possibility of that integration. In order to do so, a case study is performed on “Veolia Propreté” operations. Greenhouse gas accounting and life cycle assessment are both performed. Their respective results are consistently compared over three validation criterias, thus confirming the conceptual approach.

The systematic comparison of greenhouse gas accounting and life cycle assessment methodologies identifies three methodological components which enable their compatibility: system boundaries, impact assessment and temporal aspect. The conceptual approach represents the combination of both methodologies with regards to these three items. Therefore, it proposes to consider three axes:

- *Logistic chain* : life cycle assessment product system is de-aggregated with regards of the organization logistic chain. The latter represents its life cycle. This

reorganization of life cycle assessment's product system is in adequacy to GHG accounting methodology which categorizes the emissions into three *scopes* of accounting. The system boundaries of both systems are thus compatible one to another.

- *Impact assessment* : the compatibility of both methodologies comes from the fact that climate change impact assessment of greenhouse gas accounting is already included in life cycle assessment. As a matter of fact, it broadens the impact assessment through a multicriteria approach to environmental impact evaluation.
- *Temporal aspect* : both methodologies are compatible by the means of life cycle assessment's functional unit. As a matter of fact, it is set to the annual operations of the organization.

Results from our case study are then used to validate this approach. The systematic comparison of the results from greenhouse gas accounting and life cycle assessment brings several interesting conclusions.

First of all, climate change results from both methodologies are similar when compared over the same boundaries. This observation is the core of the comparison of the methodologies. In fact, it shows the compatibility of emission factors (used in greenhouse gas accounting) and generic database used in life cycle assessment. Both are used to establish the inventory of emissions contributing to climate change.

Secondly, extending accounting boundaries to include indirect emission (apart from those related to the production of electricity) leads to the conclusion that, in the case of a waste management organization, they are not negligible. Including them would provide a more complete picture of the impact on climate change. This was demonstrated for the specific case of a waste management organization. This observation applies to climate change as well as a widened impact assessment.

Finally, the sole analysis of climate change impact does not yield the organization's overall environmental footprint. In fact, there are two possible scenarios for which the

sole greenhouse gas accounting is not able to identify the organization's activity mainly contributing to another impact category: 1) a major climate change contributor appears negligible to another impact category 2) a minor climate change contributor is mainly contributing to another impact category.

The conceptual approach has its limitations. It does not address for environmental credit issues such as recycling or conversion issues. Besides, it does not bring a solution to counter the risk of supply chain overlapping associated to indirect emissions accounting.

However, taking in account the results, the two objectives of the project are reached. The research hypothesis is then validated: thanks to their compatibility, life cycle assessment can be integrated to greenhouse gas accounting. The latter is reinforced through a better understanding of the supply chain and a multicriteria approach of impact evaluation.

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE	<hr/>	iii
REMERCIEMENTS	<hr/>	iv
RÉSUMÉ	<hr/>	v
ABSTRACT	<hr/>	viii
LISTE DES TABLEAUX	<hr/>	xiv
LISTE DES FIGURES	<hr/>	xv
LISTE DES ANNEXES	<hr/>	xvii
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	<hr/>	xviii
GLOSSAIRE	<hr/>	xx
1 CHAPITRE 1 – INTRODUCTION	<hr/>	1
2 CHAPITRE 2 – REVUE DE LA LITTÉRATURE	<hr/>	3
2.1 Comptabilisation des GES	<hr/>	3
2.1.1 Définition	<hr/>	5
2.1.2 Les marchés d'échange des émissions en tant que contexte de la comptabilisation corporative des GES	<hr/>	6
2.1.3 Problématiques	<hr/>	7
2.1.3.1 Établissement des frontières	<hr/>	8
2.1.3.2 Indicateur unique	<hr/>	11
2.1.3.3 Multiplicité des définitions	<hr/>	12
2.1.4 Problématiques de la comptabilisation GES vis-à-vis de son contexte	<hr/>	13
2.2 ACV	<hr/>	15
2.2.1 Définition des objectifs et du champ de l'étude :	<hr/>	16
2.2.2 Analyse de l'inventaire du cycle de vie (ICV)	<hr/>	17
2.2.3 Évaluation des impacts du cycle de vie (ACVI)	<hr/>	18
2.2.4 Interprétation	<hr/>	21

2.3	La comptabilisation GES vis-à-vis de l'ACV	21
3	CHAPITRE 3 – HYPOTHÈSE ET OBJECTIFS	25
3.1	Hypothèse de recherche	25
3.2	Objectifs de recherche	26
3.3	Démarche et organisation de la recherche	27
4	CHAPITRE 4 : MÉTHODOLOGIE	28
4.1	Vérification théorique de la compatibilité de l'ACV à la quantification corporative des GES : comparaison des méthodologies et développement de l'approche conceptuelle	28
4.1.1	Quantification des émissions des gaz à effet de serre (Q-GES)	29
4.1.2	Représentation 3-D de l'ACV	30
4.1.3	La comptabilisation GES en tant que discrétisation de l'ACV 3-D	31
4.1.3.1	Chaîne logistique	33
4.1.3.2	Évaluation des impacts	33
4.1.3.3	Horizon temporel	34
4.2	Vérification pratique de l'intégration de l'ACV dans la quantification corporative des GES	35
4.2.1	Spécificités méthodologiques de l'étude de cas	36
4.2.1.1	Chaîne logistique	36
4.2.1.2	Analyse d'impacts	44
4.2.1.3	Horizon temporel	45
4.3	Critères de validation	47
5	CHAPITRE 5 : Élargir la quantification GES grâce à l'ACV – Étude de cas sur une organisation de gestion des matières résiduelles	50
5.1	Présentation de l'article	50
5.2	Broadening GHG Accounting with LCA : Application to a Waste Management Business Unit	51

5.2.1	Abstract	51
5.2.2	Introduction	52
5.2.3	Methodology	53
5.2.3.1	GHG accounting	53
5.2.3.2	LCA	54
5.2.4	Results and discussion	56
5.2.4.1	Comparison of key methodological components	56
5.2.4.2	Comparison of climate change impact assessments	57
5.2.4.3	Consideration of others impact categories	63
5.2.5	Conclusion and recommendations	66
6	CHAPITRE 6 : Résultats complémentaires	68
7	CHAPITRE 7 : Discussion générale	69
7.1	Validation et applicabilité à d'autres domaines	70
7.1.1	Validation	70
7.2	Avantages et limites	72
7.2.1	Avantages	72
7.2.1.1	Chaîne logistique	72
7.2.1.2	Évaluation des impacts	73
7.2.1.3	Horizon temporel	73
7.2.2	Limites	77
7.2.2.1	Chaîne logistique	77
7.2.2.2	Évaluation des impacts	79
7.2.2.3	Horizon temporel	80
7.3	Applicabilité à d'autres domaines	81
8	Conclusions et recommandations	85
9	Références	90
	Annexes – CONFIDENTIELLES	97

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2-1 : Résumé de méthodologies de comptabilisation des émissions _____	4
Tableau 2-2 : Catégories d'impact environnementaux et indicateurs d'impacts associés (adapté de Udo de Haes et al., 2002) _____	19
Tableau 2-3 : Comparaison des méthodologies ACV et de quantification GES (adapté de Braunschweig, 2008) _____	21
Tableau 2-4 : Défis méthodologiques associés aux étapes de l'ACV (Reap et al., 2008a) _____	24
Tableau 3-1 : Organisation de la recherche _____	27
Tableau 4-1 : Potentiel de réchauffement global sur 100 ans inclus dans le quatrième rapport du GIEC sur les changements climatiques _____	44
Tableau 4-2 : Critères de validation de l'approche conceptuelle _____	47
Tableau 5-1 : Comparison of methodological components of GHG accounting and LCA _____	56
Tableau 5-2 : Comparison of GHG accounting (GHG-a) and LCA climate change results over scope 1 and 2 boundaries _____	57
Tableau 7-1 : Validation de l'approche conceptuelle _____	70
Tableau 7-2 : Avantages et inconvénients des ACV de processus et Input/Output ____	78

LISTE DES FIGURES

Figure 2-1 : Échange d'UAE entre entreprises (adapté de Kim, 2009)	6
Figure 2-2 : Empreinte carbone au confluent de deux disciplines. (Christensen, 2008)	13
Figure 2-3 : Étapes du cycle de vie d'un produit, d'un procédé ou d'un service	15
Figure 2-4 : Phases d'une ACV.	16
Figure 2-5 : Étapes de l'évaluation des impacts du cycle de vie (ISO 14040, 2006)	18
Figure 4-1 : Comptabilisation GES en tant que discrétisation annuelle d'une représentation 3-D de l'ACV, qui se limite au changement climatique	32
Figure 4-2 : Frontières détaillées du système des opérations de VP, avec répartition des cadres d'analyse.	38
Figure 4-3 : Dé-agrégation des processus ACV	41
Figure 5-1 : LCA's system boundaries for a waste management organization, categorized according to GHG accounting scope definitions.	55
Figure 5-2 : Substances' contributions to climate change – Comparison of GHG accounting (GHG-a) results relative to LCA results – cumulative results for scope 1 and 2	59
Figure 5-3 : Contribution to climate change of the three scopes for each activity category	61
Figure 5-4 : Contribution of activities to midpoint impact categories for each scope.	64
Figure 5-5 : Contributions of the three scopes – all activities.	65

Figure 7-1 : Discrétisation annuelle d'un inventaire ACV. _____ 75

Figure 7-2 : Applicabilité de l'approche conceptuelle à une organisation produisant
des biens. _____ 83

LISTE DES ANNEXES

Confidentielles – Document à part

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

ACV	Analyse du cycle de vie
ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (France)
ADM	Activités administratives
ACVI	Évaluation de l'impact du cycle de vie
AR4	<i>Fourth Assessment Report</i>
B GES	Bilan GES
BSI	<i>British Standard Institution</i>
C&C	<i>Collection and cleaning</i>
CE	Communauté européenne
CET	Centre d'enfouissement technique
CFC	Chlorofluorocarbures
CH ₄	Méthane
CIRAIG	Centre interuniversitaire de recherche sur le cycle de vie des produits, procédés et services
C&N	Collecte et nettoyage
CO ₂	Dioxyde de carbone
COV	Composés organiques volatils
CSD	Centre de stockage des déchets
DD	Déchets dangereux
DND	Déchets non-dangereux
ÉCV	Électricité, chaleur, vapeur
EMS	<i>Environmental management system</i>
EpE	Entreprises pour l'Environnement
FÉ	Facteur d'émissions
GES	Gaz à effet de serre
GHG	<i>Greenhouse gas</i>
GHG-a	<i>Greenhouse gas accounting</i>
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (IPCC en anglais)
GWP	<i>Global warming potential</i>
HFC	Hydrofluorocarbures

ICV	Inventaire du cycle de vie
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IPCC	<i>Intergovernmental panel on climate change</i> (GIEC en français)
ISO	Organisation internationale de normalisation
LAN	Enfouissement (<i>Landfilling pour les sections en anglais</i>)
LCA	<i>Life cycle assessment</i>
LCIA	<i>Life cycle inventory analysis</i>
LCT	<i>Life cycle thinking</i>
MDP	Mécanisme de développement propre
N ₂ O	Oxyde nitreux
NO _x	Oxydes d'azotes
PAS	<i>Publicly Available Specification</i>
PCT	Traitement physico-chimique (<i>Physico-chemical treatment pour les sections en anglais</i>)
PFC	Perfluorocarbures
PRG	Pouvoir de réchauffement global
REC	Réduction d'émissions certifiées
RG ₁₀₀	Réchauffement global sur 100 ans
SETAC	<i>Society of Environmental Toxicology and Chemistry</i>
SF ₆	Hexafluorure de soufre
S&T	<i>Sorting and Transferring</i>
T&T	Tri et transfert
UAE	Unité d'allocation européenne
VP	Veolia Propreté
WBCSD	<i>World Business Council for Sustainable Development</i>
WRI	<i>World Resources Institute</i>

GLOSSAIRE

ACV attributionnelle	Définition adapté de : attribution « Action d'affecter un (...) coût (...) à une activité, une opération, (...) en fonction d'un critère d'attribution déterminé. » (TERMIUM Plus ®, 2009). L'ACV attributionnelle affecte un coût environnemental à un produit ou un service en fonction d'un système de produits.
Chaîne logistique	Ensemble des processus nécessaires pour fournir des produits ou des services (TERMIUM Plus ®, 2009).
Discrétisation	Étape de résolution des équations différentielles et des dérivées partielles qui consiste à remplacer des relations portant sur des fonctions continues ou dérivables, par un nombre fini de relations algébriques portant sur les valeurs prises par ces fonctions en un nombre fini de points de leur ensemble de définition (TERMIUM Plus®, 2009).
Dynamisme de l'inventaire	Adapté de « Branche de la mécanique qui étudie le mouvement des corps, s'oppose à la statique » (TERMIUM Plus ®, 2009). L'inventaire est fonction du temps au contraire de statique.
Organisation	Entreprise, compagnie ou tout autre type d'entité organisationnelle (WRI et WBCSD, 2006).
Scope	Périmètre de comptabilisation (WRI et WBCSD, 2006).

1 CHAPITRE 1 – INTRODUCTION

Les défis actuels de la gestion environnementale d'entreprise se conjuguent aujourd'hui au son des derniers termes à la mode tels, « empreinte carbone », « comptabilisation GES », « compensation des émissions », etc. C'est une nouvelle réalité, la gestion du changement climatique est une préoccupation internationale. Cette nouvelle approche fait écho à un changement de société, une société maintenant sensibilisée aux changements climatiques, une société ayant perdu un droit acquis depuis des générations (Antes *et al.*, 2006) : le droit à l'émission gratuite du dioxyde de carbone (CO₂) et de ses congénères gaz à effet de serre (GES).

En effet, cette perte de gratuité de l'émission des GES découle de la mise en application concrète des systèmes d'échange de crédits d'émission prônés par le Protocole de Kyoto comme outil d'atteinte au développement durable (UNFCCC, 1997). Des marchés d'échange se créent petit à petit entre entreprises dépassant leurs quotas d'émission de GES et d'autres émettant en deçà des leurs.

Face à ce contexte, les gouvernements et entreprises se sont engagés dans diverses démarches de quantification et comptabilisation de leurs émissions. La majorité de ces méthodes se limitent bien souvent aux seuls GES et plus précisément aux seules émissions directes de GES. Ce faisant, elles adoptent une vision unidimensionnelle de l'impact environnemental corporatif : un indicateur environnemental unique, le changement climatique, qui ne s'intéresse qu'aux seules activités directes de l'entreprise.

Une question se pose donc : à ne se préoccuper que d'une seule problématique environnementale, l'impact environnemental de l'entreprise est-il adéquatement cerné? Cette perspective restreinte permet-elle à l'entreprise de faire des choix judicieux et éclairés de gestion environnementale?

Face à cette vision unidimensionnelle de l'étude de l'impact environnemental, l'analyse du cycle de vie (ACV) se présente comme une évaluation plus holistique. En effet, de

par sa définition même, l'ACV analyse un produit ou un service de manière à ne pas limiter son étude à une seule phase du cycle de vie ou aux seules émissions de GES. Elle inclut dans son analyse d'autres types d'impacts dont la destruction de la couche d'ozone, la formation de smog, l'acidification, etc. Cette étude se faisant sur tout le cycle de vie du produit ou du service permet en outre d'observer si une amélioration locale se traduit par un déplacement d'impacts d'un endroit à un autre.

Toutefois, de par sa nature exhaustive, l'ACV est souvent critiquée quant à sa difficulté d'application en entreprise (Udo de Haes *et al.*, 2004) : étant donné le caractère récurrent des démarches de quantification des GES, il s'agit donc de trouver le meilleur compromis entre simplicité d'application et détail d'analyse afin de garantir une meilleure possibilité d'utilisation concrète.

Ce mémoire s'attaque donc à une problématique d'actualité :

Problématique :

L'analyse de cycle de vie permettrait-elle de bonifier la quantification corporative de gaz à effet de serre (GES) et ainsi mieux cerner l'impact environnemental de l'entreprise ?

Les quelques lignes qui suivent en décrivent brièvement la structure. Le chapitre 2, dédié à la synthèse de la littérature, amène au chapitre 3. Ce dernier établit l'hypothèse de recherche qui se décline en deux objectifs de projet. Pour les atteindre, une méthodologie est définie au chapitre 4. Par la suite, le chapitre 5 présente le résultat principal, soit l'article. Ce dernier, enrichi d'un chapitre de résultats complémentaires (chapitre 6), mène à une discussion générale (chapitre 7). Cette dernière permet d'élargir le champ de l'analyse et ouvre vers les conclusions et recommandations présentés au chapitre 8.

2 CHAPITRE 2 – REVUE DE LA LITTÉRATURE

Pour mieux comprendre les différents aspects de la problématique énoncée au chapitre 1, la revue de la littérature se subdivise en deux sections principales, la première s'intéressant à la démarche de comptabilisation des GES et la seconde à l'ACV. Ces deux démarches seront définies et leurs problématiques respectives soulignées.

2.1 Comptabilisation des GES

Plusieurs méthodologies, normes et lignes directrices encadrent la comptabilisation des GES. Elles peuvent être orientées vers :

- la comptabilisation corporative des émissions GES :
Évaluer les performances environnementales d'une entreprise, en faire le suivi au fil des années et mesurer les impacts des actions mises en œuvre. Ce processus peut se faire dans une optique seulement orientée vers les changements climatiques ou non. L'intégration de l'ACV permet d'étendre le spectre des impacts évalués ;
- la comptabilisation de projet de réduction des émissions :
Évaluer les diminutions d'émissions de GES issues d'un projet de réduction des GES. L'entreprise entreprend cette démarche dans le but d'obtenir des crédits d'émissions ;
- la comptabilisation des émissions GES associées à un produit :
Cette démarche correspond à établir l'empreinte écologique d'un produit ou son bilan carbone.

Le Tableau 2-1 résume quelques unes des principales méthodologies.

Tableau 2-1 : Résumé de méthodologies de comptabilisation des émissions

Auteur	Nom	Type de comptabilisation		
		Corporative	Projet	Produit
WBCSD & WRI	GHG Corporate Protocol (WBCSD et WRI, 2006)	✓		
	GHG Project Protocol (WBCSD et WRI, 2006)		✓	
ISO	Série ISO 14 064	✓	✓	
	Série ISO 14 040	✓	✓	✓
ADEME & Mission Interministérielle de l'effet de serre	Bilan Carbone (ADEME, 2007)	✓	✓	
	Bilan Produit			✓
BSI Standard Group pour le compte de Carbon Trust et le Defra	<i>PAS 2050</i> (BSI British Standard, 2008)			✓

Les **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** de l'**Erreur ! Source du renvoi introuvable.** résument les principales différences existant entre certains éléments méthodologiques de chacune d'elles.

Ce projet s'intéresse en particuliers aux méthodologies corporatives de comptabilisation des émissions GES.

Par souci de cohérence, les processus de quantification de différents paliers (soit corporatif ou de projet) devraient pouvoir s'imbriquer parfaitement les uns dans les autres afin d'éviter tout chevauchement dans la comptabilisation. Le présent mémoire se concentre sur une démarche dite « corporative ».

2.1.1 Définition

La comptabilisation corporative des GES vise à quantifier, inventorier et déclarer les émissions GES d'une organisation¹ (WBCSD et WRI, 2006). Cinq principes l'encadrent : la pertinence, la complétude, la cohérence, la transparence et l'exactitude.

- Pertinence : l'inventaire doit refléter adéquatement les émissions GES de la compagnie, et ce, dans un objectif de prise de décision des utilisateurs, tant interne qu'externe à l'organisation.
- Complétude : la démarche comptabilise et consolide les sources d'émission GES au sein des frontières de l'inventaire. Toute exclusion doit être énoncée et justifiée.
- Cohérence : la démarche doit utiliser des méthodologies cohérentes pour permettre un suivi valide des émissions dans le temps. Tout changement dans la démarche d'inventaire doit être adéquatement documenté de façon transparente.
- Transparence : la comptabilisation doit traiter de tous les éléments méthodologiques de façon factuelle, cohérente, selon un suivi adéquat. Elle doit en outre préciser toutes les hypothèses et références pertinentes, ainsi que les méthodologies de calculs et les sources de données.
- Exactitude : la démarche doit s'assurer d'une comptabilisation représentative des émissions. Elle ne doit donc être ni supérieure ni inférieure aux émissions effectives, autant que faire se peut et dans les limites de la praticabilité.

Cette démarche a pour objectif d'améliorer la gestion corporative des émissions et éventuellement de contribuer à leur réduction (WBCSD et WRI, 2006). Dans un contexte national de déclaration des émissions tel que proposé par le Protocole de Kyoto (UNFCCC, 1997), elle constitue un pré-requis à l'attribution des UAE (Unité d'Allocation Européenne) que les organisations s'échangent sur les marchés, dans ce cas précis : le marché d'échange européen. Ces UAE sont émises en fonction des performances

¹ Tout au long du présent mémoire, l'utilisation du terme "organisation" remplace les termes tels entreprise, compagnie ou tout autre type d'entité organisationnelle.

imposées par les pouvoirs publics. La Figure 2-1 illustre les échanges d'UAE entre les organisations :

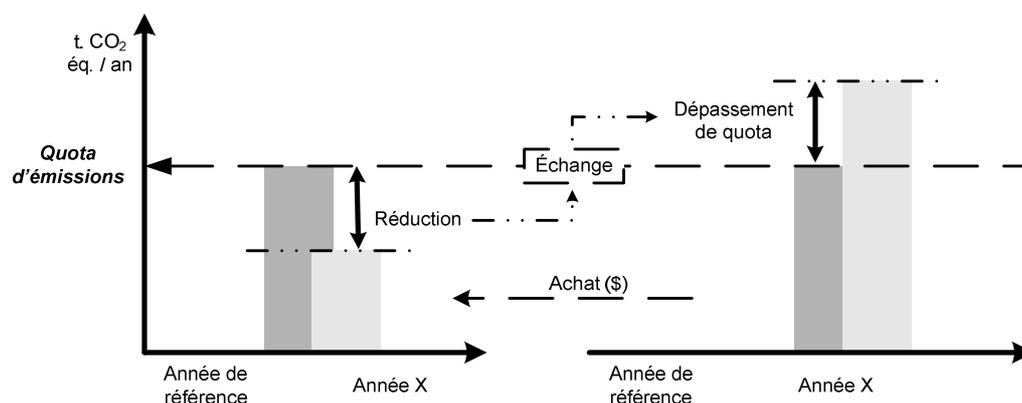


Figure 2-1 : Échange d'UAE entre entreprises (adapté de Kim, 2009)

Il est à noter que la comptabilisation corporative des GES se distingue d'une comptabilisation engagée lors de « projets de réduction des émissions GES ». En effet, ces derniers réfèrent à une démarche visant l'obtention de REC (Réduction Certifiée d'Émission) et font l'objet d'une comptabilisation séparée de l'inventaire corporatif annuel (WBCSD et WRI, 2006).

Le développement des méthodologies de comptabilisation GES s'inscrit donc dans une démarche corporative de gestion et réduction des émissions. Toutefois, elles sont aussi au cœur du contexte des marchés d'échange des émissions. Leurs faiblesses viendront alors remettre en cause leur utilité dans les systèmes de gestion environnementale de l'entreprise et également leur bien-fondé en tant qu'outil à la lutte contre les changements climatiques. La prochaine section explique en détail cette interrelation des domaines.

2.1.2 Les marchés d'échange des émissions en tant que contexte de la comptabilisation corporative des GES

Le contexte de la comptabilisation des émissions GES est intimement lié aux marchés d'échange : l'incitatif financier a catalysé l'émergence et la multiplication des

méthodologies de comptabilisation des émissions. Ce faisant, le quota d'émissions est devenu un élément de gestion stratégique de l'entreprise.

Ce processus, ayant vu le jour en janvier 2005 avec la mise en place effective du système d'échange européen, draine de larges courants d'affaires, et ce, malgré l'incertitude associée aux négociations internationales. Maintenant que la volatilité du crédit a diminué, le marché s'est stabilisé (Garrouste, 2008) et le courant ira en prenant de l'ampleur puisqu'une nouvelle phase d'émissions de quotas (l'après 2012) promet de générer une manne de 7 milliards d'euros : le marché a donc atteint une maturité lui conférant un rôle stratégique non négligeable pour les entreprises (Garrouste, 2008).

Pour mieux comprendre l'ampleur du caractère stratégique du quota d'émissions pour l'entreprise, il est intéressant d'en revenir à la simple question « Mais qu'est-ce qu'un quota? ». Un quota est une unité de compte représentative de l'émission d'une tonne de CO₂-éq. (PriceWaterhouseCoopers et Landwell, 2003). Juridiquement parlant, il est reconnu comme un bien meuble incorporel comme les autres et est assujéti à divers types de contrats (Touraine et Molson, 2008). Du point de vue économique, il a été reconnu comme fortement lié aux distorsions de marché et de concurrence interétatiques lorsque mal administré (Dagicour, 2007). Le quota, outil de gestion entrepreneuriale impari d'une valeur économique, est donc intimement lié à l'outil de gestion environnementale sous-tendant sa définition : la méthodologie de quantification des émissions GES.

La prochaine section présente les problématiques auxquelles font face les méthodologies de comptabilisation des GES.

2.1.3 Problématiques

La comptabilisation des GES fait face à plusieurs problématiques dont trois sont ici soulignées et expliquées : l'établissement des frontières, l'indicateur unique et la confusion des définitions quant aux substances à inventorier.

2.1.3.1 *Établissement des frontières*

La comptabilisation des GES établit deux types de frontières : les frontières organisationnelles et les frontières opérationnelles du système.

Frontières organisationnelles

Le concept de frontière organisationnelle peut être interprété comme l'endossement de la responsabilité de l'émission : il répond à la question « à qui attribuer l'émission d'une source, à qui créditer une réduction de l'émission? ». Ces frontières peuvent se définir selon une clé « de contrôle » ou de « partage au prorata des parts » (WBCSD et WRI, 2006).

Dans le cas de propriétés conjointes (« joint venture ») ou dans le cas de partenariats par exemple, les frontières organisationnelles permettent à l'organisation d'établir de façon claire quelles émissions lui sont attribuables et dans quelle proportion.

Frontières opérationnelles

Les frontières opérationnelles du système établissent quelles sources d'émissions seront comptabilisées. Les sources d'émissions sont choisies en fonction de leur catégorie (WBCSD et WRI, 2006).

Selon la structure proposée par le *GHG Protocol*, les émissions sont catégorisées selon différents périmètres ou *scopes* de comptabilisation. Le *scope 1* regroupe les émissions directement issues des installations de l'organisation à l'étude. Les *scopes 2* et *3* englobent les émissions ayant lieu « hors installations » mais étant induites par les activités de l'organisation : ce sont donc des émissions indirectes. Ainsi, les émissions de *scope 2* proviennent de la production de l'électricité², la chaleur ou la vapeur achetées par l'organisation. Les émissions de *scope 3* englobent, quant à elles, toutes les autres sources indirectes situées sur la chaîne logistique de l'organisation.

² Pour toute la suite de ce mémoire, le terme « électricité » servira d'abréviation à « électricité, chaleur ou vapeur ».

La communauté scientifique œuvre actuellement à définir des lignes directrices claires pour la comptabilisation des émissions indirectes de *scope 3* (WBCSD et WRI, 2008a) : quelles sources de la chaîne logistique est-il pertinent d'inclure dans l'inventaire et comment les y inclure (quel type de données est suffisamment acceptable).

Problématique de l'établissement des frontières organisationnelles et opérationnelles

La problématique principale des frontières est leur non-uniformité.

Tout d'abord, déjà en 2004, Brown et Leonard soulignaient que les lignes directes relatives à l'établissement des frontières n'étaient pas encore assez précises et uniformes en comptabilisation des GES. Cela alimentait les critiques quant à son manque de rigueur scientifique. Aujourd'hui encore, Matthews *et al.* (2008) notent que des précisions doivent toujours être apportées aux objectifs et à l'établissement des frontières de manière à assurer l'uniformisation de la comptabilisation des GES. Cerf (2009) insiste sur le fait que l'uniformisation des méthodes est nécessaire à la cohérence et à la rigueur de la discipline. Ceci est vrai tant pour les frontières organisationnelles qu'opérationnelles.

En premier lieu, tel que défini plus haut, les frontières organisationnelles s'établissent de deux façons : par contrôle ou par partage au prorata des parts. Or, donner plusieurs choix de clés de définition des frontières organisationnelles porte préjudice à la standardisation des diverses méthodologies de comptabilisation des GES. En effet, cela peut compliquer l'uniformisation de leur application chez les organisations multinationales (WBCSD et WRI, 2006). Par exemple, il ne serait pas logique que dans le cas de partenariat commercial, la clé de définition des frontières organisationnelles utilisée par la société mère soit le partage au prorata des parts alors que celle de ses filiales soit le contrôle (WBCSD et WRI, 2006). En effet, une même dénomination est essentielle pour assurer la cohérence de la consolidation à un niveau organisationnel supérieur (Lenzen, 2007; Wenzel *et al.*, 2007).

Spannagle (2003) note également un manque quant à l'uniformisation des lignes directrices de définition des frontières opérationnelles. S'il y a maintenant consensus

pour dire que les émissions directes (*scope 1*) et indirectes relatives à la génération de l'électricité achetée (*scope 2*) doivent être comptabilisées, les autres émissions indirectes (*scope 3*) ne sont pas aussi clairement encadrées. Il n'est donc pas clair jusqu'à quel point les sources d'émissions de la chaîne logistique de l'organisation doivent être incluses au bilan GES (WBCSD et WRI, 2008b). N'en demeure pas moins que ces émissions indirectes sont issues des activités de l'organisation. Même si ce n'est que de façon collatérale, elles lui sont donc imputables. Ne pas les comptabiliser revient donc à sous-estimer l'impact réel des activités de l'organisation (Matthews *et al.*, 2008).

Cela étant dit, un des objectifs de la comptabilisation GES est de constituer un outil de gestion corporative des émissions GES et de leur réduction. Or, si une organisation ne connaît pas de façon complète son empreinte carbone, elle ne sera pas à même de faire des choix éclairés de gestion environnementale. Il y a donc risque que ses stratégies de réduction des GES ne soient pas efficaces et entraînent au contraire en des déplacements de l'impact.

Également, rappelant le second objectif de la comptabilisation GES, Lieberman *et al.* (2007) insistent sur le fait qu'il est peu crédible de baser des politiques nationales et un marché du carbone se voulant transparents sur des méthodologies manquant de justesse et de précision dans l'établissement des frontières de comptabilisation. Cela ouvre en effet trop facilement la porte au risque de doubles comptages d'un côté et d'omissions de l'autre.

Günther (2006) insiste particulièrement sur le fait que le manque de cohérence dans l'établissement des frontières entraînera la création de zones individuelles de marché émergent au sein desquelles se forment des points chauds environnementaux issus de la concentration d'activités industrielles. Ce phénomène génère une incohérence du marché du carbone et des mécanismes flexibles promus par le protocole de Kyoto, puisqu'il traduit alors un déplacement des impacts.

Dans ce contexte, les travaux de développement de la comptabilisation des émissions indirectes de *scope 3* prennent donc toute leur importance et ramènent à l'incontournable question : « quel est l'objectif de la comptabilisation GES »?

2.1.3.2 *Indicateur unique*

En comptabilisation GES, l'impact de chacune des émissions est traduit en tonnes équivalentes de CO₂ par leurs potentiels de réchauffement global respectifs (PRG) : c'est donc un indicateur de l'impact sur le changement climatique uniquement.

L'indicateur unique présente l'avantage d'être une information simple à communiquer autant au public qu'au sein même de l'entreprise. Simple et accessible, l'indicateur unique se publicise mieux à l'extérieur des milieux scientifiques (Weidema *et al.*, 2008).

Mais, qu'en est-il donc de la représentativité des autres catégories d'impacts ? Jusqu'à un certain point, l'indicateur « changement climatique » est également corrélé à d'autres impacts environnementaux tels l'occupation des terres (Weidema *et al.*, 2008) ou les ressources (Huijbregts, 2008). À ce sujet, Huijbregts (2008) montre que le score unique de carburants fossiles est lié à leur impact sur les ressources.

Or, cette corrélation apparente pouvant être due à des artefacts des méthodologies d'évaluation des impacts (Huijbregts, 2008), il est impossible de parler de corrélation parfaite ni de l'étendre à un plus large éventail d'impacts (Jungbluth, 2009).

À trop vouloir simplifier l'information environnementale sous prétexte de faciliter sa communication, il y a risque de se retrouver avec un outil trompeur : il orientera vers des décisions de gestion environnementales causant des impacts dans d'autres catégories que celle du changement climatique.

2.1.3.3 Multiplicité des définitions

Une dernière problématique relative à la comptabilisation GES est présentée : la multiplicité de ses définitions.

Une précision doit tout d'abord être faite en ce qui concerne les substances incluses à l'inventaire. Certaines méthodologies de comptabilisation GES n'inventorient que les six GES ciblés par le protocole de Kyoto (dioxyde de carbone (CO₂), méthane (CH₄), oxyde nitreux (N₂O), hydrofluorocarbones (HFC), perfluorocarbones (PFC), hexafluorure de soufre (SF₆)). Or, d'une méthodologie à l'autre, l'inventaire peut être plus ou moins étendu (Voir **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** de l'**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Ainsi, les substances suivantes peuvent être comptabilisées :

- Six GES ciblés par le Protocole de Kyoto (CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC, SF₆) ;
- CO₂ seul ;
- Émissions des molécules carbonées
 - Exclusivement celles possédant un potentiel de réchauffement global
 - Possédant ou non un potentiel de réchauffement global
- Émissions de toutes les molécules possédant un potentiel de réchauffement global, carbonées ou non.

Il n'y a donc pas de règles fixes établissant l'étendue de l'inventaire.

A cela se rajoute une confusion avec l'expression « empreinte carbone » qui, dans les faits, inventorie plus que des molécules carbonées. Comptabilisation GES, empreinte carbone ou bilan carbone, Wiedmann et Minx (2007) identifient plusieurs expressions faisant référence à une méthodologie semblable. Considérant sa sur-utilisation au cours de la dernière décennie, l'expression « empreinte carbone » demeure en effet étonnamment vague puisqu'aucune définition scientifique unanimement acceptée n'a été établie.

La confusion est appuyée par le fait que les méthodologies d'empreinte carbone s'orientent actuellement vers une ouverture des frontières de la comptabilisation,

incluant l'analyse du cycle de vie. Selon Christensen (2008), l'empreinte carbone se retrouve donc, tel que schématisé à la figure suivante, au confluent des deux courants de pensée auxquels s'intéresse ce mémoire : la quantification GES et l'analyse du cycle de vie.

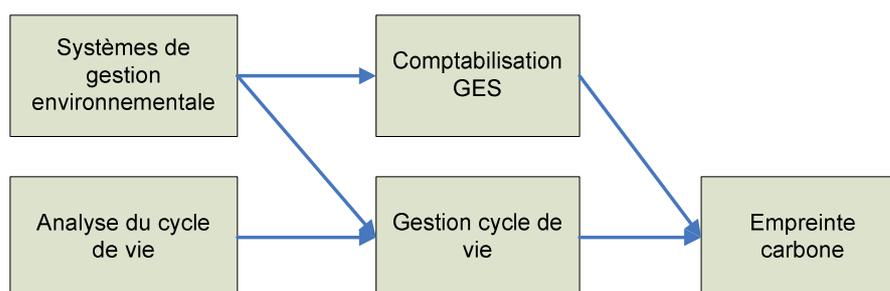


Figure 2-2 : Empreinte carbone au confluent de deux disciplines. (Christensen, 2008)

L'empreinte carbone, telle que représentée par Christensen (2008) agit à titre de catalyseur pour l'intégration de l'analyse du cycle de vie dans les outils de gestion corporative de l'environnement (Weidema *et al.*, 2008). Les lignes directrices d'une méthodologie reconnue et acceptée dans le monde scientifique se définissent de plus en plus. La publication de la *PAS 2050*, spécification publique britannique, est à noter comme contributrice à son développement. Quoique faisant encore l'objet de critique (Weidema, 2008), cette dernière cherche à évaluer les émissions GES des produits et services selon leur cycle de vie (BSI Standard Group, 2008).

2.1.4 Problématiques de la comptabilisation GES vis-à-vis de son contexte

Les trois problématiques de la comptabilisation GES, soulevées dans la revue de la littérature, représentent évidemment des failles en ce qui concerne leur rigueur scientifique. Elles remettent en cause ses cinq préceptes de base : pertinence, complétude, cohérence, transparence et exactitude. Or, ce n'est pas que sa cohérence scientifique qui est ici en jeu.

L'intérêt pour la comptabilisation des émissions GES est né de la conscientisation internationale concernant le changement climatique. Pour le combattre, cette même

société s'est donné des mesures d'action, proposées par le Protocole de Kyoto. Le marché d'échange des émissions en est un exemple. L'interrelation entre la comptabilisation des émissions GES, l'émission des quotas et le mécanisme de marché d'échange a été établie à la section 2.1.2. Or, si les cinq préceptes de la comptabilisation des GES présentés à la section 2.1.1 sont affaiblis de par les problématiques présentées tout le long du chapitre 2, la cohérence même du mécanisme de marché d'échange en est affectée.

Au terme d'une première période de rodage, la comptabilisation GES semble évoluer naturellement vers l'inclusion de la pensée cycle de vie. Les travaux de la *Supply Chain Initiative* du WRI et WBSCD et la *PAS 2050* le démontrent. De par sa définition, l'ACV laisse supposer qu'elle permettrait de faire face aux limites méthodologiques de la comptabilisation GES. La section 2.2 ci-dessous la présente.

2.2 ACV

Cette section présente la méthodologie ACV. L'accent est mis sur certains de ces éléments méthodologiques clés. Ils ont été choisis en regard des problématiques de la comptabilisation GES auxquelles il s'agit de faire face. Cette section ne pousse pas en profondeur tous les éléments méthodologiques puisqu'ils seront repris de façon plus détaillée dans l'approche méthodologique proposée au chapitre 4.

Joliet *et al.* (2005) définissent l'analyse du cycle de vie (ACV) comme suit :

« L'ACV évalue l'impact environnemental potentiel d'un produit, d'un service ou d'un système, en relation à une fonction particulière, et ceci, en considérant toutes les étapes de son cycle de vie. »

La méthodologie peut être qualifiée d'holistique puisqu'elle tient compte de l'extraction et du traitement des matières premières, des processus de fabrication, du transport et de la distribution, de l'utilisation et de la réutilisation du produit fini et finalement, du recyclage et de la gestion des déchets en fin de vie (Figure 2-3).

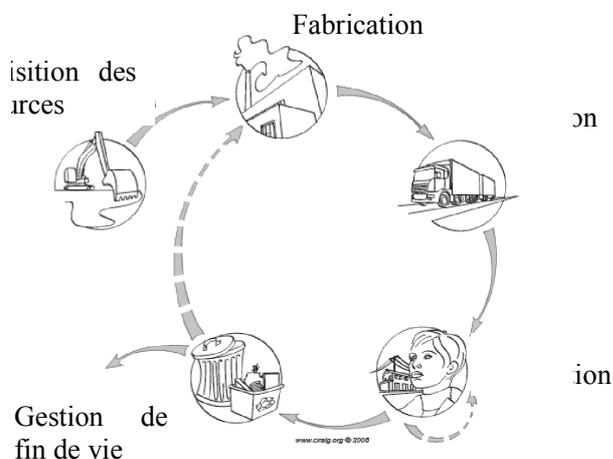


Figure 2-3 : Étapes du cycle de vie d'un produit, d'un procédé ou d'un service

Elle vise la réduction de l'impact des produits et des services sur l'environnement en générant une information environnementale qui permet une prise de décision éclairée et évitant des déplacements possibles de problèmes environnementaux. Ainsi, elle est à même d'identifier les « points chauds » environnementaux associés à un système et permet la comparaison de divers scénarios et systèmes.

Encadrée par la série de normes ISO 14 040, l'ACV est constituée de quatre étapes méthodologiques itératives et inter-reliées les unes les autres (Figure 2-4) :

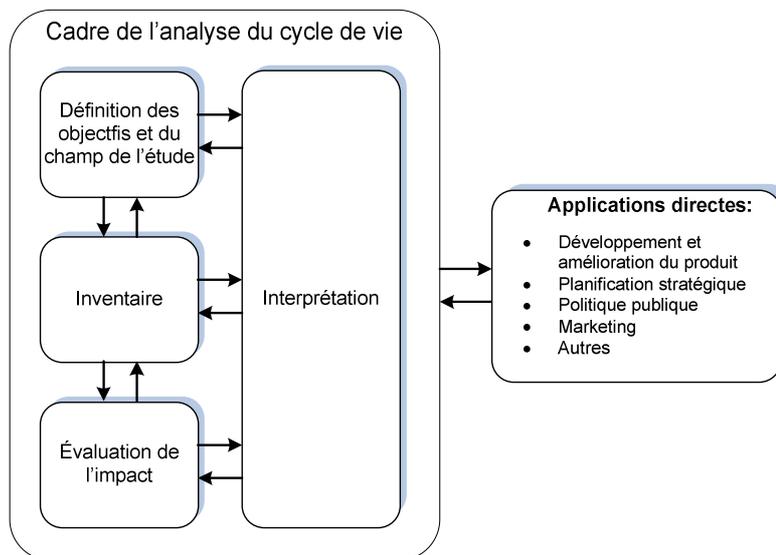


Figure 2-4 : Phases d'une ACV.
(ISO 14 044, 2006)

2.2.1 Définition des objectifs et du champ de l'étude :

Cette première étape pose les bases de l'étude ACV. Elle explicite le pourquoi, le pour qui et le comment de l'étude. Elle définit donc la problématique, le cadre méthodologique, son application et son public cible.

Tout d'abord, la *fonction* représente les caractéristiques et les performances du système à l'étude. Elle est quantifiée par l'*unité fonctionnelle*, constituant la base de toute l'analyse. De l'unité fonctionnelle découle les *flux de référence* : ils correspondent à la quantité du produit nécessaire à l'atteinte de la fonction. Il est à noter que c'est sur la base d'une même unité fonctionnelle que les performances de deux systèmes pourront être comparées. Dans ce cas, chacun des systèmes possèdera ses propre flux de référence, mais une seule unité fonctionnelle commune.

Le *système de produits* est le modèle qui représente le cycle de vie du produit ou du service à l'étude. Ses frontières regroupent tous les processus nécessaires pour remplir la

fonction d'étude. Ces *processus élémentaires* représentent une activité économique ou une opération. Au sein du système de produits, ils sont tous inter-reliés par des flux de produits ou des flux intermédiaires de produits, ici regroupés sous la dénomination de *flux économiques*. Les *flux élémentaires* relient les processus élémentaires à l'environnement.

Cette première étape de l'ACV met déjà en valeur deux de ses avantages principaux : son caractère de fonctionnalité et ses frontières d'analyse étendue.

En effet, l'ACV est à même de comparer différents systèmes ou différents scénarios : c'est la base d'une unité fonctionnelle commune qui permettra une comparaison cohérente de deux systèmes. Il faut évidemment que les frontières du système de produits soient comparables. Les frontières étendues du système représentent un second avantage de l'ACV puisqu'elles permettent une vision holistique.

2.2.2 Analyse de l'inventaire du cycle de vie (ICV)

Par des bilans de matières et énergie, l'analyse de l'inventaire du cycle de vie (ICV) met à l'échelle de l'unité fonctionnelle tous les processus élémentaires. Ce faisant, tous les flux économiques sont également mis à l'échelle de même que tous les flux élémentaires soutirés et émis dans l'environnement : ceux-ci dressent l'inventaire du cycle de vie.

Dans le cas de processus dits multifonctionnels (i.e. engendrant ou recevant plusieurs flux économiques), le fardeau environnemental doit être distribué entre les différents flux économiques. L'imputation permet d'allouer une fraction des flux élémentaires entrants et sortants à chacun d'eux. Chacun des flux économiques endosse alors une fraction de la responsabilité des flux élémentaires. Toutefois, l'imputation étant sujette à controverse (Reap *et al.*, 2008a), l'expansion des frontières du système ou la subdivision du processus multifonctionnel lui sont parfois préférées.

2.2.3 Évaluation des impacts du cycle de vie (ACVI)

L'évaluation des impacts du cycle de vie (ACVI) a pour but d'évaluer l'ampleur et l'importance des impacts environnementaux potentiels du système de produits et de ses flux élémentaires.

L'ACVI se subdivise en deux grandes catégories d'étapes : obligatoires et optionnelles (Figure 2-5).

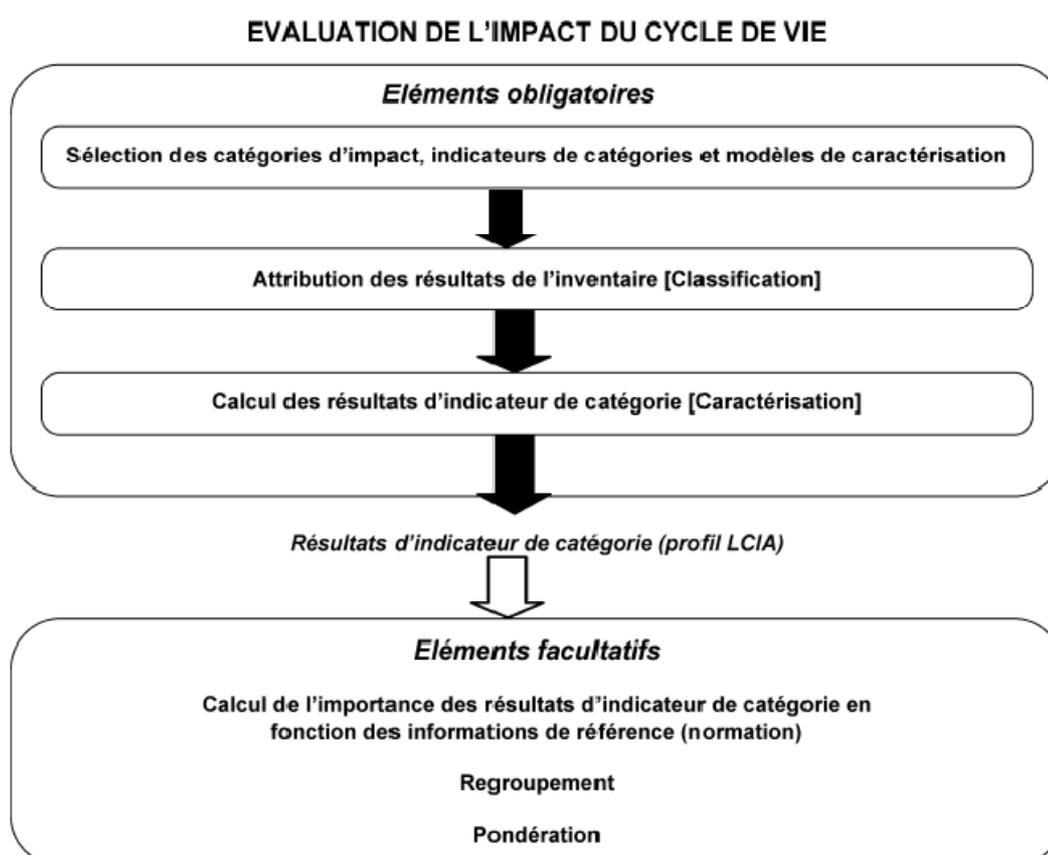


Figure 2-5 : Étapes de l'évaluation des impacts du cycle de vie (ISO 14040, 2006)

Les trois premières étapes sont obligatoires.

Ainsi, il s'agit tout d'abord de *sélectionner les catégories d'impacts qui seront à l'étude* (ISO14040, 2006). À chacune d'elles sera associé un indicateur de catégorie ainsi qu'un

modèle de caractérisation. Le tableau 2-2 suivant présente des exemples de catégories d'impacts ainsi que leurs indicateurs de catégories respectifs (ces derniers, associés au modèle de caractérisation, évaluant l'ampleur de l'impact pour chacune des catégories).

Tableau 2-2 : Catégories d'impact environnementaux et indicateurs d'impacts associés (adapté de Udo de Haes *et al.*, 2002)

Exemples de catégories d'impacts	Indicateur de catégorie
Réchauffement de la planète	Forçage radiatif moyen
Destruction de l'ozone stratosphérique	Diminution de la couche d'ozone
Ressources abiotiques	Diminution des ressources
Acidification	Libération de protons
Eutrophisation	Somme stœchiométrique des nutriments
Formation d'agent photo-oxydant (smog)	Formation d'ozone
Ressources biotiques	Diminution des ressources
Écotoxicité	Effets toxiques mesurables
Toxicité humaine	Effets toxiques mesurables
Utilisation des terres	Diversité des espèces

Il est important de noter que plusieurs modèles d'évaluation des impacts existent. Ainsi, les mêmes catégories d'impacts ne se retrouveront pas toutes d'un modèle à l'autre.

En second lieu, la *classification* détermine à quelle(s) catégorie(s) d'impacts contribuent chacun des flux élémentaires. En effet, un même flux élémentaire peut avoir un impact sur différentes catégories. C'est ainsi qu'est créée la chaîne cause/effet relative à chaque substance.

Puis, la *caractérisation* intermédiaire évalue la contribution de chacun des flux élémentaires à chacune des catégories d'impacts précédemment ciblées. Pour ce faire, elle utilise des facteurs de caractérisation qui évaluent l'impact des flux élémentaires sur chacun des indicateurs de catégories d'impacts. Les facteurs de caractérisation sont obtenus de la modélisation des mécanismes environnementaux. Cette dernière fournit donc le modèle de caractérisation.

La caractérisation peut se faire à plusieurs niveaux dépendamment d'où l'on se situe sur la chaîne cause/effet relative à une substance. Ainsi, un indicateur d'impacts en amont

sera associé à un impact dit « *problèmes* » (ex. : changement climatique, effets cancérogènes, acidification, diminution des ressources, etc.). Un indicateur d'impact en aval de la chaîne cause/effet sera quant à lui relié à un impact dit « *dommages* ». Si l'approche *problème* présente l'avantage d'être plus précise du fait d'une modélisation plus transparente, son interprétation est plus ardue. En effet, elle est associée à un grand nombre de catégories d'impacts et présente souvent des unités peu parlantes pour le grand public. L'approche *dommage* permet une interprétation plus aisée. L'agrégation de résultats permet en effet de réduire le nombre de catégories d'impacts. Toutefois, l'incertitude qui y est associée est plus élevée du fait de facteurs de caractérisation moins transparents et des modèles de caractérisation plus complexes. De plus, pour certaines catégories d'impacts *problèmes*, aucun facteur de caractérisation des dommages n'existent : ils ne peuvent donc être traduits en impact *dommages*. La caractérisation des dommages induit alors une perte d'informations environnementales. Suite à ces étapes obligatoires, viennent trois étapes optionnelles.

Tout d'abord, la *normalisation* évalue l'importance d'un résultat en fonction d'un système de référence. Typiquement, elle exprime un résultat par rapport à une consommation individuelle moyenne ou une consommation nationale. Elle permet d'exprimer toutes les catégories d'impacts en une même unité et donc d'agrèger les résultats. Il est alors possible de contrôler les incohérences et de communiquer des résultats sur l'importance relative des différents résultats d'indicateurs. Elle est indispensable pour procéder aux étapes suivantes (ISO 14044, 2006).

Ensuite, les catégories d'impacts peuvent être classées selon un ou plusieurs ensembles (ISO 14044, 2006). C'est le *regroupement*.

Finalement, la *pondération* attribue un poids à chacune des catégories d'impacts. Cette pondération représente une échelle de valeurs et est donc empreinte d'un caractère subjectif (ISO 14044, 2006). Par contre, les résultats pouvant alors être agrégés, il est possible d'en obtenir un indicateur unique

2.2.4 Interprétation

Finalement, l'interprétation analyse les résultats de l'ICV et de l'ACVI de façon cohérente avec l'objectif et le champ de l'étude. Les points significatifs sont identifiés, conclusions et recommandations sont établies.

2.3 La comptabilisation GES vis-à-vis de l'ACV

Si la comptabilisation GES et l'empreinte carbone qui en découle ne se sont pas tournées plus tôt vers l'analyse du cycle de vie c'est entre autres parce qu'elle est jugée trop coûteuse et complexe pour faire l'objet d'un outil de gestion environnementale d'utilisation récurrente (Hammerschlag et Barbour, 2003; Charron-Doucet, 2007).

Néanmoins, de nombreuses similitudes existent entre les deux méthodologies, comme le présente le Tableau 2-3 :

Tableau 2-3 : Comparaison des méthodologies ACV et de quantification GES (adapté de Braunschweig, 2008)

Élément méthodologique	ACV	Comptabilisation GES
Que cherche-t-on?	<ul style="list-style-type: none"> - Empreinte environnementale multi-critères - Produit/service - Les points chauds - Comparaison de scénarios 	<ul style="list-style-type: none"> - Effet climat - Organisation - Les points chauds - Amplitude des réductions
Base de comparaison	<ul style="list-style-type: none"> - Unité fonctionnelle - Définie par l'analyste de l'étude 	<ul style="list-style-type: none"> - Activité annuelle - Définie de façon fixe par l'organigramme corporatif
Responsabilité	Multi-organisationnelle	L'organisation à l'étude
Frontières du système	Pas de distinction entre émissions directes et indirectes : <ul style="list-style-type: none"> - Étapes du cycle de vie - L'approvisionnement en électricité n'est pas traité à part 	Distinction entre émissions directes et indirectes : <ul style="list-style-type: none"> - Pas de distinction entre émissions d'amont et d'aval pour les émissions indirectes - Approvisionnement en électricité séparé

Tableau 2-3 (suite) : Comparaison des méthodologies ACV et de quantification GES (adapté de Braunschweig, 2008)

Élément méthodologique	ACV	Comptabilisation GES
Inventaire	Combinaison d'inventaire spécifique d'avant-plan avec des données génériques d'arrière-plan	Inventaire spécifique d'avant-plan
	<i>Données :</i> - Données primaires - Banques de données d'inventaire génériques (ex. : <i>ecoinvent 2.0</i> - Frischknecht <i>et al.</i> , 2007)	<i>Données :</i> - Données primaires - Facteurs d'émissions : mesures indirectes des émissions à partir de données d'activités (WBCSD et WRI, 2006)
	Flux élémentaires entrant au système Flux élémentaires émis à l'air, l'eau et au sol	Six GES émis à l'air (voir section 2.1.3.3)
	<i>Critère de coupure :</i> Massique, contribution à l'impact environnemental	<i>Critère de coupure :</i> « Matérialité », contribution minimale de l'émission GES
	<i>Imputation :</i> pour les processus multifonctionnels	<i>Imputation :</i> Partenariat commercial, propriétés conjointes, ...
	<i>Électricité :</i> - Spécificité du choix des sources d'approvisionnement du réseau - Données génériques (incluent les pertes en ligne et l'approvisionnement)	<i>Électricité :</i> - Non-spécificité du choix des sources d'approvisionnement du réseau - Facteurs d'émissions à la consommation (<i>n'incluent pas</i> les pertes en ligne)
Analyse d'impacts	Analyse multi-impacts Exemples de méthodologies : - Changement climatique: IPCC 100ans - Autres méthodes d'impacts: <i>IMPACT2002+</i> , CML, ReCiPe	Indicateur unique de l'impact Exemple de méthodologie : - Changement climatique: IPCC 100ans
Aspects temporels	Impacts potentiels globaux, agrégés à l'instant présent	Impacts annuels
Facteurs d'émissions	Valeurs non-uniformes d'une méthodologie à l'autre pour des systèmes similaires	
Bases de données	Absence de base de données globale Variabilité importante de la qualité des données et de leur référencement d'une base de données à l'autre Ex. : <i>ecoinvent 2.0</i> (Frischknecht <i>et al.</i> , 2007), <i>BUWAL250</i> (EMPA & ETH Zürich, 1997), <i>IDEMAT 2001</i> (Delft University of Technology, 2001), <i>DK Input-Output Database 99</i> (2.-0 LCA consultant, 2005)	

Cette comparaison met en lumière les similarités et différences entre les deux méthodologies. Si les objectifs des deux méthodologies diffèrent, ces mêmes objectifs n'en sont donc pas moins intimement liés. En effet, d'un point de vue de responsabilité environnementale, les méthodologies expriment des concepts différents. L'ACV prend le point de vue des impacts environnementaux d'un produit, d'un service ou d'une entreprise et étend son regard sur toute sa chaîne logistique : elle représente une responsabilité environnementale multi-organisationnelle, une responsabilité partagée également entre les entreprises. D'un autre côté, la quantification GES adopte une vision comptable vis-à-vis un impact sur le climat. L'approche comptable porte principalement sur une entité et peut adopter un regard multi-organisationnel en ouvrant ses frontières à la comptabilisation des émissions indirectes. La responsabilité environnementale est considérée selon un point de vue comptable, celui de l'entreprise. Le caractère multi-organisationnel ne sera associé qu'aux impacts des activités de l'entreprise ailleurs dans l'économie, les reléguant à un second plan d'importance.

Néanmoins, les deux approches demeurent intimement liées quant à leurs objectifs. Même si leurs structures et leurs méthodologies diffèrent, elles n'en sont pas moins compatibles. En effet, en regard de leur similarité, il est possible de cadrer la structure de l'ACV sur celle des différents périmètres de comptabilisation GES. Cela a pour avantages de minimiser les risques de doubles comptages associés à l'ACV (Braunschweig, 2008).

Qui plus est, l'ACV fait encore face à des défis méthodologiques, et ce, pour chacune des 4 étapes la définissant. Le Tableau 2-4 les résume :

**Tableau 2-4 : Défis méthodologiques associés aux étapes de l'ACV
(Reap *et al.*, 2008a)**

Étape de l'ACV	Défis méthodologiques
1- Définition des objectifs et du champ de l'étude	<ul style="list-style-type: none"> • Définition de l'unité fonctionnelle • Sélection des frontières • Impacts sociaux et économiques • Considération de scénarios alternatifs
2- ICV	<ul style="list-style-type: none"> • Imputation • Critère de coupure • Régionalisation des technologies
3- ACVI	<ul style="list-style-type: none"> • Sélection des catégories et des méthodologies d'évaluation des impacts • Variation spatiale • Régionalisation des impacts • Horizon de temps
4- Interprétation	<ul style="list-style-type: none"> • Pondération • Modélisation des incertitudes
Général	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilité et qualité des données

Junbluth (2009) note que, hormis les problématiques liées à l'analyse des impacts, la comptabilisation GES fait face aux mêmes défis méthodologiques que l'ACV. Weidema *et al.* (2008) et Finkbeiner (2009) enhardissent même leur discours en suggérant que l'empreinte carbone remet l'ACV face à ses faiblesses et que son développement pourra permettre une inter-émulation des approches. Toutefois des efforts doivent encore être faits en terme de standardisation et d'uniformisation (Braunchweig, 2008).

Cette conclusion amène à l'élaboration de l'hypothèse de recherche présentée au chapitre 3 suivant.

3 CHAPITRE 3 – HYPOTHÈSE ET OBJECTIFS

La synthèse de la littérature présentée au chapitre 2 mène à l'établissement d'une hypothèse de recherche qui se décline en deux objectifs de projet. Ce troisième chapitre vise donc à les présenter.

3.1 Hypothèse de recherche

L'hypothèse de recherche est posée comme suit :

Hypothèse de recherche :

La compatibilité de l'analyse du cycle de vie vis-à-vis de la quantification corporative des émissions de gaz à effet de serre permet de l'y intégrer et d'ainsi la bonifier grâce à une meilleure connaissance de la chaîne logistique et une approche multicritères de l'évaluation des impacts environnementaux.

Toute la suite de la démarche vise donc à la vérifier.

3.2 Objectifs de recherche

L'hypothèse de recherche s'articule en deux objectifs de recherche :

Objectifs :

1. Vérifier la compatibilité des éléments méthodologiques des deux approches et la possibilité théorique de l'intégration de l'ACV dans la quantification des GES.
2. Vérifier la possibilité pratique de l'intégration de l'ACV dans la méthodologie de quantification des GES.

Pour les atteindre, les étapes méthodologies suivantes leur ont été associées :

1. Vérifier la compatibilité des éléments méthodologiques des deux approches et la possibilité théorique de l'intégration de l'ACV dans la quantification des GES :
 - a. comparer systématiquement les méthodologies ;
 - b. développer une approche conceptuelle de leur intégration.
2. Vérifier la possibilité pratique de l'intégration de l'ACV dans la méthodologie de quantification des GES :

Grâce à une étude de cas réalisée en collaboration avec Veolia Propreté, il est possible de :

- a. réaliser des bilans GES et une ACV au travers d'une étude de cas portant sur les activités d'une entité corporative;

Les bilans sont réalisés sur des opérations de Veolia Propreté (VP) en fonction de leur comptabilisation environnementale interne, et ce, selon les différents cadres d'analyse, ou « *scopes* », proposés par le *GHG Protocol*. Une ACV détaillée est réalisée sur des activités incluses à la comptabilisation environnementale interne de VP, reproduisant la structure des « *scopes* » du bilan GES selon une pensée cycle de vie.

- b. valider l'approche conceptuelle proposée par l'atteinte de trois critères de validation (voir le détail des critères de validation à la section 4.3.).

Les critères de validation cherchent à quantifier la cohérence des résultats des deux méthodologies les uns par rapport aux autres. Ils sont établis de manière à représenter les caractéristiques principales de l'approche conceptuelle.

3.3 Démarche et organisation de la recherche

Le travail de recherche a conduit à la rédaction d'un article soumis à la revue *Waste Management and Research* dans le cadre d'une édition spéciale portant sur les GES.

Cette section vise donc à présenter les différentes composantes du travail de maîtrise. Le Tableau 3-1 montre comment les différents chapitres du mémoire se positionnent vis-à-vis des objectifs de recherche présentés à la section 3.2.

Tableau 3-1 : Organisation de la recherche

Objectif	Étapes méthodologiques	Chap. 2	Chap. 4	Chap. 5	Chap. 6 et 7
1- Vérifier la possibilité théorique de l'intégration des concepts	1.a- Comparer systématiquement les méthodologies	x	x		
	1.b- Développer une approche conceptuelle		x		
2- Vérifier la possibilité pratique de l'intégration des concepts	2.a- Réaliser des bilans GES et une ACV au travers d'une étude de cas portant sur les activités d'une entité corporative			x	x
	2.b- Valider l'approche conceptuelle proposée				x

En regard de ces objectifs, les prochains chapitres sont structurés de la manière suivante : le chapitre 4 correspond à la méthodologie de la recherche et le développement de l'approche conceptuelle, le chapitre 5 est présenté sous forme d'article. Le chapitre 6 présente les résultats complémentaires. Finalement, le chapitre 7 présente la discussion générale menant à la validation de l'approche conceptuelle proposée. Le chapitre 8 conclut le mémoire.

4 CHAPITRE 4 : MÉTHODOLOGIE

Ce chapitre se sépare en deux grandes sections. La première regroupe les deux étapes méthodologiques relatives au premier objectif de projet. Ainsi, elle présente de façon concomitante la comparaison systématique des méthodologies et le développement de l'approche conceptuelle. La seconde section énonce les étapes méthodologiques nécessaires à l'atteinte du second objectif de projet : la méthodologie spécifique à l'étude de cas servant à la validation de l'approche conceptuelle ainsi que ses critères de validation.

4.1 Vérification théorique de la compatibilité de l'ACV à la quantification corporative des GES : comparaison des méthodologies et développement de l'approche conceptuelle

L'approche conceptuelle recadre les concepts de quantification GES et d'ACV l'un par rapport à l'autre, tel qu'énoncé ici :

Approche conceptuelle :

La quantification corporative de GES peut être représentée par une discrétisation annuelle de la méthodologie ACV, cantonnée au changement climatique.

Il est à noter qu'un glossaire en préface du mémoire reprend les définitions de ces quelques concepts clés.

Les prochaines sections présentent les deux approches et leurs éléments méthodologiques propres. Elles sont ensuite comparées et mises en adéquation l'une par rapport à l'autre.

4.1.1 Quantification des émissions des gaz à effet de serre (Q-GES)

Cette section rappelle les éléments méthodologiques clés de la comptabilisation GES.

Cette dernière évalue l'impact sur le changement climatique d'une organisation. Tout d'abord, l'inventaire des émissions de l'organisation est dressé en fonction des frontières organisationnelles et opérationnelles définies selon le *GHG Protocol* (WBCSD et WRI, 2006). Tel qu'expliqué à la section 2.1.3.1, les frontières opérationnelles réfèrent à la sélection des sources d'émissions incluses au bilan. Les frontières organisationnelles peuvent, quant à elles, refléter l'endossement de la responsabilité de l'émission admise par l'organisation.

Au sein de ces frontières, les émissions de CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs et SF₆ sont comptabilisées selon un critère de matérialité. Ce dernier est le seuil minimum massique d'émissions en deçà duquel la contribution est significative (WBCSD et WRI, 2006). Les émissions sont catégorisées en trois *scopes* d'inventaire : les émissions directes (*scope 1*), les émissions indirectes liées à l'électricité achetée (*scope 2*) et les autres émissions indirectes (*scope 3*)

Chaque type de GES inventorié est comptabilisé séparément à l'aide de facteurs d'émissions ou de modélisations mathématiques (WBCSD et WRI, 2006 ; IEA, 2009). Le facteur d'émission (FÉ) est une mesure indirecte de l'émission issue d'un niveau d'activités annuelles. Par exemple, pour une consommation de diesel, le FÉ s'exprime en « tonne de CO₂/L diesel consommé ». Multiplié à une donnée primaire d'une activité (soit la consommation de diesel), il fournit alors la quantité de GES issue de l'activité. Les facteurs existent pour les différents GES, définissant ainsi leur inventaire.

Les émissions différentes du CO₂ (telles le CH₄, le N₂O et autres GES) sont ensuite caractérisées en CO₂ équivalent à l'aide de leur potentiel de réchauffement global (PRG) (IPCC, 2007) pour une période de 100 ans. (UNFCCC, 1997).

4.1.2 Représentation 3-D de l'ACV

Afin de permettre l'arrimage de l'approche ACV à celle de la comptabilisation GES en entreprise, l'ACV d'une entreprise générique est d'abord représentée tridimensionnellement (Figure 4-1). Celle-ci permet d'illustrer une interrelation entre différents éléments de la méthodologie ACV. Ceux-ci, mentionnés à la section 2.2, sont positionnés vis-à-vis de chacun de ces axes.

Ainsi, l'entreprise est premièrement représentée au sein de sa **chaîne logistique**, soit le cycle de vie, incluant tant ses fournisseurs que ses gestionnaires de fin de vie. Ce cycle de vie de l'entreprise (Jensen, 2007) correspond à la première dimension de cette représentation tridimensionnelle, et ce, en tant qu'axe des abscisses. La chaîne logistique regroupe donc les éléments méthodologiques de l'ACV suivants (voir section 2.2 pour leur description) :

- Définition des objectifs et du champ de l'étude :
 - o Définition de la fonction et de l'unité fonctionnelle à l'étude;
 - o Établissement des frontières du système de produits;
- Inventaire du cycle de vie :
 - o Mise à l'échelle des processus en fonction de l'unité fonctionnelle du système;

Les flux économiques et élémentaires sont alors mis à l'échelle et fournissent l'inventaire du cycle de vie.

La seconde dimension de l'approche conceptuelle représente l'**évaluation des impacts**. Cet axe des ordonnées est alimenté par les données d'inventaire traduites en impacts potentiels grâce aux facteurs de caractérisation des méthodes d'évaluation des impacts.

Pour que la méthodologie ACV soit compatible avec la comptabilisation GES, une troisième dimension doit être ajoutée : l'**horizon temporel**. Cet axe des z fait le lien entre les activités de l'organisation et l'unité fonctionnelle : celle-ci est définie pour une

année d'activités. En effet, dans un contexte corporatif de comptabilisation GES, les opérations de l'entreprise sont analysées sur une fenêtre de temps spécifique. Conséquemment, au lieu d'être agrégé à l'instant présent, l'inventaire du cycle de vie généré par le système de produits doit donc être représenté de façon dynamique.

4.1.3 La comptabilisation GES en tant que discrétisation de l'ACV 3-D

Tel que mentionné à la section 2.3, les objectifs de la comptabilisation GES et de l'ACV sont intimement liés malgré leurs différences apparentes. En effet, même si la comptabilisation GES cible son analyse sur l'impact sur le changement climatique d'un inventaire réduit de substances émanant d'un système de produits, il n'en demeure pas moins que les deux méthodologies visent à évaluer l'impact environnemental d'un système de produits.

Les éléments méthodologiques de la comptabilisation GES sont donc positionnés vis-à-vis de chacun des axes de la vision tridimensionnelle de l'ACV (Figure 4-1).

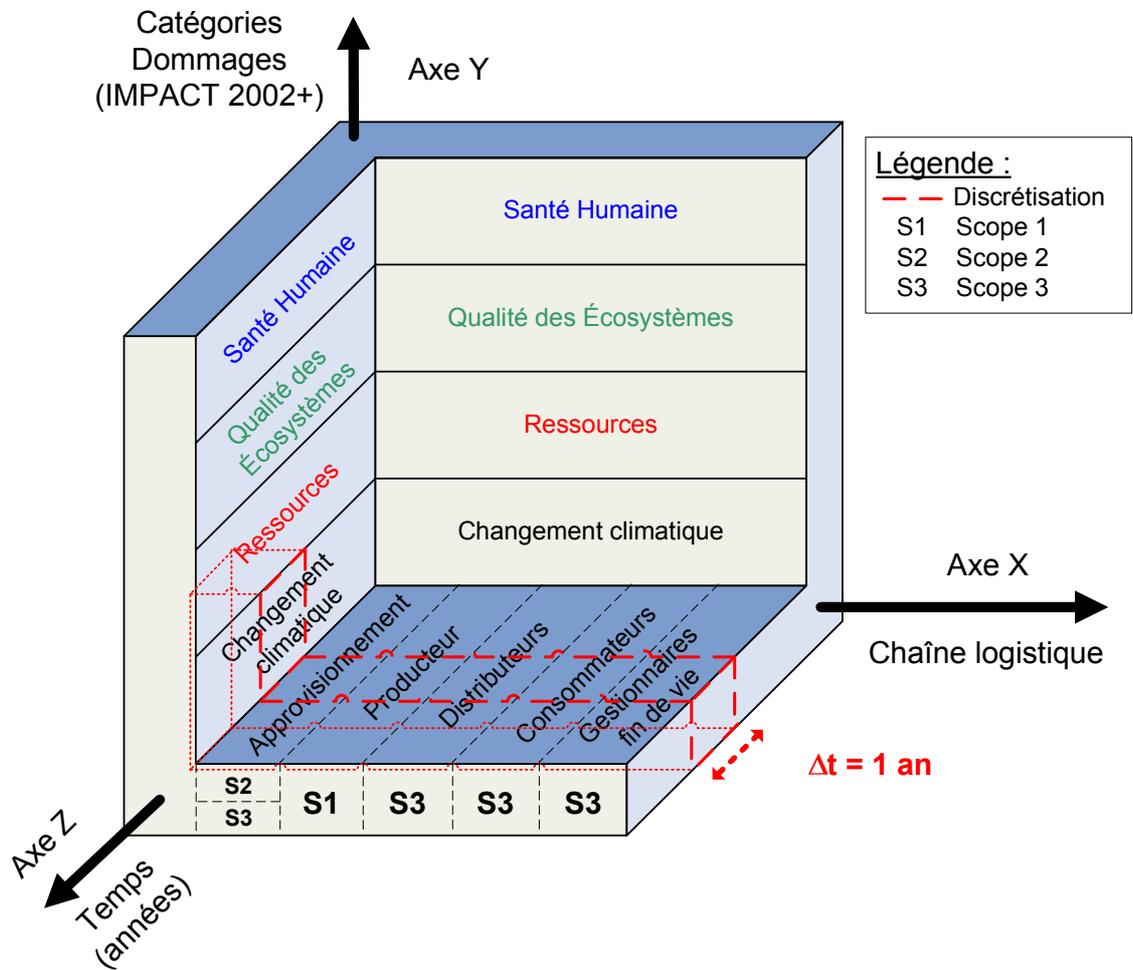


Figure 4-1 : Comptabilisation GES en tant que discrétisation annuelle d'une représentation 3-D de l'ACV, qui se limite au changement climatique

4.1.3.1 Chaîne logistique

Les frontières du système définies par l'ACV incluent tout le cycle de vie de l'organisation. La comptabilisation GES séquence ce cycle de vie en différents périmètres de comptabilisation, les *scopes*. L'adéquation entre les deux méthodologies se fait simplement de la manière suivante : la catégorisation par *scope* correspond à la distribution des émissions entre les différents acteurs de la chaîne logistique.

Également, malgré les différences qu'elles peuvent présenter, les deux méthodologies peuvent être mises en relation quant aux différents éléments de l'inventaire (tel que présenté au Tableau 2-3 : Comparaison des méthodologies ACV et de quantification GES (adapté de Braunschweig, 2008)).

4.1.3.2 Évaluation des impacts

Selon l'axe des Y de l'approche conceptuelle, l'inventaire de la quantification GES est traduit en impact sur le changement climatique grâce au potentiel de réchauffement global de chacune des substances. L'éventail d'impacts étudiés par les méthodes ACVI est plus large.

L'adéquation entre la méthodologie de comptabilisation GES et d'ACV est possible seulement si leur horizon de temps est le même. Ainsi, si la comptabilisation GES utilise des PRG sur une durée de 100 ans, la méthode ACVI choisie devra s'assurer d'avoir le même horizon temporel, à tout le moins pour le changement climatique.

4.1.3.3 *Horizon temporel*

Tel que préconisé par sa méthodologie, la comptabilisation GES ne considère qu'une fenêtre de temps annuelle de l'inventaire ACV dynamisé. Conséquemment, selon l'horizon temporel de l'approche conceptuelle, elle en représente une discrétisation.

Cette annualisation de l'inventaire ne suit pas la ligne de pensée classique de l'ACV. En effet, tous les entrants et sortants sont habituellement intégrés à l'instant présent : les impacts potentiels sont agrégés quel que soit l'endroit géographique ou le moment où ils ont lieu. Dans le cas présent, l'unité fonctionnelle restreint l'horizon temporel à une année d'opération. Ce faisant, elle n'attribue à l'année d'opération que la portion des flux d'inventaire associée à l'année de comptabilisation.

De ce fait, l'application de l'ACV au contexte de la comptabilisation présente un défi auquel les normes et les connaissances actuelles en ACV ne répondent pas entièrement (Finkbeiner, 2009).

Le premier objectif de projet est atteint grâce au développement théorique de l'approche conceptuelle. C'est sa validation, présentée au cours des prochains chapitres, qui permettra d'atteindre le second objectif de projet.

4.2 Vérification pratique de l'intégration de l'ACV dans la quantification corporative des GES

L'approche conceptuelle proposée à la section 4.1.3 est validée grâce aux résultats d'une étude de cas. Tel que déjà expliqué, l'approche conceptuelle définit trois axes : la chaîne logistique, l'évaluation des impacts et l'horizon temporel.

L'étape de validation fixe un des axes et fait varier les deux autres axes. Ainsi, c'est l'axe de l'horizon temporel qui est fixé. L'unité fonctionnelle de l'ACV le définit à un an, ce qui assure sa compatibilité avec la fenêtre annuelle de la comptabilisation GES. Les deux autres axes, soit la chaîne logistique et l'évaluation des impacts, varient : l'analyse des résultats se fera donc à la lumière d'une ouverture des frontières et de l'élargissement de l'évaluation des impacts.

Dans ce contexte et pour les activités d'une même organisation, l'étude de cas compare les résultats d'un bilan GES et d'une ACV. Elle est réalisée à partir de l'outil de comptabilisation interne. Ces résultats sont présentés en deux temps : tout d'abord au chapitre 5 sous la forme d'un article, puis ensuite au cœur d'un chapitre de résultats complémentaires (chapitre 6). Toutefois, pour l'un et l'autre de ces chapitres, la même méthodologie est de rigueur. La présente section ne pose donc qu'une fois les bases de la méthodologie.

4.2.1 Spécificités méthodologiques de l'étude de cas

Cette section présente quelques précisions méthodologiques de l'étude de cas, supplémentaires à l'article. Elle est structurée en trois sections, à la façon de l'approche conceptuelle : la chaîne logistique, l'évaluation des impacts et l'horizon temporel.

4.2.1.1 *Chaîne logistique*

Tel que présenté à la section 4.1.2, l'axe de la chaîne logistique englobe les deux premières étapes de l'ACV : la définition des objectifs et du champ de l'étude ainsi que l'inventaire.

Définition des objectifs et du champ de l'étude

Définition de la fonction et de l'unité fonctionnelle

La fonction d'étude est « *L'opération d'une division de Veolia Propreté* ». Elle est quantifiée par l'unité fonctionnelle suivante :

« *Les activités d'une division de Veolia Propreté, soit les services de propreté et de traitement des déchets, ayant eu cours en France continentale durant l'année 2007* ».

Il est à noter que l'unité fonctionnelle fait entrer en jeu la notion du temps qui fait partie à part entière de l'horizon temporel de la présente approche conceptuelle.

Elle permet toutefois de cerner le périmètre des frontières du système.

Frontières du système

Les frontières du périmètre d'étude ont été établies à partir de la description des activités fournie dans le « Bilan 2007 » (VP, 2007) et dans d'autre source de données confidentielles non disponibles.

La Figure 4-2 présente l'ensemble des activités considérées au sein du système de produits.

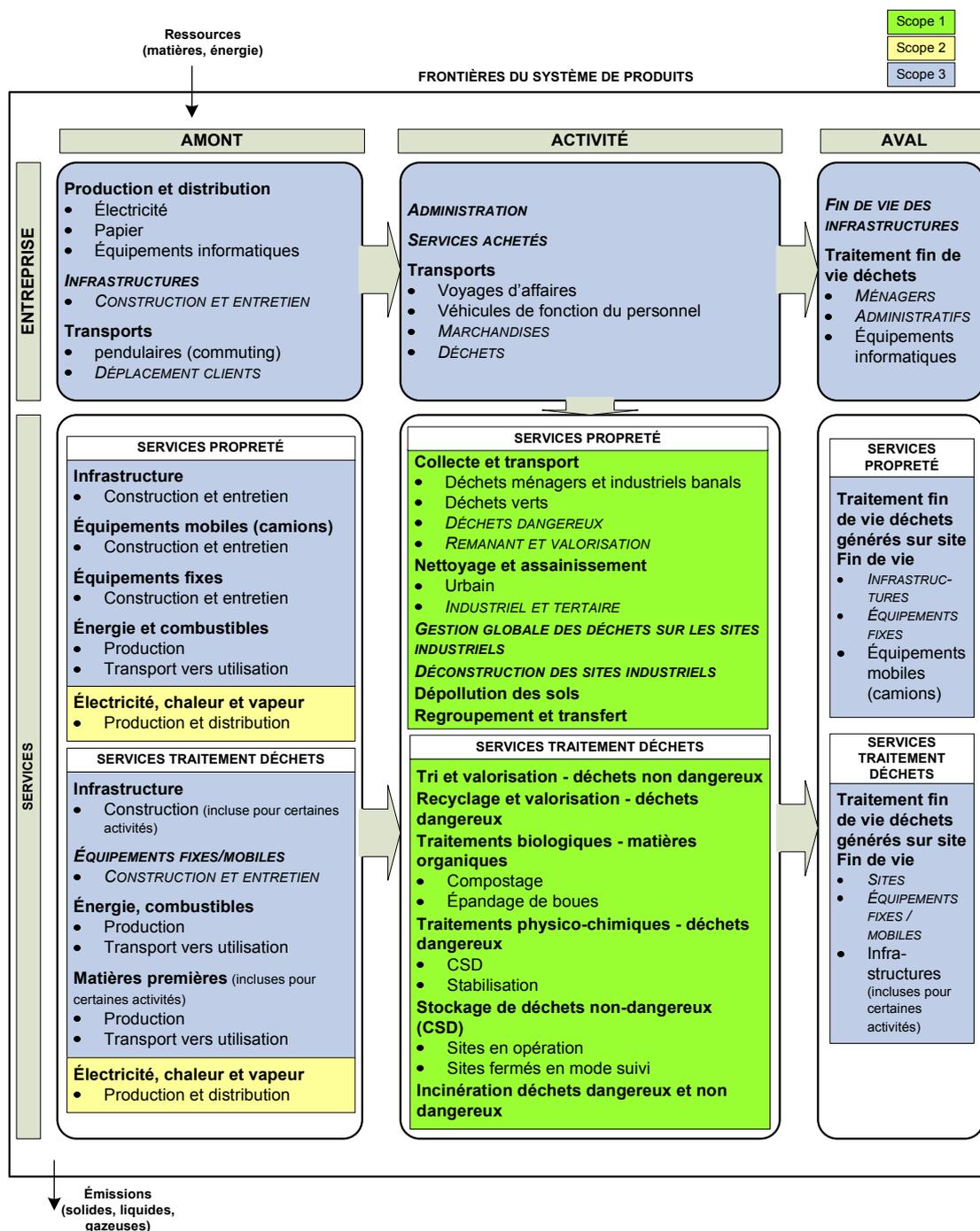


Figure 4-2 : Frontières détaillées du système des opérations de VP, avec répartition des cadres d'analyse.

Note : les processus et flux écrits en *MAJUSCULES ITALIQUES* sont exclus des frontières du système à l'étude.

Deux types d'activités se dégagent : administratives et opérationnelles (dénommée « entreprise » et « services » à la Figure 4-2). Pour faciliter la présentation des résultats, les activités ont été réparties en six grandes catégories :

- Collecte et nettoyage (C&N)
- Tri et transfert (T&T)
- Traitements physico-chimiques (PCT)
- Enfouissement (LAN)
- Incinération (INC)
- Activités administratives (ADM)

L'annexe B présente une description détaillée de chacune des activités. Les activités et processus exclus du système d'étude sont présentés à l'annexe C.

Les couleurs de la Figure 4-2 : Frontières détaillées du système des opérations de VP, avec répartition des cadres d'analyse. réfèrent à la catégorisation des processus et leurs émissions selon les trois périmètres, ou *scopes*, proposés par le *GHG Protocol*. Des sources d'émissions de *scope* 1, 2 ou 3 correspondent en effet à chacune de ces activités.

Pour une organisation de gestion des matières résiduelles, les sources d'émissions du *scope* 1 sont, tel que spécifié par le *GHG Protocol* :

1. *combustion stationnaire* : incinérateurs, chaudières, torchères, production d'électricité, chaleur et vapeur sur site;
2. *combustion mobile* : transport des déchets/produits;
3. *procédés* : physiques ou chimiques, traitement des eaux usées, amendements en azote;
4. *émissions fugitives* : CH₄ et de CO₂ issues de la décomposition des déchets et de produits animaliers, ventilation, fuites;

Le *scope* 2 correspond à l'électricité achetée. Le bilan GES ne considère que les émissions issues de la génération tandis que le processus ACV inclut les processus en amont ainsi que les pertes. Le mélange énergétique français est utilisé dans les deux cas.

Le *scope* 3 regroupe, quant à lui, les processus d'amont et d'aval des activités d'opération en plus de l'ensemble des processus des activités administratives. Dans le

cadre de l'étude de cas, le *scope 3* de la comptabilisation GES est partiel. Les processus d'amont et d'aval ne sont pas comptés au bilan GES par manque de données. L'ACV inclut, quant à elle, l'approvisionnement des opérations, la production, l'entretien et la fin de vie des équipements, machineries et camions. Pour ce qui est des activités administratives, la quantification GES compte les émissions des véhicules de fonction. L'ACV y ajoute les déplacements pendulaires domicile-travail des employés, les voyages d'affaires ainsi que la consommation par les bureaux de papier, d'équipements informatiques et d'énergie.

Dans un souci de cohérence avec l'ACV dite attributionnelle, les bénéfices environnementaux tirés du recyclage ou de la valorisation sont exclus des frontières du système. En effet, dans sa définition pure, ce type d'ACV attribue au système de produits étudié ses impacts environnementaux. Elle ne traite donc pas de sujets différentiels de ce type : un bénéfice environnemental se calcule par rapport à un scénario de base et fait donc entrer en jeu la notion de différentialité.

Inventaire

Le système de produits illustré à la Figure 4-2 génère l'inventaire du cycle de vie. En regard des frontières du système, celui-ci est déstructuré selon les trois *scopes* de la comptabilisation GES. Pour ce faire, chacun des processus du système ACV a dû être déstructuré (Figure 4-3).

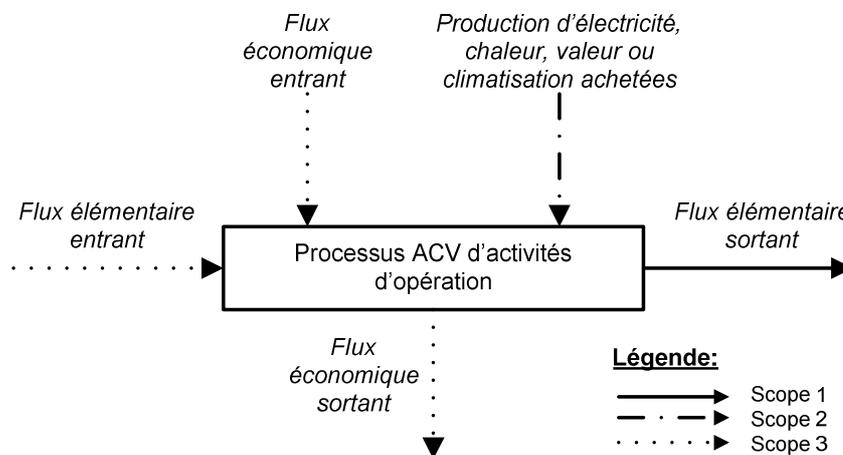


Figure 4-3 : Dé-agrégation des processus ACV

C'est cette dé-agrégation qui permet la compatibilité des méthodes et leur comparaison systématique. À l'issue de cette dé-agrégation des processus du système de produits, l'inventaire ACV se retrouve donc catégorisé selon les trois *scopes* de la comptabilisation GES. Il est à noter que l'ACV inclut à l'inventaire tous les flux entrants et sortants alors que le bilan GES ne comptabilise que les flux sortants.

La comptabilisation GES, telle que réalisée pour l'étude de cas, cible les émissions des trois GES suivants : CO₂, CH₄ et N₂O (EpE, 2007). Pour les émissions de *scope 1* et de *scope 2*, l'activité d'une source d'émissions est traduite en un inventaire d'émissions GES grâce au facteur d'émission. Celui-ci correspond à une mesure indirecte de l'activité et considère un horizon temporel de 100 ans. Les facteurs d'émissions utilisés dans le cadre de l'étude de cas se trouvent à l'annexe D et les données d'activités de l'étude de cas sont tirées de la comptabilisation environnementale interne de Veolia Propreté pour l'année 2007 (Source de données confidentielles non disponible #3).

L'inventaire ACV est plus large. Il considère des flux de matières et d'énergie entrants et sortants du système de produits. Les données ont été tirées de la comptabilisation environnementale interne de Veolia Propreté pour l'année 2007 et complétées par la littérature et la base de données génériques *ecoinvent 2.0* (Frischknecht *et al.*, 2007).

Le CH₄ issu des émissions diffuses du biogaz émanant des centres de stockage de déchets est évalué par modélisation. À ce jour, aucun modèle d'émissions ne fait consensus dans la communauté scientifique (Helget *et al.*, 2007) : le profil d'émission d'un déchet en centre de stockage est en effet difficile à évaluer de par l'influence de nombreux paramètres dont la nature du déchet, l'humidité, la température, etc. Dans le cas présent, les recommandations de l'EPER (European Pollutant Emission Register) ont été suivies. Elles préconisent en effet l'utilisation de mesures de production sur site, de taux de collection et d'oxydation (EPER, 2004). Le CH₄ diffus a été évalué à l'aide d'une moyenne pondérée sur un modèle de dégradation en quatre phases (Kirkeby 2005), combinée à des données de taux d'oxydation et de dégradation. Les données sources du modèle de dégradation en quatre phases étaient issues de la littérature (Source de données confidentielles non disponibles #1).

Puisque l'étude de cas porte sur un cas de gestion des matières résiduelles, la problématique du carbone biogénique a été traitée.

Carbone biogénique

Le carbone dit « biogénique » participe à un cycle court du carbone.

Il peut être émis dans l'atmosphère sous forme de dioxyde de carbone issu de la respiration des organismes photosynthétiques (plantes, algues, bactéries). Capté à nouveau par photosynthèse, ce dernier est alors réintroduit dans le cycle court du carbone : ce faisant, il n'est pas considéré comme contributeur au changement climatique (PRG = 0). Par extension, le CO₂ émis lors de la combustion ou de la décomposition de la biomasse est aussi considéré comme ayant un PRG nul, du fait que sa provenance est biogénique.

Cette hypothèse a été retenue car conforme aux pratiques préconisées par le Protocole EpE. Toutefois, le *GHG Protocol* ne fait pas de mention claire sur comment traiter la comptabilisation du carbone biogénique (WBCSD et WRI, 2006).

Le carbone biogénique séquestré durablement (en centre de stockage par exemple) n'est pas considéré comme ayant un PRG=-1 (contrairement à ce qui est proposé par la source de données confidentielles non disponible #2), parce qu'il s'agit d'une réduction des émissions équivalente à un crédit environnemental, qui ne fait pas partie de la vision ACV attributionnelle.

Le méthane « biogénique » est celui produit par la décomposition de la biomasse en absence d'oxygène. Il s'agit donc de carbone biogénique émis sous forme de méthane. Dans la modélisation ACV, il est considéré que le méthane de source biogénique a le même potentiel de réchauffement global (PRG) que le méthane de source fossile. Cette hypothèse est conforme aux recommandations du *GHG Protocol* et à d'autres références (Zhao *et al.*, 2009).

Toutefois, il aurait été possible d'adopter une autre approche et considérer que le PRG du méthane biogénique est moindre que celui du méthane d'origine fossile. Cette approche pose l'hypothèse que la molécule de carbone composant le méthane biogénique provient d'une molécule de CO₂ captée. Dans ce cas, le PRG du CO₂ est soustrait du PRG du méthane à quantités molaires équivalentes, sachant que pour émettre 16g de CH₄ (soit une mole), 44g de CO₂ ont du être captés. Le PRG du méthane en aurait ainsi été diminuée d'environ 11%. Conséquemment, malgré que ce ne fût pas l'approche méthodologique retenue, l'amplitude des émissions de méthane en aurait été diminuée d'autant.

4.2.1.2 Analyse d'impacts

L'analyse d'impact évalue les impacts potentiels de l'inventaire des sources d'émissions incluses dans les frontières du système.

Pour ce faire, le bilan GES utilise les facteurs de caractérisation du potentiel de réchauffement global (PRG). Ils sont tirés du « Fourth Assessment Report » (AR4) du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (IPCC, 2007). Le Tableau 4-1 présente les PRG des principaux GES

Tableau 4-1 : Potentiel de réchauffement global sur 100 ans inclus dans le quatrième rapport du GIEC sur les changements climatiques

Substances	PRG 100 ans (kg CO ₂ eq. / kg)
CO ₂	1
CH ₄	25
N ₂ O	298
SF ₆	22 800

L'ACV examine un éventail étendu d'impacts. La méthode *IMPACT2002+* (Joliet *et al.*, 2003) a été utilisée pour toutes les autres catégories d'impacts que celle du changement climatique. Ainsi, les catégories d'impact identifiées sont :

- Effets cancérigènes (évalués en kg de C₂H₃Cl éq.)
- Effets non cancérigènes (évalués en kg de C₂H₃Cl éq.)
- Effets respiratoires inorganiques (évalués en kg de PM_{2,5} éq.)
- Radiation ionisante (radioactivité, (évaluée en kg de Bq C-14 éq.)
- Destruction de la couche d'ozone (évaluée en kg de CFC-11 éq.)
- Effets respiratoires d'organiques (évalués en kg de C₂H₄ éq.)
- Écotoxicité aquatique (évaluée en kg de TEG à l'eau)
- Écotoxicité terrestre (évaluée en kg de TEG au sol)
- Acidification/eutrophisation terrestres (évaluées en kg de SO₂ éq.)
- Occupation des terres (évaluée en m² de terres organiques arables)
- Acidification aquatique (évaluée en kg de SO₂ éq.)
- Eutrophisation aquatique (évaluée en kg de PO₄ lim)
- Énergies non-renouvelables (évaluées en MJ primaire)
- Extraction des minéraux (évaluée en MJ surplus)

Pour le changement climatique, *IMPACT2002+* considère par défaut un horizon temporel de 500 ans (en considérant les PRG 500 ans proposés par la méthode *IPCC2007*). Or, pour permettre une comparaison cohérente avec la méthodologie des bilans GES, les PRG 100 ans de la méthode *IPCC2007* ont été utilisés.

4.2.1.3 Horizon temporel

L'horizon temporel constitue le paramètre « fixe » de la validation de l'approche conceptuelle. Il s'agit en effet de faire adéquation entre l'horizon de comptabilisation GES et l'ACV.

La comptabilisation GES porte sur un inventaire d'émissions d'une année. Ainsi, c'est par l'unité fonctionnelle que l'approche conceptuelle ajuste l'horizon temporel de l'inventaire ACV à une fenêtre de comptabilisation annuelle. En effet, tel que déjà précisé, l'unité fonctionnelle de l'ACV est fixée comme suit (voir section 4.2.1.1) :

« Les activités d'une division de Veolia Propreté, soit les services de propreté et de traitement des déchets, ayant eu cours en France continentale durant l'année 2007 ».

L'ICV de l'étude de cas a donc été comptabilisé selon une fenêtre d'une année et ce, pour chacun des trois *scopes*.

Le *scope* 1 est constitué des flux élémentaires sortants. Pour les sources d'émission ponctuelles, c'est-à-dire des sources non-continues d'émissions, le simple fait d'utiliser des données d'activités annuelles permet d'obtenir un inventaire annualisé. Par contre, les sources d'émissions continues, comme les sites d'enfouissement générant du biogaz de façon continue, la discrétisation de l'émission n'est pas aussi directe. Dans ce cas, tel que présenté à la section 4.2.1.1 le biogaz diffus avait été évalué par un modèle de dégradation en quatre phases, combiné à des données de taux d'oxydation et de dégradation (Kirkeby *et al.*, 2005). C'est en faisant une moyenne pondérée en fonction de la durée de chacune des phases de dégradation que l'inventaire est discrétisé annuellement.

Le *scope 2* correspond aux flux économiques entrants de l'achat d'électricité. La consommation électrique annuelle est donc le processus d'avant-plan. Par ricochet, tous les processus d'arrière-plan associés aux infrastructures du réseau de distribution, à l'extraction des ressources sont eux aussi mis à l'échelle de la consommation annuelle.

Le *scope 3* réfère quant à lui aux flux élémentaires entrants et aux flux économiques entrants et sortants des processus d'activités d'opération. Dans son cas, l'inventaire est annualisé de la manière suivante :

- l'approvisionnement réfère à des consommations annuelles de carburants, matériaux, etc. Cette utilisation du terme ne doit pas être confondue à celle de l'entreprise. Elle y est classiquement réservée à la fonction « achats » de l'entreprise.
- Les infrastructures et les équipements sont annualisés en fonction de leur durée de vie.

4.3 Critères de validation

L'approche conceptuelle structure l'ACV selon les trois *scopes* de la comptabilisation GES. La compatibilité des frontières de systèmes s'ensuit. La compatibilité des horizons temporels est quant à elle assurée par l'unité fonctionnelle de l'ACV qui est fixée aux activités annuelles de l'organisation.

Les résultats de l'étude de cas sont utilisés pour valider l'approche conceptuelle proposée à la section 4.1. Puisque l'axe temporel est fixé par l'unité fonctionnelle ACV, l'interprétation des résultats se fait alors à la lumière de deux paramètres que l'on fait varier : l'ouverture des frontières et de l'analyse des impacts.

Trois cadres d'analyse successifs de comparaison des résultats de bilan GES et d'ACV sont établis. Ils définissent trois critères devant être vérifiés (Tableau 4-2).

Tableau 4-2 : Critères de validation de l'approche conceptuelle

#	Cadre d'analyse de comparaison		Critère	Résultat escompté
	Bilan GES	ACV		
1	Changement climatique		Cohérence des inventaires	Ratio de comparaison GES (kg CO ₂ éq.) / ACV (kg CO ₂ éq.) = 1.0 ± 10%
	S1 + S2	S1 + S2		
2	Changement climatique		Représentation plus complète de l'impact de la chaîne logistique sur le changement climatique	Résultat des bilans GES (kg CO ₂ éq.) ≤ Résultat de l'indicateur changement climatique de l'ACV (kg CO ₂ éq.)
	S1 + S2 + S3 partiel	S1 + S2 + S3		
3	Analyse d'impact multi-critères		Représentation étendue de l'impact environnemental	Identification d'au moins une catégorie d'impacts pour laquelle le bilan GES n'est pas à même de cibler l'activité principalement contributrice
	S1 + S2 + S3 partiel	S1 + S2 + S3		

Légende : S1 : *Scope* 1 S2 : *Scope* 2 S3 : *Scope* 3

Tout d'abord, lorsque comparés sur les mêmes frontières d'analyse, les résultats du bilan GES et de l'indicateur changement climatique de l'ACV doivent être cohérents les uns par rapport aux autres. C'est donc dire qu'ils devraient être similaires. Or, étant donné

que l'inventaire ACV est plus large que celui du bilan GES, il est probable que son résultat (pour l'indicateur d'impact au changement climatique) soit supérieur à celui du bilan GES. Pour évaluer la différence entre les deux méthodologies, les résultats du bilan GES et de l'ACV sont comparés par un ratio de comparaison. Pour rencontrer le premier critère de validation, le ratio de comparaison doit être le plus près de 1.0 que possible, avec une tolérance de variation de 10%.

Cette valeur a été choisie dans la perspective de différencier la comparaison d'un éventuel artefact d'incertitude, les facteurs d'émissions de comptabilisation GES étant en effet entachés d'une incertitude. Une faible valeur d'incertitude représente une modélisation des émissions présentant une faible variabilité. La valeur de 10% a ici été retenue de manière à moyenner de façon représentative les processus inclus dans ce premier périmètre de comparaison : d'une part des processus typiquement associés à des facteurs d'émission autour de 5% (consommations de combustibles fossiles, électricité) et d'autre part des processus typiquement associés à des facteurs d'émission de 20% (gestion de fin de vie des déchets) (ADEME, 2007). Cette première comparaison des résultats entre ACV et bilan GES montrera donc des résultats de bilan GES similaires à ceux de l'ACV.

Le chapitre 6 va plus avant dans le processus de validation. Ainsi, pour le *scope 1*, les facteurs d'émissions sont comparés aux modules utilisés pour les modélisations et issus de la base de données génériques *EcoInvent 2.0*. La même comparaison est effectuée pour le *scope 2*. Pour expliquer la différence entre les résultats de bilan GES et ACV pour le *scope 2*, le module *EcoInvent 2.0* de production d'électricité est analysé. Ainsi, il est décomposé pour visualiser quelle proportion est attribuable à l'approvisionnement en matière première nécessaire à la production d'électricité, à la production de ladite électricité et aux pertes dues au transport et à la distribution.

En second lieu, l'impact de la chaîne logistique sur le changement climatique devrait être représenté de manière plus complète en élargissant les frontières de comptabilisation. Ainsi, pour rencontrer le second critère de validation, les résultats

ACV devront être supérieurs à ceux des bilans GES. En effet, le bilan GES ici réalisé ne disposait pas de données spécifiques aux émissions indirectes autres que celles reliées à la production d'électricité.

Les résultats complémentaires présentés au chapitre 6 détaillent la démarche pour mieux comprendre pourquoi et comment les résultats d'ACV sont supérieurs à ceux du bilan GES. Ainsi, pour chacune des activités, le scope 3 est décomposé entre processus d'amont et d'aval pour une meilleure compréhension des impacts de la chaîne logistique. Les activités administratives sont également subdivisées.

Finalement, l'évaluation multicritères des impacts environnementaux, telle que préconisée par l'ACV, devrait permettre de représenter l'impact environnemental de manière étendue. C'est effectivement une des forces de la vision multicritère de l'ACV que de permettre une analyse exhaustive des impacts. Elle pourra ainsi identifier si une activité minimalement contributrice à la catégorie d'impact du changement climatique contribuera de façon significative à une autre catégorie d'impact. Le bilan GES, ne ciblant que l'impact sur le changement climatique, ne serait pas à même de le faire. Ainsi, le dernier critère de validation devra identifier au moins une catégorie d'impact pour laquelle le bilan GES n'est pas à même de cibler l'activité principalement contributrice. Deux cas de figure pourront être observés :

- Une activité fortement contributrice au changement climatique apparaît négligeable par rapport à une autre catégorie d'impact;
- Une activité faiblement contributrice au changement climatique apparaît prépondérante par rapport à une autre catégorie d'impact.

Le chapitre 6 apporte des résultats complémentaires en détaillant l'analyse des substances contributrices aux impacts.

Si le premier critère de validation agit à titre de pivot montrant le lien entre les deux méthodologies, les deux derniers mettent plutôt en lumière comment l'ACV permet de bonifier la quantification des émissions GES.

5 CHAPITRE 5 : Élargir la quantification GES grâce à l'ACV – Étude de cas sur une organisation de gestion des matières résiduelles

5.1 Présentation de l'article

Présentement en cours de révision, le manuscrit intitulé *Broadening GHG Accounting with LCA : Application to a Waste Management Business Unit* a été soumis le 29 mai 2009 à la revue *Waste Management and Research* dans le cadre de son édition spéciale portant sur les GES. En premier lieu, il identifie les similarités et différences clés entre les méthodologies de quantification GES et d'ACV. En second lieu, il les compare de façon systématique grâce à une étude de cas réalisée sur les opérations d'une organisation de gestion des matières résiduelles.

5.2 Broadening GHG Accounting with LCA : Application to a Waste Management Business Unit

5.2.1 Abstract

In an effort to yield the most accurate climate footprint, greenhouse gas accounting (GHG accounting) is evolving to include life cycle thinking. This paper 1) identifies similarities and key differences between GHG accounting and life cycle assessment (LCA) 2) compares them on a consistent basis through a case study on a waste management business unit. Firstly, GHG accounting is performed. According to the *GHG Protocol*, annual emissions are categorized into three *scopes*: direct GHG emissions (*scope 1*), indirect emissions related to electricity, heat and steam production (*scope 2*) and other indirect emissions (*scope 3*). LCA is then structured into a comparable framework: each LCA process is disaggregated into these three *scopes*, the annual operating activities are assessed, and the environmental impacts are determined using the IMPACT2002+ method. By comparing these two approaches we conclude that both LCA and GHG accounting provide similar climate change impact results since the same major GHG contributors are determined for *scope 1* emissions. Emissions from *scope 2* appear negligible whereas emissions from *scope 3* cannot be neglected since they contribute to around 10% of the climate change impact of the waste management business unit. This statement is strengthened by the fact that *scope 3* generates 75% of the resource use damage and 30% of the ecosystem quality damage categories. The study also shows that LCA can help in setting up the framework for a yearly GHG accounting by determining the major climate change contributors.

5.2.2 Introduction

Because life cycle assessment (LCA) is still perceived as costly and time consuming (Hammerschlag et Barbour 2006, Charron-Doucet 2007), organizations³ may be inclined to overlook it when implementing their environmental management systems (EMS) and annual reporting tools.

However, life cycle thinking (LCT) is already part of certain EMS tools, including greenhouse gas accounting (GHG accounting). Proof is in the work of the *GHG Protocol Initiative* to more explicitly include LCT in its corporate GHG accounting methodology (WBCSD and WRI, 2008a). Moreover, while Weidema *et al.* (2008) consider carbon footprinting to be a catalyst for LCA, Christensen (2008) considers it to be LCA's confluence to GHG accounting.

GHG accounting is evolving but still faces some criticism. Considered by some as an inexact science because of the discordances between the multiple methodologies (Brown and Leonard, 2004), it presents discrepancies in boundary setting (Spannagle, 2003) and displays a multiplicity of definitions (Wiedmann and Minx, 2007). These issues are obstacles to the compatibility and comparability of GHG accounting of organizations within each industrial sector.

Seeing as the comparability of corporate carbon footprinting methods is high on the agenda of international climate change management (Raimbault and Darras, 2008), LCA offers an interesting approach to tackle this GHG accounting issue. Moreover, LCA's extended accounting boundaries (including all life cycle stages) paired with its broader impact assessment (up to 15 potential environmental impact categories) is expected to provide a clearer picture of corporate environmental footprints and enlighten management decisions.

³ Throughout this paper, the term "organization" is meant to include companies, businesses and other types of organizations.

This paper aims to 1) identify similarities and key differences between GHG accounting and LCA 2) compare them on a consistent basis. An illustration is provided through the case study of a waste management organization.

5.2.3 Methodology

A case study of a waste management organization⁴ was conducted. The following sections present how it aligned the frameworks of both methodologies one to each other in order to 1) identify their key similarities and differences 2) enables a consistent comparison of their results.

The following operating activities were taken into account: cleaning, collecting, sorting and transferring waste and waste recovery and treatment such as physico-chemical treatments, landfill and incineration. The “administrative” aspect is also included through employee business travel, commuting and the offices’ energy and supply consumption. GHG accounting and LCA methodologies are compared for these same system boundaries.

It is to be noted that all recycling and conversion issues (sometimes considered as environmental credits) were excluded from the system boundaries of this case study. In fact, attributional LCA does not deal with environmental savings. The *GHG Corporate Protocol* (WBCSD and WRI, 2006) suggests optional reporting and does not provide sufficient guidelines on the topic.

5.2.3.1 *GHG accounting*

Corporate GHG inventorying can serve several business goals, including GHG risk management and reduction opportunity identification, public reporting, participation in voluntary GHG programs, mandatory reporting programs and GHG markets, and recognition for early voluntary action (WBCSD and WRI, 2006).

For this study, the GHG accounting data was collected from the organization’s reporting tool and accounted for following the *EpE Protocol* (EpE, 2006) and the *GHG Protocol*

⁴ A business unit of Veolia Environmental Services.

guidelines (WBCSD and WRI, 2006). Organizational boundaries were set over all of the waste management activities undertaken by the business unit. Operational boundaries followed the control rule (WBCSD and WRI, 2006), which means that an emissions source is accounted for if the business unit has either a 50% financial control (through financial participation) or the operational control (authority over the operating procedures) over it.

GHG emissions focusing on CO₂, N₂O and CH₄ (as set by EpE, 2006) were divided into three accounting *scopes* based on the *GHG Corporate Protocol*: direct GHG emissions (*Scope 1*), indirect emissions related to electricity, heat and steam production (*Scope 2*) and other indirect emissions (*Scope 3*). Each GHG was calculated separately using emission factors or appropriate modelling (WBCSD and WRI, 2006; IEA, 2009). Non carbon dioxide emissions were characterized as CO₂ equivalent using global warming potential factors (GWP) (IPCC , 2007) in a 100-year horizon (UNFCCC, 1997).

5.2.3.2 LCA

Regulated by the ISO 14040 series standards (ISO, 2006), life cycle assessment addresses the environmental aspects and potential environmental impacts (e.g., use of resources and the environmental consequences of releases) throughout a product or service's life cycle. LCA is a detailed and quantitative inventory and impact assessment of the inputs and outputs measured at the boundaries of a system. Most processes of a waste management life cycle consume energy and non-renewable resources and generate certain environmental impacts, which can be global (ozone depletion, global warming, etc.), regional (acidification, eutrophication, smog, etc.) or local (toxicological or ecotoxicological impacts).

Since its methodology differs from GHG accounting, LCA was adapted into a comparable framework: each LCA process had to be disaggregated into the same three *scopes*. Emissions were taken directly from the organization's reporting tool and completed by literature or *ecoinvent 2.0* generic data (for non-reported emissions, upstream and downstream inventory data, and "administrative" data). The functional

unit of the LCA is defined as the annual activity of the organization and the system boundaries therefore include the operating activities but also the “administrative” aspects and the upstream and downstream processes (Figure 5-1).

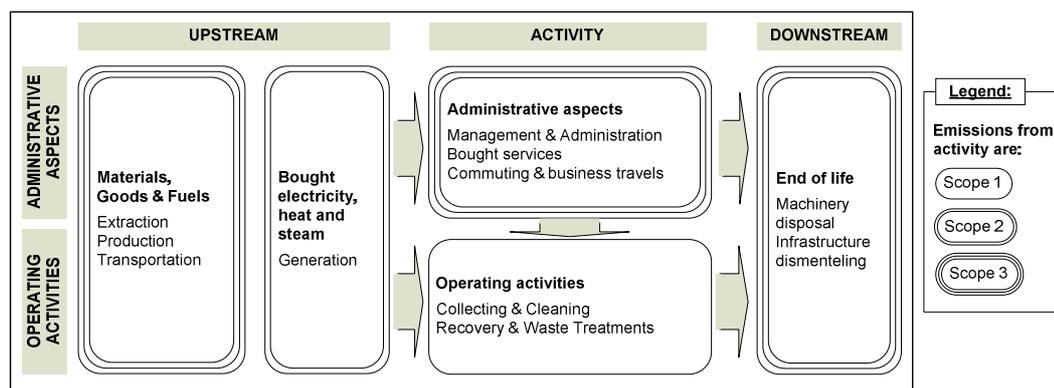


Figure 5-1 : LCA’s system boundaries for a waste management organization, categorized according to GHG accounting *scope* definitions.

Key assumptions

The following assumptions were made:

- Short-cycle biogenic carbon emitted as CO₂ (Manfredi and Christensen, 2009) as well as CO₂ emitted from biogenic CH₄ combustion were considered to have no contribution to global warming. Short-cycle sequestered biogenic carbon was not accounted for as a GHG saving. Biogenic C emitted as biogenic CH₄ (i.e., from composting emissions or diffuse landfill biogas) was considered to have the same global warming potential as fossil CH₄ (Zhao *et al.* 2008);
- In relation with the organization considered in the case study, the French grid mix is used for all activities on the French territory that consume electricity.

Modelling and impact assessment

The system was modelled using SimaPro 7.1 software (PRé Consultants, 2007). To maintain coherence with the GHG accounting results, life cycle global warming impacts were assessed using IPCC AR4 GWP 100 years (IPCC, 2007). The IMPACT2002+ method (Jolliet *et al.*, 2003) was used to assess the other potential environmental impacts classified in 14 midpoint categories and four endpoint categories.

5.2.4 Results and discussion

The case study enabled the identification of similarities and key differences between methodologies. They help with the interpretation of the results, which were assessed sequentially. First, climate change impacts were compared over the same boundaries, here *scope* 1 and 2. Then, boundaries were extended to encompass *scope* 3 emissions. Finally, the impact assessment was widened.

5.2.4.1 *Comparison of key methodological components*

Tableau 5-1 summarises the comparison of both methodologies' key components.

Tableau 5-1 : Comparison of methodological components of GHG accounting and LCA

Methodological component	LCA	GHG accounting
System boundaries	No distinction between direct and indirect emissions: - Life cycle stages - No distinction for electricity	Distinction between direct and indirect emissions: - no distinction between upstream and downstream for indirect emissions - distinction for electricity
Inventory	Combination of foreground system specific inventory information with background generic data	Foreground system specific inventory
	- Primary data - Generic inventory database (<i>ecoinvent 2.0</i>) - Modelling: for landfill diffuse emissions, annual weighted average from a four period time degradation multiphase model	- Primary data - Emission factors: proxy measures of activity at an emission source (WBCSD and WRI, 2006) - Modelling: for landfill diffuse emissions, annual weighted average from a four period time degradation multiphase model
	Substances emitted to air, water and soil	Six GHG emitted to air
Impact assessment	Multi-impact assessment: - Climate change impact: IPCC 100year - Other impact categories: <i>IMPACT2002+</i>	Single impact assessment: - Climate change impact: IPCC 100years
Temporal aspect	Overall potential impacts usually aggregated to present	Annual impact

As LCA can be structured in the three *scopes* framework of GHG accounting, both methodologies are compatible regarding their system boundaries. The compatibility of temporal framework is enabled through LCA's functional unit which is set to the organization's annual operations.

The interpretation of both methodologies' results is in light of their differences regarding inventory and impact assessment.

5.2.4.2 Comparison of climate change impact assessments

Climate change impact assessment over scope 1 and scope 2 boundaries

Climate change impacts assessed by GHG accounting and LCA were compared over the same system boundaries, which include *scope 1* direct emissions and *scope 2* indirect emissions related to purchased electricity (Tableau 5-2). Note that "administrative" aspects are not presented in this table since they pertain entirely to *scope 3* (other indirect emissions).

Tableau 5-2 : Comparison of GHG accounting (GHG-a) and LCA climate change results over scope 1 and 2 boundaries

Category of activities	Comparison ratio GHG accounting / LCA (t. CO ₂ -eq/ t. CO ₂ -eq)	
	<i>scope 1</i>	<i>scope 2</i>
Cleaning and collecting (C&C)	0.97	0.91
Sorting and transferring (S&T)	0.97	0.91
Physico-chemical treatment (PCT)	0.42	0.91
Landfilling (LAN)	0.96	0.91
Incineration (INC)	0.99	0.91
SUB-TOTAL	0.97	0.91
TOTAL	<i>scope 1 + 2</i>	
	0.97	

Comparison ratios (GHG accounting/LCA) lower than 1 indicate that the climate change impact score modelled with LCA is higher than the GHG accounting result. Differences

between both methodologies are linked to their respective assumptions and are dependant on the type of activity assessed.

With regards to direct emissions results (*scope 1*), the main source of discrepancy is related to the accounted substances and data sources. GHG accounting uses primary activity data through measurement or calculation and focuses on specific GHGs. In addition to these specific data, LCA relies on generic information to complete the inventory of emitted substances in the life cycle perspective.

Indirect emissions from electricity consumption (*scope 2*) show a constant comparison ratio for all activities, since the same consumption data adapted to the French grid mix was used in both methods. The 0.91 ratio value is explained by the fact that emission factors from GHG accounting (IEA, 2005) consider the production of purchased electricity (WBCSD and WRI, 2008b), while the electricity LCA process (*ecoinvent 2.0*) considers the entire upstream production process, including transmission and distribution losses, as well as the extraction, production and transportation of the fuel consumed by electricity generation.

Figure 5-2 shows the relative contributions of the different GHGs to the climate change impact for each activity over *scope 1* and *scope 2* boundaries taken together.

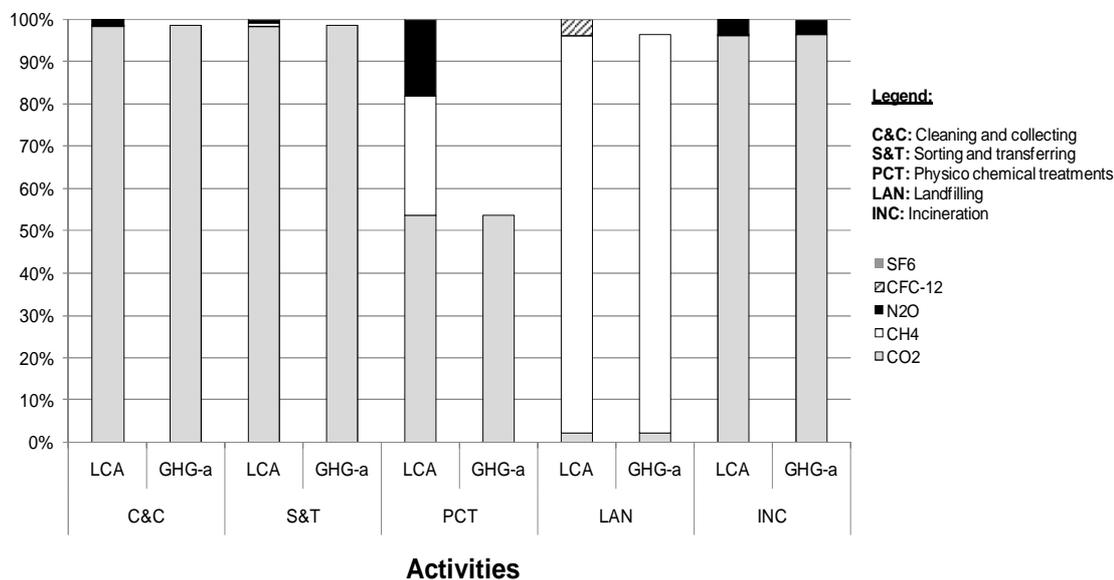


Figure 5-2 : Substances' contributions to climate change – Comparison of GHG accounting (GHG-a) results relative to LCA results – cumulative results for scope 1 and 2

Results show that GHG accounting's focus on CO₂, CH₄ and N₂O in an annual reporting context is quite consistent with LCA results. These three substances are identified as the main contributors to climate change, covering between 54% and 99% of GHG emissions captured by LCA, depending on the type of activities considered, and 97% of the overall operating activities.

However, some differences between the two methodologies stand out, mainly due to their respective assumptions and data sources. For example, the results for physico-chemical treatment activities highlight the differences in accounting for CH₄ and N₂O from composting or biopile soil treatment. There is a discrepancy amongst accounting guidelines whether GHG accounting should account for them or not. In this case, the LCA model accounts for them, in keeping with the *GHG Protocol* (WBCSD and WRI, 2006), and the organization's GHG accounting does not, in keeping with the *EpE Protocol* (EpE 2006).

In the case of landfilling, GHG accounting results are 5% lower than LCA's since emissions from the stabilization process upstream to hazardous waste landfilling were added to the LCA inventory from a generic source (ADEME, 2003). For incineration, the difference between the N₂O results of GHG accounting and LCA is due to the N₂O emissions from hazardous waste incinerators that are included only in the LCA inventory, as suggested by *IPCC guidelines* (IPCC, 2006).

From generic data (ecoinvent v2.0), LCA also identified two substances that are not included in GHG accounting but which contribute to over 0.1% of the organization's LCA climate change impact: SF₆ from physico-chemical treatments, sorting and transferring, and the CFC-12 emitted by landfills.

Comparing the LCA climate change impact to GHG accounting's over the same system boundaries highlights the importance of data sources and assumptions. While the use of generic data in LCA allows for the accounting of a broader inventory of emissions, uniformity throughout accounting guidelines is a major issue to ensure comparable reporting over time and from one waste organization to another.

Climate change impact assessment extended to scope 3

The *GHG Corporate Protocol* states that *scope 3* is an optional reporting category that allows for the treatment of all of the other indirect emissions. *Scope 3* emissions are a consequence of a company's activities but stem from sources that are not owned or controlled by the company (WBCSD and WRI, 2006). Given that *scope 3* accounting guidelines are not yet available, the current GHG accounting procedure of the organization under study only accounts for a partial *scope 3*, including a few indirect emissions ensuing from the organization's reported data (e.g.: work vehicles and business travel).

From a life cycle perspective, *scope 3* is essential since it takes all of the upstream and downstream processes neglected by the first two *scopes* into account. In this study, the

scope 3 LCA inventory includes (through generic LCA data (*ecoinvent 2.0*) or literature) extraction, production and transport of purchased materials and fuels, infrastructures and equipment construction and maintenance, the end-of-life of purchased materials, and the “administrative” aspects (commuting, work vehicles, business travel, office procurements and energy consumption).

Figure 5-3 compares the extent of *scope 3* for by both methodologies. To visualise their importance, GHG accounting’s boundaries are extended to include *scope 3* emissions and its results are compared with those of LCA encompassing all *scopes* (Figure 5-3).

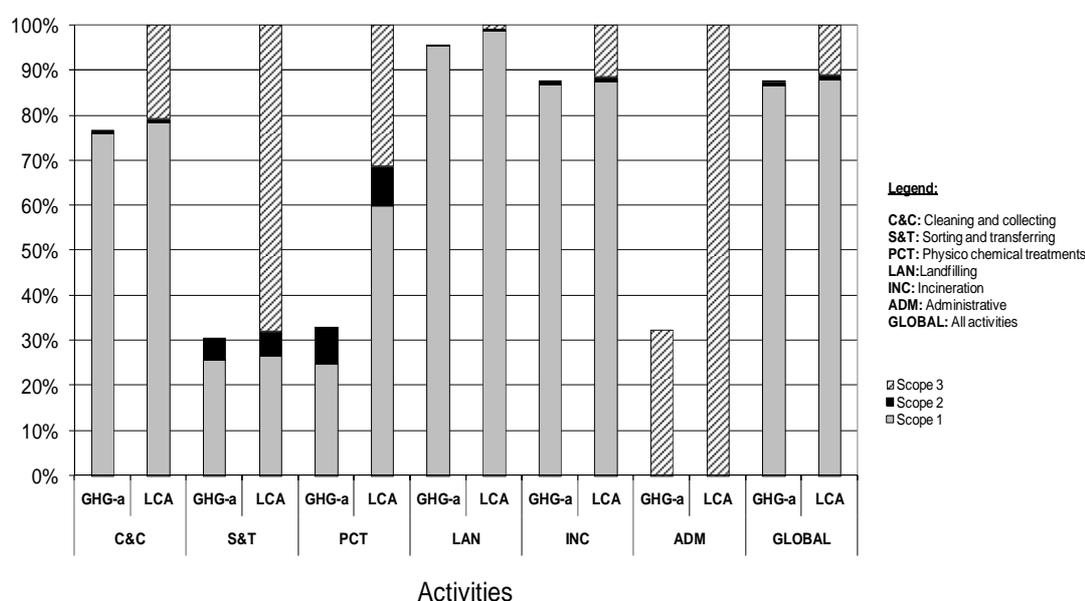


Figure 5-3 : Contribution to climate change of the three *scopes* for each activity category

In this study, LCA results show that *scope 3* emissions represent around 10% of the global impact on climate change of the waste management organization considered. This proportion could increase since the LCA modelling of the administrative sector is probably partial and does not include certain unavailable data such as marketing and legal expenses. In comparison, indirect emissions accounted for by the current GHG accounting procedure represent 0.3% of the waste management organization’s global GHG emissions.

LCA results highlight two kinds of activities: those for which *scope 1* is more emission-intensive than *scopes 2* and *3* and others for which taking into account *scope 1* only leads to an underestimation of the overall emissions. The first type relates to typically high-emitting activities, such as incineration or landfilling. This characteristic is inherent to the nature of the activity (combustion in the case of incineration) or the global warming potential of the emitted substances (CH₄ from diffuse biogas emission). The second type of activities is associated with activities for which the supply chain is GHG intensive. For sorting and transferring (S&T), *scope 3* emissions come from the production, maintenance and disposal of trucks as well as fuel and diesel production. In this case, assessing only for *scope 1* and *2* does not provide an adequate picture of the overall climate change impact.

Cleaning and collecting (C&C) and physico-chemical treatments (PCT) are less easily categorized. For C&C activities, *scope 3* shows a contribution of around 20%, which is mostly associated with the production of consumed fuels. For PCT, which include biopile treatment activities, *scope 3* emissions (around 30% of the total impact) arise out of the processes of the upstream supply activities (production of chemicals and organic enrichment).

The extension of the accounting boundaries makes it possible to evaluate the contribution of indirect emissions to the total climate change impact of a corporation. In the case of a waste management organization, depending on the activities considered, *scope 3* emissions are not negligible, and including them in the GHG accounting would provide a more complete picture of the impact on climate change.

5.2.4.3 Consideration of others impact categories

The second main difference between GHG accounting and LCA lies in the fact that the latter assesses many environmental impact categories. Therefore, life cycle impact assessment (LCIA) makes it possible to evaluate whether GHG accounting should be completed by other reporting tools in order not to overlook any environmental impacts of significant importance.

For the three *scopes*, Figure 5-4 shows the contribution to midpoint impact categories (*IMPACT 2002+*) of each activity of the organization considered. Results from Figure 5-4 illustrate that an activity that seems to have no apparent impact on climate change may contribute to another impact category. For example, in the case of the waste management organization considered, cleaning and collecting activities contribute less than 7% to the climate change impact (*scope 1 and 2*). Yet, these activities contribute to more than 25% and up to 40% of the impacts for respiratory organics, respiratory inorganics, terrestrial acidification, nitrification and aquatic acidification, related to fuel combustion. On the other hand, incineration activities, which are the main contributors to climate change, appear to have a negligible impact on ozone depletion.

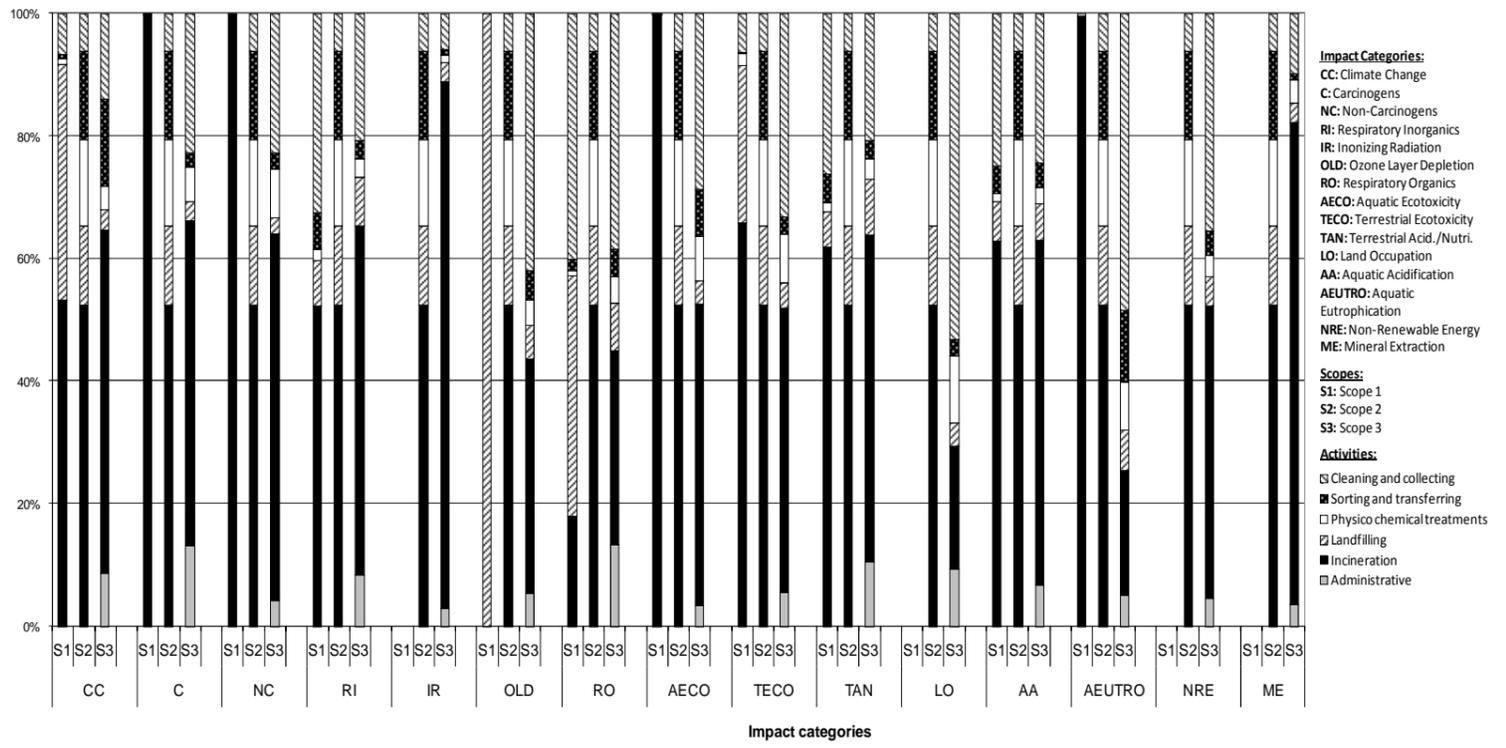


Figure 5-4 : Contribution of activities to midpoint impact categories for each scope.

In this study, because no heat or steam was purchased, the *scope 2* LCIA results represent the environmental profile of the selected electricity grid mix. Comparisons of the contributions of the different activities to *scope 2* (identical for all impact categories) show energy demand distribution throughout the organization. Incineration is responsible for approximately 50% of the energy demand, while the electricity consumption of “administrative” activities is insignificant (Figure 5-5).

Figure 5-5 presents the LCIA results of the four endpoint categories (*IMPACT 2002+*).

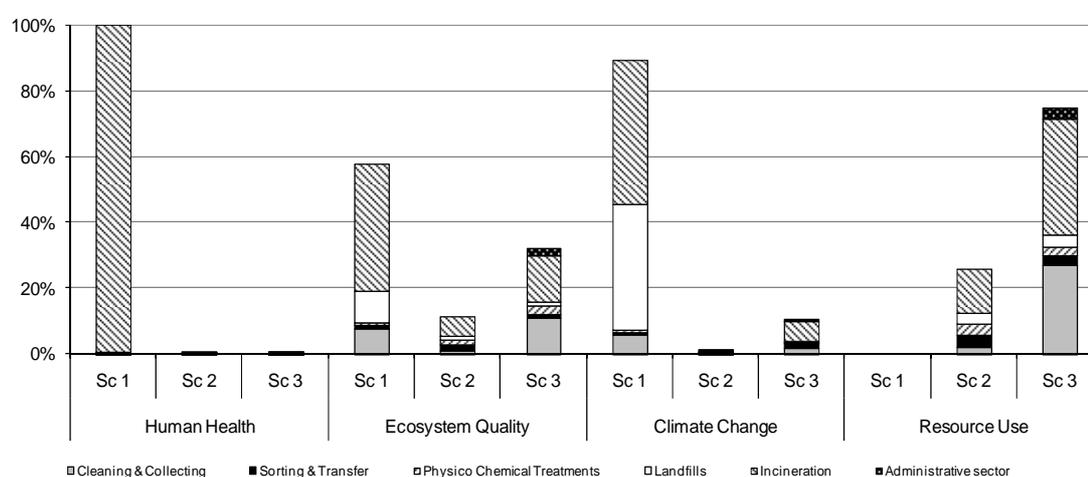


Figure 5-5 : Contributions of the three scopes – all activities.

It shows that only assessing *scope 1* emissions will determine most of the *climate change* (around 90%) and *human health* (100%) damages. However, the *ecosystem quality* result is not as clear as *scope 2* and *scope 3* emissions contribute to more than 40% of the damage. For fuel-intensive activities (cleaning and collecting, sorting and transferring), biopile treatments (from physico chemical treatments) and landfilling, *scope 2* and *3* emissions have a significant or even dominant contribution to the impact. Nevertheless, for incineration activities, *scope 1* will encompass most of the damage.

Figure 5-5 also shows that *Resource use* damages are distributed between *scope 2* or *3* only, since *scope 1* does not account for any material consumption (but only for generated emissions). The contribution of *scope 3* to *resource use* damages (over 75%)

highlights the fact that *scope 3*'s processes are related to resources extraction and supply activities. Moreover, *scope 3*'s impact on resources is dominated by cleaning and collecting and incineration activities, which consume significant quantities of fuels (diesel and natural gas).

Therefore, in this case study, LCIA midpoint and endpoint results show that solely analyzing climate change impact does not yield the organization's overall environmental footprint.

5.2.5 Conclusion and recommendations

This paper enabled the identification of key differences between GHG accounting and LCA as well as their systematic and consistent comparison. LCA system boundaries were disaggregated on the three *scopes* of GHG accounting and the functional unit set to one year of activity. Results, illustrated through a case study of waste management organisation, demonstrated the added value of LCA for GHG accounting, being i) an improved and comprehensive assessment of *scope 3* and to a minor extend of *scope 2* and ii) a multicriteria impact assessment avoiding burden shifting in decision making.

This approach does, however, have certain limitations. The chosen system boundaries exclude conversion and recycling issues in order to remain consistent with attributional LCA principles. However, a collateral limit of this assumption is that it does not reflect EMS concerns with regards to the positive corporate image that environmental savings lead to. Future work should consider this aspect.

The following conclusions can be pointed out to waste managers seeking an accurate environmental footprint of their activities.

Firstly, the comparison of the GHG accounting and LCA results over *scope 1* and *2* shows the importance of data sources and assumptions. While the use of generic data in LCA makes it possible to account for a broader inventory of emissions, uniformity throughout the accounting guidelines is a major issue to ensure consistency of reporting in time and from one waste management organization to another.

Secondly, assessing *scope 1* and *scope 2* emissions through GHG accounting as conducted determines most but not all of the climate change impacts (around 90% in this case study). Moreover, *scope 1* and *scope 2* will reflect most of the impacts on *human health* and around 70% of the impact to *ecosystem quality*. However, the impact on *resource use* is not determined by *scope 1* or *scope 2* of the GHG accounting.

Extending accounting boundaries to include *scope 3* leads to the conclusion that, in the case of a waste management organization, the indirect emissions are not negligible and including them would provide a more complete picture of the impact on climate change. In this case study, administrative aspects contribute to less than 10% of *scope 3* GHG emissions. It is therefore best to invest efforts in procurement (materials and fuels) data collection efforts rather than office consumption and commuting data collection.

Given these results, it is possible to formulate a recommendation regarding *scope 3*. The other indirect emissions as stated by the *GHG Protocol* constitute a melting pot that does not distinguish the emissions from upstream and downstream flows from those of “administrative” aspects. Breaking down *scope 3* into different indirect emissions categories would ensure more enlightened environmental management decisions.

Finally, the study shows that LCA can help managers set up the framework of consistent yearly environmental accounting by determining the major climate change contributors and the organization’s contribution to other environmental impacts in order to better ascertain the overall environmental footprint of the organization.

6 CHAPITRE 6 : Résultats complémentaires

Ce chapitre présente un complément à la comparaison des résultats d'ACV aux bilans GES.

Il est structuré selon les trois cadres d'analyse comparative correspondant aux critères de validation. Les résultats sont donc d'abord comparés quant aux mêmes frontières, soit les *scope* 1 et 2 successivement. Puis, les frontières de comptabilisation sont étendues au *scope* 3, en ne considérant que l'impact du changement climatique. Selon l'axe de l'évaluation des impacts, l'analyse d'impact est finalement élargie. Il est à noter que l'horizon temporel demeure fixé à une année d'opération.

Par souci du respect de la confidentialité des données s'y trouvant, le chapitre 6 est dans son intégralité présenté à l'Annexe H.

7 CHAPITRE 7 : Discussion générale

Ce chapitre remet en perspective les différents éléments du mémoire les uns par rapport aux autres. Il fait le lien entre l'approche conceptuelle proposée, l'article et les résultats complémentaires de l'étude de cas.

L'approche conceptuelle est tout d'abord validée en fonction des critères établis à la section 4.3. Son applicabilité à d'autres domaines et secteurs industriels est ensuite discutée et ses avantages et limites présentés.

7.1 Validation et applicabilité à d'autres domaines

7.1.1 Validation

Pour être validée, l'approche conceptuelle de l'intégration de l'ACV dans la quantification GES doit satisfaire les trois critères présentés au Tableau 4-2 de la section 4.3. En regard des résultats présentés aux chapitres 5 et 6, le tableau est mis à jour comme suit :

Tableau 7-1 : Validation de l'approche conceptuelle

#	Cadre d'analyse de comparaison		Critère	Résultat escompté	Résultat observé
	Bilan GES	ACV			
1	Changement climatique		Cohérence des inventaires	Ratio de comparaison GES (kg CO ₂ éq.) / ACV (kg CO ₂ éq.) = 1.0 ± 10%	<u>Scope 1 :</u> • 1.0 ≤ 3% pour 4 cas sur 5 • 1.0 ≥ 50% pour 1 cas <u>Scope 2 :</u> • 1.0 < 9%
	S1 + S2	S1 + S2			
2	Changement climatique		Représentation plus complète de l'impact de la chaîne logistique sur le changement climatique	Résultat GES ≤ Résultat ACV	Résultat GES = 89% du Résultat ACV
	S1 + S2 + S3 partiel	S1 + S2 + S3			
3	Multi-impacts		Représentation étendue de l'impact environnemental	Identification d'au moins une catégorie d'impacts pour laquelle le bilan GES n'est pas à même de cibler l'activité principalement contributrice	1) L'incinération, contributrice principale au changement climatique, apparaît négligeable sur la destruction de la couche d'O ₃ ; 2) La collecte et le nettoyage contribuant faiblement au changement climatique a un impact significatif sur d'autres catégories
	S1 + S2 + S3 partiel	S1 + S2 + S3			

Tel que le confirme le Tableau 7-1, l'approche conceptuelle est validée.

En effet, le premier critère de validation est atteint même si une des cinq catégories d'activités l'excède (écart à 1.0 du ratio de comparaison ≥ 50% pour les traitements

physico-chimiques). En effet, ce résultat spécifique a été attribué à des différences d'hypothèses entre les deux méthodologies en ce qui concerne la comptabilisation du CH₄ biogénique.

Le second critère de validation est également atteint puisque l'ACV a mis en évidence la contribution de la chaîne logistique au changement climatique.

Finalement, le troisième critère est atteint. En effet, l'incinération, contribuant à 55% de l'impact sur le changement climatique, a un effet négligeable sur la destruction de la couche d'ozone. Cette dernière est plutôt attribuable à l'enfouissement. Également, la collecte et le nettoyage, même s'ils ne causent que 7% de l'impact au changement climatique, sont responsables de 25 à 40% de l'impact pour quatre autres catégories : effets respiratoires organiques et inorganiques, acidification et nitrification terrestre ainsi qu'acidification aquatique.

Il est intéressant de noter que l'ACVI du *scope 3*, si elle ne fait pas directement partie des critères de validation, réitère l'importance de son inclusion dans les frontières de comptabilisation. En effet, la majorité des impacts sur les ressources lui sont associés (autour de 75% selon la Figure 5-5).

Les trois critères sont donc atteints et l'approche validée.

7.2 Avantages et limites

Les avantages et limites de l'approche conceptuelle ici proposée sont discutés en regard des différentes problématiques soulevées dans la revue de la littérature et de la comparaison systématique présentée au Tableau 2-3.

7.2.1 Avantages

7.2.1.1 *Chaîne logistique*

À prime abord, les méthodologies d'ACV et de comptabilisation GES ne traitent pas de la même façon des frontières de système. En effet, l'ACV ne distingue pas les émissions directes des indirectes puisque son analyse est plutôt orientée autour des étapes du cycle de vie. Quant à elle, la comptabilisation GES le fait, mais ne subdivise pas les émissions indirectes en catégories selon leur place dans le cycle de vie : elle ne différencie pas les émissions ayant lieu en amont ou en aval de l'activité d'opération. L'approche conceptuelle présente l'avantage d'harmoniser les deux méthodologies. En effet, grâce à la déstructuration des processus ACV, elle permet la compatibilité des frontières de système des méthodologies d'ACV et de comptabilisation GES.

Également, l'approche conceptuelle présente l'avantage de combiner des données génériques ACV dites d'arrière-plan à des données spécifiques d'avant-plan. Cela diminue donc l'incertitude associée au système (Ross *et al.*, 2003). L'inventaire, limité par la comptabilisation GES à des flux élémentaires sortants, s'en trouve alors enrichi : c'est vrai tant au niveau des flux élémentaires sortants, dont l'éventail est diversifié, qu'au niveau des flux élémentaires entrants. Ces derniers ne font en effet pas partie de la comptabilisation GES.

Un autre avantage de l'approche conceptuelle est qu'elle traite de l'achat en électricité de façon distincte. Cela permet ainsi de dresser le profil de la demande énergétique de l'entreprise. L'ACV ne traite pas, quant à elle, de l'approvisionnement de l'électricité à part.

En plus de mettre en lumière l'importance de l'ouverture des frontières de comptabilisation pour y inclure le *scope 3*, l'approche conceptuelle présente l'avantage de mettre en lumière l'hétérogénéité dudit *scope 3*. Celle-ci résulte du fait que les activités administratives lui soient entièrement imputées au lieu d'être subdivisées en *scopes* au même titre que les activités d'opération. Elle permet donc une meilleure compréhension de la chaîne logistique, ce qui est à la base de l'efficacité des stratégies de gestion corporative de l'environnement et des stratégies de réduction des émissions (Cerf, 2009).

7.2.1.2 *Évaluation des impacts*

L'approche conceptuelle présente l'avantage de souligner l'importance d'une évaluation étendue des impacts. Elle met en évidence le profil environnemental du mélange énergétique utilisé. Combinée à une extension des frontières de comptabilisation, elle met en lumière des impacts qui ne seraient autrement pas pris en compte, par exemple, les impacts sur les ressources du *scope 3*.

Autant il est important qu'une organisation ait une représentation vraie et équitable de ses émissions (par une extension des frontières), autant il est important qu'elle évite de déplacer ses impacts. L'évaluation étendue des impacts offre une nouvelle perspective permettant d'optimiser l'efficacité et la stratégie des systèmes de gestion de l'environnement en entreprise.

7.2.1.3 *Horizon temporel*

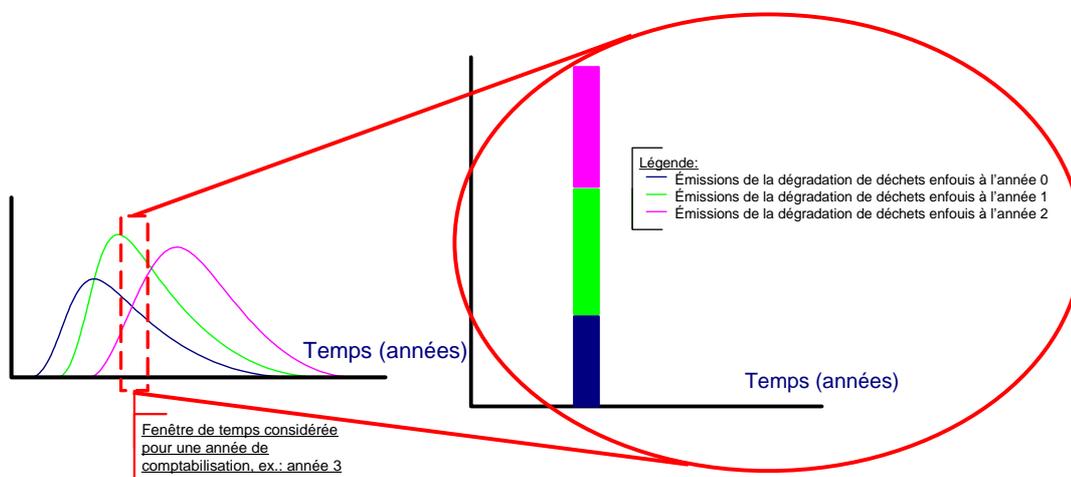
La distribution temporelle de l'impact étant critique dans l'attribution de la responsabilité du fardeau environnemental (Levine *et al.*, 2007), la discrétisation d'un inventaire ACV dynamisé prend tout son sens. Le domaine de la gestion des matières résiduelles est un bon exemple de son importance dans un contexte d'adéquation avec une comptabilisation annuelle. Les échelles temporelles de ses différentes opérations sont en effet différentes : la dégradation d'un déchet enfoui à l'instant présent générera des émissions de façon continue pendant 100 ans (Christensen *et al.*, 2008), mais le

traitement annuel du biogaz émis se fait de façon ponctuelle. L'ACV ne peut donc traiter de la même façon les sources d'émission ponctuelles et continues si elle souhaite faire l'adéquation avec l'horizon temporel de la comptabilisation GES.

Selon un point de vue classique de l'ACV, tous les impacts potentiels d'un déchet enfoui dans une année, soit tout son inventaire d'émissions, seraient intégrés à l'instant présent. En effet, une unité fonctionnelle classique en ACV de gestion des matières résiduelles est par exemple « l'enfouissement d'une tonne de déchets domestiques humides dans un site de 10 m de profondeur pour une durée de 100 ans » (Manfredi et Christensen, 2009).

Si une telle unité fonctionnelle était appliquée à un contexte de comptabilisation annuelle, elle attribuerait alors tout l'impact potentiel du déchet à l'année en cours, tant les émissions potentielles de sa dégradation que les émissions issues de l'opération du site. Or, le bilan annuel des opérations tient lui-même compte des émissions ponctuelles issues des activités de traitement annuel du biogaz.

Le biogaz traité lors d'une année d'opération représente, quant à lui, la somme des émissions issues de la dégradation des déchets enfouis les années précédentes. La Figure 7-1-a illustre ce concept : à chaque année d'enfouissement correspond une courbe d'émissions fonction de la dégradation du déchet. Les conditions d'enfouissement et la nature du déchet font varier les conditions de dégradation et incidemment, le profil de la courbe d'émissions (EPER, 2004).



a) profil d'émission des déchets enfouis sur 3 années différentes. b) fenêtre annuelle de comptabilisation – discrétisation.

Figure 7-1 : Discretisation annuelle d'un inventaire ACV.

Si la vision classique de l'ACV était appliquée, l'année en cours se verrait donc attribuer deux responsabilités : celle du déchet enfoui durant la présente année en plus de celle du traitement des déchets enfouis durant les années précédentes, depuis l'ouverture du site. Ceci donnerait lieu à un problème de double comptage lorsque l'année suivante, le biogaz diffus et traité est à nouveau compté dans l'inventaire des opérations. Il y aurait alors chevauchement des inventaires du fait de la non-adéquation des horizons temporels de comptabilisation.

Dans le cadre d'une comptabilisation annuelle, la discrétisation de l'inventaire ACV (Figure 7-1-b) permet d'éviter le double comptage ci-haut mentionné.

Il est à noter que l'approche conceptuelle ne cherche pas à remettre en cause la validité et la pertinence d'une telle unité fonctionnelle. Celle-ci a une place essentielle en ACV comparative de différentes méthodes d'enfouissement. D'autre part, elle pourrait également être choisie dans un cadre de comptabilisation annuelle : dans ce cas, il faudrait exclure la comptabilisation des sources ponctuelles liées à l'opération du site d'enfouissement pour éviter le double compte.

Dans un contexte où les différents acteurs de la chaîne logistique cherchent à représenter leur impact environnemental de façon juste et équitable, cette discrétisation de l'inventaire a un second avantage : éviter d'attribuer la responsabilité du déchet à l'organisation de gestion des matières résiduelles, ce qui serait le cas si les émissions potentielles du déchet enfoui entraient dans l'inventaire. Au contraire, le déchet est le fait de la société. La responsabilité de l'entreprise de gestion de matières résiduelles est plutôt d'en faire la meilleure gestion de fin de vie que possible.

Cet élément de discussion ramène à une des problématiques fondamentales de la comptabilisation GES : l'établissement des frontières et plus spécifiquement, l'établissement des frontières organisationnelles. Ces dernières attribuent la responsabilité d'une émission en totalité ou en partie à l'organisation à l'étude (voir section 2.1.3.1). Selon l'approche du contrôle, l'organisation doit avoir le contrôle financier ou opérationnel sur une source d'émissions pour se la voir attribuer à 100%. Une organisation de gestion de matières résiduelles possède certes le contrôle de son site d'enfouissement et de ses technologies de traitement, mais elle n'a pas de prise sur le déchet émis par la société. Celui-ci sort des frontières de son système. Il est alors justifié de ne pas lui attribuer la responsabilité du déchet dans un contexte de comptabilisation annuelle. Tel que proposé par l'approche conceptuelle, la discrétisation de l'inventaire ACV permet donc de se détacher de la problématique de l'attribution de la responsabilité du déchet au gestionnaire de matières résiduelles.

L'approche conceptuelle est en accord avec Brown et Behling (2006). Ceux-ci attribuent à la société d'une part les impacts du déchet mais d'autre part les bénéfices du recyclage et de la valorisation. Ceci est cohérent avec une perspective plus large d'inventaire national. En effet, si le déchet est le fait de la société, il est logique que le bénéfice de son recyclage lui revienne en partie. Elle ne pourrait toutefois se le voir accorder en totalité puisque la bonne recirculation d'un flux de matière ou d'énergie valorisé est le fait de plusieurs acteurs de la chaîne logistique.

7.2.2 Limites

7.2.2.1 *Chaîne logistique*

Par ailleurs, c'est justement une limite de l'approche conceptuelle que de ne pas tenir compte des bénéfices environnementaux issus du recyclage ou de la valorisation. De fait, elle n'est pas à même de refléter les préoccupations d'une stratégie corporative de gestion environnementale. Celle-ci cherchera à mettre l'emphase sur l'image corporative positive qui est associée à ces bénéfices environnementaux. De futurs travaux devraient donc chercher leur inclusion. Plus précisément, il s'agirait de les distribuer entre les différents acteurs de la chaîne logistique.

Par ailleurs, une autre limite de l'approche conceptuelle constitue également une des critiques de l'ACV : à vouloir comptabiliser les inventaires d'amont et d'aval, il y a risque de chevauchement des chaînes logistiques. En effet, les chaînes logistiques de différents secteurs de l'économie s'entrecroisent dans des réseaux complexes d'interactions économiques (Wiedmann *et al.*, 2007).

Celles-ci peuvent conduire à un double comptage (Wenzel et Villanueva, 2006) si les procédures d'établissement des frontières opérationnelles et organisationnelles ne sont pas standardisées (Cerf, 2009). Si la démarche de comptabilisation GES n'en perd pas en validité à l'échelle de la comptabilisation GES corporative interne (Hardy, 2007), Lieberman *et al.* (2007) maintiennent qu'elle mettrait en jeu la crédibilité de la démarche dans un cadre national de comptabilisation. En effet, ramenant la comptabilisation GES à son rôle d'outil de lutte contre le changement climatique via les marchés d'échange de carbone, le double comptage viendrait remettre en cause un des cinq piliers de la comptabilisation GES : sa cohérence (Hammerschlag et Barbour, 2003).

Ce constat ouvre la voie à un nouvel élément de discussion : comment intégrer le *scope* 3 à l'approche méthodologique en diminuant les risques de chevauchement des chaînes logistiques? Une ACV classiquement attributionnelle « de processus » doit garder pleine conscience de la difficulté d'obtenir des données complètes et de qualité en amont et en aval de la chaîne logistique. Ils sont en effet les plaques tournantes des échanges

économiques internationaux. Wiedmann *et al.*, (2007) jugent donc ambitieux de penser que des données suffisamment fiables soient disponibles d'autant plus que ces données sont face à des cas complexes d'imputation, de par le haut degré d'interaction entre les secteurs de l'économie. Il y a donc toujours un critère de coupure qui s'impose, de par le manque de la disponibilité de données fiables. L'incertitude et l'absence des données en amont et en aval crée un manque de données et augmente l'incertitude du système.

Pour pallier à cette limite, l'ACV hybride apparaît être une avenue intéressante de développement de l'approche conceptuelle (Wiedmann *et al.*, 2007). Elle combine ACV de processus et ACV Input/Output. Le Tableau 7-2 suivant présente les avantages et inconvénients de chacune :

Tableau 7-2 : Avantages et inconvénients des ACV de processus et Input/Output

Méthode	Avantages	Inconvénients
ACV de processus <ul style="list-style-type: none"> • Diagramme de flux • Système matriciel 	<ul style="list-style-type: none"> • Relations entre processus très détaillées • Faible incertitude 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessite une grande quantité de données • Erreur de troncature • Longue
ACV Input/Output <ul style="list-style-type: none"> • Tables de transaction monétaires sectorielles 	<ul style="list-style-type: none"> • Interrelations sectorielles complexes • Très complète • Rapide 	<ul style="list-style-type: none"> • Données incertaines • Agrégation • Peu d'outils logiciels

Wiedmann *et al.* (2007) définissent plusieurs types d'ACV hybrides (multi-niveaux, basée Input/Output et intégrée). Le type multi-niveaux fournirait un intéressant premier développement à l'approche conceptuelle : les principaux processus contributeurs à l'impact environnemental seraient définis par ACV de processus et les autres par Input/Output.

7.2.2.2 *Évaluation des impacts*

L'approche conceptuelle n'apporte pas de solution en ce qui concerne la critique quant au fait que les résultats de l'ACV sont trop complexes à communiquer (Hammerschlag et Barbour, 2003). Une solution pourrait être envisagée. En effet, la méthodologie ACV peut pousser l'ACVI jusqu'à un indicateur unique (tel que défini à la section 2.2.3). Pour ce faire, les résultats pourraient être normalisés puis pondérés.

Tout d'abord, la normalisation est une étape optionnelle de l'ACV qui remet les résultats de l'ACV en référence à la consommation d'un citoyen moyen ou à une consommation nationale. En regard de cette référence, elle présente l'avantage de pouvoir comparer des catégories de résultats d'impacts les unes par rapport aux autres.

Dans un cadre de comptabilisation corporative des GES, la normalisation est pertinente puisqu'elle permet une analyse de la contribution corporative au fardeau environnemental national. Ce pourrait donc constituer un développement de la démarche dans les années à venir. C'est d'autant plus pertinent dans un contexte de comparaison nationale des performances environnementales des entreprises.

Or, l'approche conceptuelle telle que proposée ici ne permet pas de directement normaliser les résultats. En effet, *IMPACT2002+* considère par défaut un horizon temporel de 500 ans. Or, le résultat du changement climatique était tiré ici d'une modélisation avec la méthode de l'IPCC2007 sur un horizon de 100 ans pour permettre son adéquation avec le résultat de la comptabilisation GES. Il n'est donc pas possible de normaliser les résultats sans créer une incohérence. Ils devraient plutôt être transformés par un horizon de 100 ans, en modifiant *IMPACT2002+* adéquatement.

Ensuite, pour avoir un indicateur unique, les résultats pourraient être pondérés selon une échelle de valeurs. Dans un contexte d'outils corporatifs de comptabilisation annuelle, il conviendrait d'arbitrer la part à donner à chacune des catégories d'impact pour refléter les objectifs de la démarche.

Ce propos doit être nuancé et considéré avec précaution puisque la pondération est une démarche à double tranchant. En effet, si elle simplifie les résultats et en facilite ainsi la communication, elle risque en contrepartie de les sur-simplifier. Ce faisant, la démarche perd en transparence.

7.2.2.3 *Horizon temporel*

L'approche conceptuelle propose la discrétisation d'un inventaire ACV dynamisé. C'est une notion qui prend son importance uniquement pour les sources dont l'émission est continue pour une période plus longue que la période de comptabilisation. Le cas rencontré dans l'étude de cas touche les émissions diffuses des sites d'enfouissement. La discrétisation effectuée est très simple et touchait les compositions de biogaz. Celles-ci étaient issues de la littérature (Source de données confidentielles non disponible #1) et du modèle de dégradation en quatre phases du logiciel EASEWASTE (Kirkeby *et al.*, 2005). La composition du biogaz issu de la dégradation du déchet est adaptée à chacune de ses quatre phases, de durées différentes. La discrétisation a simplement constitué en une moyenne pondérée des compositions. Couplées à des données de débits de biogaz traités, des taux de captage et d'oxydation, il était ensuite possible de calculer les émissions.

Ainsi, étant donné l'état de l'art de l'ACV dynamique, qui n'en est qu'à ses débuts, force est de constater que c'est une représentation réductrice de la réalité. La dynamisation de l'inventaire n'est en effet pas précise et la discrétisation est simpliste. Il serait intéressant que de futurs travaux reprennent le même exercice pour un profil d'émissions et de compositions du biogaz complètement dynamisé. Pour discrétiser cet inventaire, il s'agirait par la suite d'utiliser des techniques de différences finies telles que proposées par le domaine mathématique de l'analyse numérique.

7.3 Applicabilité à d'autres domaines

L'approche conceptuelle a été validée par une application dans le domaine de la gestion des matières résiduelles. Dans un contexte d'inventaire national, son statut est particulier puisqu'il correspond à la fin de vie de tous les autres secteurs de l'économie : ce faisant, il pourrait être cause de double comptage. Toutefois, l'approche conceptuelle permet de l'éviter en attribuant à l'organisation de gestion des matières résiduelles non pas la responsabilité du déchet émis, mais plutôt sa meilleure gestion de fin de vie.

Une application à une autre organisation de services pourrait être envisagée. La même logique de répartition des émissions entre les différents *scopes* de comptabilisation pourrait être reproduite. La répartition des émissions et des impacts entre les trois *scopes* varierait en fonction du service offert. Ainsi, il est à prévoir que la phase d'opération d'une organisation offrant des services de bureaux sera dominante de par sa grande demande en électricité (Kofoworola et Gheewala, 2008) : selon la répartition en *scopes*, cela se traduirait par une domination du *scope 2*.

Son application pourrait également se faire pour une organisation produisant un bien de consommation. Le cycle de vie de chaque produit présente une phase d'utilisation qui lui est propre. Un « profil d'utilisation » devrait alors être défini suivant les règles de catégorisation des produits (BSI British Standard, 2008). Ces dernières étant basées sur une pensée cycle de vie (International EPD® System, 2009), elles demeurent cohérentes avec l'approche conceptuelle. La responsabilité des émissions émanant de l'utilisation et de la fin de vie de l'organisation lui sont alors attribuées (BSI British Standard, 2008). L'achat d'électricité destinée à l'utilisation du produit pourrait entrer dans un « *scope 2* d'utilisation ».

Dans une optique de comptabilisation corporative interne, la fin de vie pourrait être attribuée au produit. Toutefois, dans une optique de comptabilisation corporative publique et d'inventaire national, l'approche du berceau à la barrière (excluant la fin de vie du produit) devrait être envisagée. Cela permettrait d'éviter le chevauchement avec la chaîne logistique de l'entreprise de gestion des déchets. Rappelons en effet que

l'approche conceptuelle proposant d'attribuer le traitement de fin de vie du produit est comptabilisé au *scope 1* de l'organisation de gestion des matières résiduelles. Si l'approche berceau à la barrière n'est pas utilisée, le *scope 1* de l'organisation de gestion des matières résiduelles chevauchera le *scope 3* de l'organisation ayant produit le bien initial.

Tel que discuté à la section 2.1.4, ce double comptage nuirait au développement d'un marché d'échange dans un contexte de politiques nationales. Toutefois dans une optique de comparaison des produits, il serait correct d'inclure la fin de vie au bilan. La Figure 7-2 ci-dessous illustre l'applicabilité de l'approche conceptuelle à un fournisseur de biens et le chevauchement potentiel des chaînes logistiques.

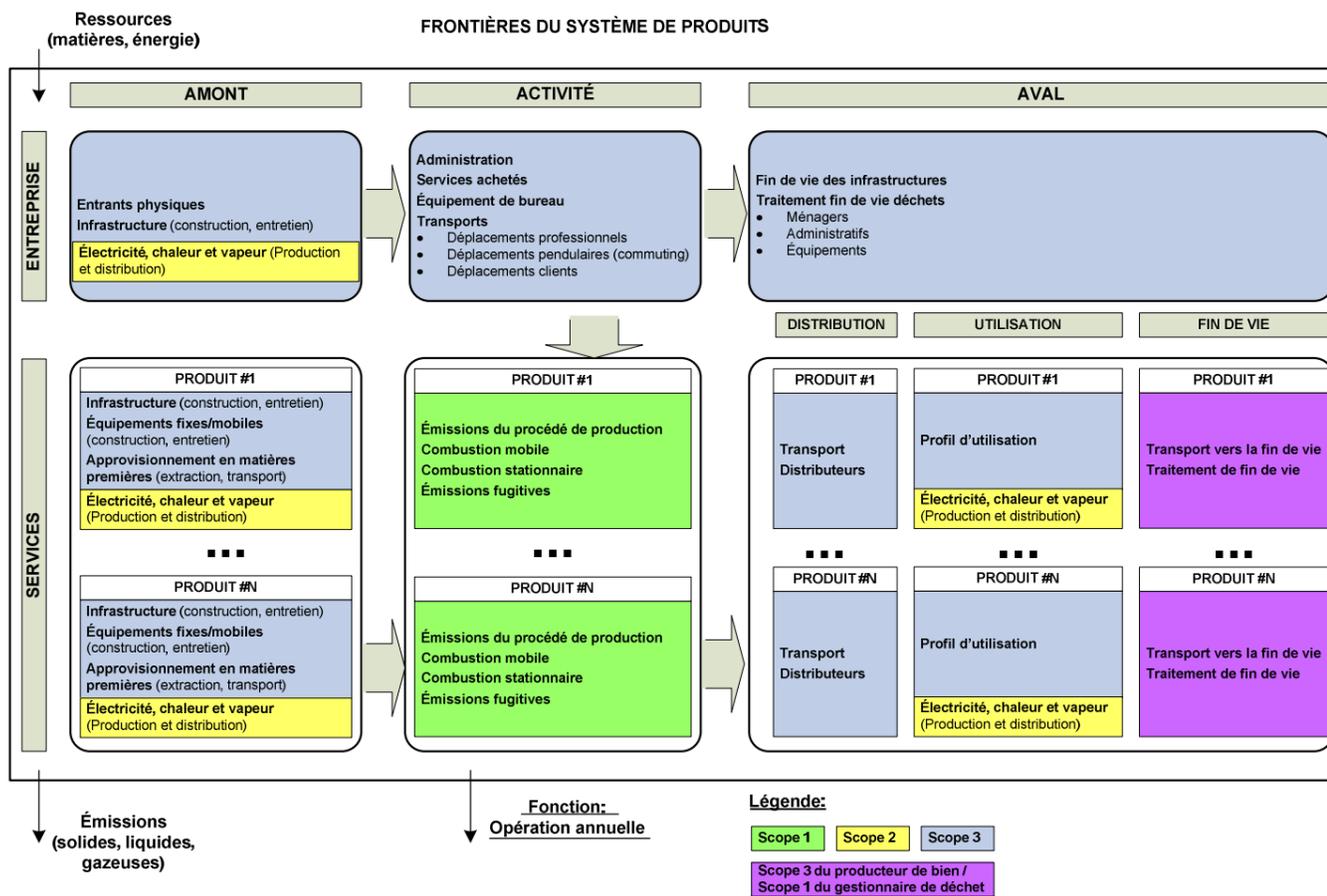


Figure 7-2 : Applicabilité de l'approche conceptuelle à une organisation produisant des biens.

Dans une perspective de comptabilisation corporative interne, la somme du bilan de chacun des produits (1 à N) devrait être égale au bilan global des opérations de l'organisation. Il faudrait toutefois déterminer une clé d'imputation pour distribuer le fardeau des activités administratives entre chacun des produits. Une imputation économique serait envisageable, par exemple en fonction du prix de vente ou du profit engendré par chacun des produits.

Un facteur clé de l'application étendue de cette approche conceptuelle est donc l'utilisation de frontières de systèmes uniformément définies.

L'unité fonctionnelle est un autre élément incontournable de son application étendue. En fixant l'horizon temporel à une année de comptabilisation, elle assure la compatibilité avec l'approche de comptabilisation annuelle. Plus que cela, elle définit l'objectif de la comptabilisation et permet la comparaison de plusieurs systèmes. Ainsi, dans une optique où la comptabilisation sort du contexte de comptabilisation environnementale interne et vise à positionner une organisation au sein de l'inventaire national, elle apparaît comme une base solide de comparaison de ses performances environnementales vis-à-vis des autres organisations du même secteur. Étant donné les travaux de la Commission GES de l'AFNOR s'orientant vers l'amélioration de la comparabilité des empreintes carbone des organisations (AFNOR, 2008), l'unité fonctionnelle prend tout son sens en ce qui concerne l'application étendue de l'approche conceptuelle.

De futurs travaux devraient tester son applicabilité effective à d'autres secteurs.

8 Conclusions et recommandations

Ce travail de maîtrise s'est penché sur l'utilisation de l'analyse du cycle de vie pour bonifier la méthodologie de quantification corporative des émissions de gaz à effet de serre. Ainsi, il a montré que la compatibilité des méthodologies permet d'intégrer l'ACV à la quantification des GES, ce qui permet une meilleure connaissance de la logistique et une approche multicritère de l'évaluation des impacts environnementaux.

L'objectif premier était de vérifier la compatibilité des éléments méthodologiques des deux approches et la possibilité théorique de l'intégration de l'ACV dans la quantification des GES. Le second objectif était de vérifier la possibilité pratique de cette intégration.

Dans un premier temps, les résultats ont mené au développement d'une approche conceptuelle de l'intégration de l'ACV dans la quantification corporative des émissions GES. Dans un second temps, cette approche a été validée par l'atteinte de trois critères reposant sur les résultats d'une étude de cas.

Tout d'abord, l'approche conceptuelle, fruit de la comparaison systématique des deux méthodologies, identifie trois éléments méthodologiques clés permettant leur compatibilité : les frontières de système, l'évaluation des impacts et l'horizon temporel. En regard de ceux-ci, elle propose trois axes schématisant l'adéquation des deux méthodologies :

- *Chaîne logistique* : selon cet axe, celui du cycle de vie de l'organisation, l'ACV est déstructurée à la manière de la comptabilisation GES. Ceci rend compatibles les frontières de systèmes des deux méthodologies.
- *Évaluation des impacts* : la compatibilité des méthodologies vient du fait que l'évaluation de l'impact sur le changement climatique est déjà incluse dans l'ACV. Qui plus est, cette dernière élargit l'éventail des impacts environnementaux considérés, de par son approche multicritères.

- *Horizon temporel* : les deux méthodologies sont compatibles grâce à une unité fonctionnelle de l'ACV fixée aux opérations annuelles de l'organisation à l'étude.

Dans un second temps, les résultats de l'étude de cas permettent de valider cette approche conceptuelle. Ainsi, ils mènent à plusieurs conclusions intéressantes :

- Comparés sur les mêmes frontières, les résultats de bilans GES et d'ACV sont similaires quant à leur impact sur le changement climatique. Ce constat agit à titre de pivot entre les deux méthodologies puisqu'il montre la compatibilité des FÉ et des banques de données génériques ACV pour l'inventaire de substances contribuant au changement climatique;
- Pour une organisation gérant des matières résiduelles, les émissions indirectes, autres que celles liées à la production d'électricité achetée, sont non-négligeables ;
- Un inventaire restreint de comptabilisation ne suffit pas à cerner l'impact de l'organisation sur d'autres catégories d'impacts. De plus, une évaluation élargie des impacts identifie deux cas de figures pour lesquels le seul bilan GES ne cible pas l'activité principalement contributrice à un autre indicateur d'impacts. Ceux-ci sont : 1) une activité fortement contributrice au changement climatique apparaît négligeable à d'autres catégories d'impacts 2) une activité faiblement contributrice au changement climatique domine une autre catégorie d'impacts.

À la lumière de ces résultats, il est possible de dire que les deux objectifs du projet de recherche ont été atteints. L'hypothèse de recherche est donc vérifiée. Grâce à leur compatibilité, l'ACV peut s'intégrer à la quantification corporative des GES. Elle la bonifie de par une meilleure connaissance de la chaîne logistique et une approche multicritères de l'évaluation des impacts environnementaux.

Deux grandes catégories de recommandations découlent des résultats :

1 – Recommandations relatives à l'application des protocoles :

- Utiliser des facteurs d'émissions spécifiques aux processus pour assurer la meilleure cohérence possible entre les résultats de bilans GES et d'ACV ;
- Intégrer au *scope 2* les processus d'approvisionnement associés à la production d'électricité ;
- Inclure les émissions indirectes autres que celles reliées à la production d'électricité ;
- Compléter l'inventaire de la comptabilisation GES, restreint aux GES, avec des banques de données génériques ACV. Cette proposition est faite à la lumière de la validation du premier critère. Celui-ci agit à titre de pivot entre les deux méthodologies puisqu'il montre en effet la compatibilité des FÉ et des banques de données génériques ACV pour l'inventaire de substances contribuant au changement climatique. Ce faisant, il permet d'élargir les conclusions aux autres flux de l'inventaire. L'impact environnemental sur les autres catégories que le changement climatique serait ainsi mieux représenté

2 – Recommandations générales relatives aux méthodologies :

- Uniformiser les hypothèses de comptabilisation des substances entre les méthodologies pour assurer la cohérence de la comparaison de leurs résultats ;
- Mieux spécifier la responsabilité des différents acteurs de la chaîne logistique de la production d'électricité en ce qui a trait aux pertes de transport et de distribution ;
- Subdiviser le *scope 3* selon les différentes étapes du cycle de vie ;
- Déstructurer les activités administratives du *scope 3* en *scope 1*, *scope 2*, *scope 3* d'amont et *scope 3* d'aval.

Telle que proposée, l'approche conceptuelle intégrant l'ACV à la quantification GES possède des avantages et des inconvénients qu'il est important de souligner.

Tout d'abord, en déstructurant le système de produits de l'ACV, l'approche conceptuelle permet sa compatibilité avec la méthodologie de comptabilisation GES. Qui plus est, elle met en lumière l'hétérogénéité de la structure du *scope 3* de la comptabilisation GES. Selon l'horizon temporel, la discrétisation d'un inventaire ACV et l'unité fonctionnelle fixée à une année d'opération permettent la compatibilité des horizons temporels des deux méthodologies.

Les limites de l'approche ne peuvent toutefois pas être ignorées. Ainsi, elle ne traite pas des sujets des impacts environnementaux évités issus d'activités telles le recyclage ou la valorisation. Ce choix méthodologique a été posé par souci de cohérence avec l'approche de l'ACV attributionnelle. En outre, elle n'apporte pas de solution au risque de chevauchement des inventaires des chaînes logistiques qui est inhérent à la comptabilisation du *scope 3*. Ceci ouvre la voie au double comptage. Pour faire suite aux travaux de ce mémoire, l'avenue de l'ACV hybride est recommandée comme perspective de développement. Également, l'évaluation des impacts n'a pas été menée jusqu'à une normalisation et une pondération des résultats en un score unique. L'approche conceptuelle n'apporte donc pas de solution simple à la critique relative à la difficulté de communication de ses résultats d'ACV. Finalement, la dynamisation de l'ACV en étant encore à ses débuts, la représentation dynamique de l'inventaire et sa discrétisation étaient relativement simplistes.

Finalement, les conclusions principales de ce travail de recherche sont tirées de la validation de l'approche conceptuelle. Cette dernière a une double implication. Tout d'abord, il est possible d'obtenir des données acceptables pour une comptabilisation corporative des GES à partir d'une étude ACV. Également, à partir de données existantes de comptabilisation GES, les banques de données génériques ACV peuvent combler les manques de données du *scope 3*. Le gain est double : une meilleure représentation du changement climatique mais aussi des autres catégories d'impacts qui seraient sinon occultées.

Face à la problématique du chevauchement des chaînes logistiques dans la comptabilisation du *scope 3*, les travaux de recherche remettent la communauté scientifique face à une question de base : quel est le but de la démarche ? Une application interne ? Constituer la base solide d'un marché d'échange des émissions ?

Ainsi, dans le contexte d'évolution rapide de l'empreinte carbone, il ne s'agit donc pas d'inclure l'ACV dans la comptabilisation GES pour l'améliorer. Il s'agit plutôt de constater que la comptabilisation GES est déjà présente dans l'ACV en tant que discrétisation annuelle de son impact sur le changement climatique. A partir de ce constat, il s'agit de tirer partie de la compatibilité des deux méthodologies pour les améliorer l'une l'autre.

Avant de clore la réflexion, il est intéressant de remettre en perspective les travaux de ce mémoire vis-à-vis de certaines critiques auxquelles fait face l'ACV, soit son caractère coûteux et sa longueur de méthodologie. En effet, il s'agit d'en arbitrer l'importance dans un contexte de gestion environnementale annuelle, soit la comptabilisation interne. Il ne faudrait pas qu'elles prennent le pas sur les avantages tirés d'un perfectionnement concomitant des méthodes. Si les présents travaux ne permettent pas de conclure de manière catégorique sur l'essentialité d'utiliser l'ACV dans un contexte de comptabilisation des émissions GES, ils permettent à tout le moins de mettre en évidence leur compatibilité certaine et les avantages en résultant.

Ainsi, si dans une perspective à long terme, les entreprises se retrouvaient face à l'obligation de comptabiliser les émissions indirectes de leur chaîne logistique, internalisant ainsi les externalités de leur activité, une grande proportion des étapes longues et coûteuses de l'ACV seraient faites. Compléter les données par des banques de données génériques et étendre l'analyse des impacts représenteraient une proportion de travail moindre. Conséquemment, il serait dommage de ne pas tirer partie dans une optique de meilleure gestion environnementale.

Forcée par l'empreinte carbone de faire face à ses problématiques propres, l'ACV n'en trouvera que mieux sa place dans les systèmes de gestion environnementale.

9 Références

Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, ADEME (2003) *Eco-profil du stockage de déchets dangereux en sites collectifs en France. Rapport réalisé avec la collaboration de EMTA/ONYX, SITA FD et Séché Environnement*. Paris, France: ADEME Press. Consulté le 15 mars 2009, tiré de : <http://www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=6CC94373E5EF2B7F2F3E0657961ED5271127915898134.pdf>

Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, ADEME (2007). *Guide méthodologique Bilan Carbone(R) v.5, Entreprises et Collectivités*. Paris, France: ADEME Press.

Association Française de Normalisation, AFNOR. (2008). *Management Environnemental – Bilan 2008 Perspectives 2009*. Paris, France : AFNOR Press.

Antes, R., Hansjurgens, B. et Letmathe, P. (2006). *Foreword. Emissions Trading and Business*. Heidelberg: Physica-Verlag.

Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, ADEME (2007). *Bilan Carbone ® Entreprises et Collectivités – Guide des facteurs d'émissions V5.0 – Calcul des facteurs d'émissions et sources bibliographiques utilisées*. 240 pages.

Braunschweig, A. (2008). The relation between LCA and GHG accounting (14040, 14064, GHG protocol, Kyoto rules, GHG credits accounting). *DF34 Swiss Discussion Forum*. Lausanne: LCA Discussion Forum Press. Consulté le 20 mai 2008, tiré de : http://www.lcainfo.ch/DF/DF34/DF34_01_Braunschweig.pdf

Brown, K., et Behling, I. (2006). *GHG-waste: A spreadsheet tool for estimating greenhouse gas emissions from waste management options* Climate Change Group. AEAT, 24 pages.

Brown, S., & Leonard, P. (2004) Biosolids and Global Warming: Evaluating the Management Impacts. *Biocycle*, 45(8), 54

BSI British Standard (2008). *PAS2050:2008 – Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services*. Consulté le 11 novembre 2008, tiré de <http://www.bsigroup.com/en/Standards-and-Publications/How-we-can-help-you/Professional-Standards-Service/PAS-2050/>

Cerf, D. (2009). Notes de cours *Corporate Environmental Management. Chapter 1-4 Green House Gas (GHG) Corporate Accounting and Reporting Standards*. Santa

Barbara, Californie. Donald Bren Graduate School of Environmental Science and Management.

Charron-Doucet, F. (2007). L'Analyse de Cycle de Vie et les Projets de Réduction des Gaz à Effet de Serre. *La gestion et le financement du « Risque Carbone »*. Montréal, Canada : Insight Information Press. 24p.

Christensen, P. (2008). Carbon footprint and LCA. *Annual 3R Research Seminar. Greenhouse Gas and Waste Management Emissions & Mitigation*. Copenhagen, Danemark. Consulté le 7 avril 2009 tiré de http://documents.er.dtu.dk/Projects/3R/08_3R_Annual_Seminar/08_3R_Annual_Seminar-GHG_and_wasteV3.pdf

Christensen, T.H., Gentil, E., Boldrin, A., Anna W., L., & Hauschild, M. (2008) C Balance, carbon dioxide emissions and global warming potentials in LCA-modeling of Waste Management Systems. *Submitted to Waste Management and Research*. 12pp.

Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique, CITEPA. (2004). *Calcul des émissions dans l'air, Principes méthodologiques généraux*. Paris, France : CITEPA Press. Consulté le 15 avril 2009, tiré de : <http://www.citepa.org/emissions/methodologie/>

Centre for Life Cycle Inventories. Consulté le 20 mai 2009, tire de : <http://www.ecoinvent.org/publications/ecoinvent-reports/>

Dagicour, F. (2007). Les marchés internationaux d'échange de crédits d'émissions. *La gestion et le financement du « Risque Carbone »*. Montréal, Canada : Insight Information Press. 19 p.

European Environment Agency, EEA (2000). *COPERT III Methodology, Computer Programme to calculate emissions from road transport, User Manual*. Copenhague : EEA Press. Consulté le 15 avril 2009, tire de: http://www.eea.europa.eu/publications/Technical_report_No_50/

Ecoinvent Data v2.0 (2007). Ecoinvent Database. Swiss Centre for Life Cycle Inventories Publications (2007): <http://www.ecoinvent.ch/>

International EPD® System (2009). Fiche sur les « Product category rules (PCR) ». Swedish Environmental Management Council Press, Consulté le 15 avril 2009, tiré de <http://www.environdec.com/pageId.asp>

Entreprises pour l'Environnement, EpE (2007). *Protocole de quantification des émissions de gaz à effet de serre liées à la gestion des déchets, V 2.0*. Nanterre, France :

EpE Publications. Consulté le 15 avril 2009, tiré de : <http://www.epe-asso.org/index2.php>

European Pollutant Emission Register, EPER (2004). *Supporting Document for the Determination of Diffuse Methane Emissions from Landfill Sites*. Copenhague, Danemark : European Community Publications. Consulté le 15 avril 2009, tiré de : <http://eper.eea.europa.eu/eper/documents>

Finkbeiner, M. (2009) Carbon footprinting – opportunities and threats [Version électronique]. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 14, 91-94.

Frischknecht R., Althaus H.-J., Doka, G., Dones, R., Heck T., Hellweg, S., Hirschler, R., Jungbluth N., Nemecek, T., Rebitzer, G. et Spielmann, M. (2007). *Overview and Methodology - Final report ecoinvent v2.0 No. 1*. Duebendorf, Switzerland: Swiss

Garrouste, F. (2008). Marché du CO₂, débuts prometteurs. *L'Agefi Hebdo*, 22 mai 2009, 10-13.

Günther, E. (2006). Accounting for Emission rights. In Physica-Verlag (éd.) *Emissions Trading and Business*. Heidelberg: Physica-Verlag.

Hammerschlag, R. et Barbour, W. (2003). *Life-Cycle Assessment and Indirect Emissions Reductions – Issues Associated with Ownership and Trading*. Seattle: Institute for Lifecycle Energy Analysis and Environmental Resources Trust Publications.

Hardy, P. (2007). *Place de l'ACV en quantification GES*. [Communication personnelle]. Montréal : Climate Check, Set the Standard – GHG Expert.

Helget, C., Caponi, F., Kondru, K.H., Gambelin, D., Pitto, M., Zeiger, C.D., Sullivan, P.S., Reilly, T., White, C.A. (2007). *Comments on California Market Advisory Committee Draft Report*. Sacramento, USA: Solid Waste Industry for Climate Solutions.

Huijbregts, M. (2008). Comparing climate footprints with impact-oriented life cycle methods: A meta-analysis. *DF34 Swiss Discussion Forum*. Lausanne: LCA Discussion Forum Press. Consulté le 20 mai 2008, tiré de : http://www.lcainfo.ch/DF/DF34/DF34_02_Huijbregts_Climate%20footprint_MH.pdf

International Energy Agency, IEA (2005). *Energy Balance for France*. IEA Publications. Consulté le 15 avril 2009, tiré de http://www.iea.org/Textbase/stats/balancetable.asp?COUNTRY_CODE=FR

International Panel on Climate Change, IPCC (2006). *Incineration and Open Burning of Waste. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Geneva, Switzerland: IPCC Publications. Consulté le 10 mars 2009, tiré de http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_Volume5/V5_5_Ch5_IOB.pdf

International Panel on Climate Change, IPCC (2007). *Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report (AR4) of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, Switzerland: IPCC Publications. Consulté le 10 mars 2009, tiré de <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm>

International Organization for Standardization, ISO (2006) ISO 14 040:14 044 Environmental Management — Life Cycle Assessment, Geneva, Switzerland.

Jensen A.A. (2007). A UNEP/SETAC LCM Business Guide. *Life Cycle Management Conference*. Zurich, Switzerland: LCM Press.

Jolliet, O., Saadé, M. et Crettaz, P. (2005). *Analyse du Cycle de Vie - Comprendre et réaliser un écobilan*. Lausanne : Presses Polytechniques et Universitaires Romandes.

Jungbluth, N. (2009). Can a carbon footprint give a good picture on environmental impacts? *DF37 Swiss Discussion Forum*. Lausanne: LCA Discussion Forum Press. Consulté le 15 avril 2009, tiré de : <http://www.lcainfo.ch/df/DF37/DF37-7%20Jungbluth.pdf>

Kim, Y.M. (2009) Introduction to ISO TC 207/SC 7 Standards. *International Telecommunication Union and Climate Change, Hiroshima Meeting*. Hiroshima: ITU Press. Consulté le 20 avril 2009, tiré de http://www.itu.int/dms_pub/itu-t/oth/33/06/T3306000003001435PPTE.ppt

Kirkeby, J.T., Hansen, T.L., Birgisdottir, H., Bandher, G.S., Hauschild, M.Z. et Christensen, T.H. (2005). Environmental Assessment of Solid Waste Systems and Technologies : EASEWASTE. *Waste Management and Research*, 24, 3-15.

Kofoworola, O.F., Gheewala, S.H. (2008). Environmental life cycle assessment of a commercial office building in Thailand. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 13, 498-511.

Lenzen, M., Murray, J., Sack, F. et Wiedmann, T. (2007). Shared producer and consumer responsibility - Theory and practice. [Version électronique]. *Ecological Economics*, 61, 27-42.

Levine, S.H., Gloria, T.P., Romanoff, E. (2007) A Dynamic Model for Determining the Temporal Distribution of Environmental Burden. [Version électronique]. *Journal of Industrial Ecology*, 11(4). 39-49

Lieberman, D., Jonas, M. et Miniwarter, W. (2007). Accounting for climate change: Introduction [Version électronique]. *Water Air Soil Pollution*, 7, 421-424.

Manfredi, S. et Christensen, T.H. (2009) Environmental Assessment of Solid Waste Landfilling Technologies by means of LCA-Modeling. *Waste Management*, 29,32-43

Matthews, H.S., Hendrickson, C.T. et Weber, C.L. (2008). The Importance of Carbon Footprint Estimation Boundaries [Version électronique]. *Environmental Science and Technology*. 42, 5839-5842.

Pradel et Meurveille (2008). *ACV partielles et état des lieux des impacts environnementaux - Principaux résultats et conclusions pour 15 scénarios d'épandage de boues d'épuration. Livrable T1a, programme ECODEFI*. Rapport technique. Agence Nationale de la Recherche, Programme Écotechnologies et Développement Durable.

PRé Consultants (2007). SimaPro 7. Product ecology consultant. Amersfoortp.

Price Waterhouse Coopers et Landwell (2003). *Aspects juridiques et comptables des quotas d'émission de gaz à effet de serre – Rapport rédigé pour la Mission Climat de la CDC*. Avril 2003. 46 pages.

Reap, J., Roman, F., Duncan, S. et Bras, B. (2008a). A Survey of unresolved problems in life cycle assessment – Part 1: goal and scope and inventory analysis [Version électronique]. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 13, 290-300.

Reap, J., Roman, F., Duncan, S. et Bras, B. (2008b). A Survey of unresolved problems in life cycle assessment – Part 2: impact assessment and interpretation [Version électronique]. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 13, 374-388.

Ross, S., Evans, D. et Webber, M. (2003). Using LCA to examine greenhouse gas abatement policy. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 8(1), 19-26.

Source de données confidentielles non disponible #1.

Source de données confidentielles non disponible #2.

Source de données confidentielles non disponible #3.

Spannagle, M. (2003). *A Comparison of ISO 14064 Part 1 and the GHG Protocol Corporate Module*. Middlebury, Vermont: Ecologia Publications. Consulté le 25 juin 2007, tiré de <http://www.ecologia.org>

TERMIUM Plus ® (2009). *La banque de données terminologiques et linguistiques du gouvernement du Canada*. Bureau de la traduction, Travaux publics et Services gouvernementaux, Canada.

Touraine, H., Molson, D. (2008). *Les opérations financières sur quotas*. Paris : Freshfields, Bruckhaus, Deringer.

Udo de Haes, H., Finnveden, G., Goedkoop, M., Hauschild, M., Hertwich, E., Hofstetter, P., Jolliet, O., Klöpffer, W., Krewitt, W., Linddeijer, E., Müller-Wenk, R., Olsen, S.I., Pennington, D.W., Potting, J. et Steen, B. (2002). Life-cycle impact assesment: striving towards best practice. *SETAC North America*. Pensacola, Florida : SETAC Press.

Udo de Haes, H., Heijungs, R., Suh, S. et Huppes, G. (2004). Three Strategies to Overcome the Limitations of Life-Cycle Assessment [Version électronique]. *Journal of Industrial Ecology*. 8(3), 19-32.

United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC. (2006). *Methane emissions reduction from organic waste water and bioorganic solid waste using co-composting” Approved baseline and monitoring methodology AM0039. Version 01, September 2006. Sectoral Scope 13*. UNFCCC CDM Executive Board Press. Consulté le 3 avril 2009, tiré de : cdm.unfccc.int/EB/026/eb26_repan06.pdf

United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC. (1997) *Report of the Conference of the parties on its third session, held at Kyoto from 1 to 11 December 1997*. Consulté le 10 avril 2008, tiré de <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>

Veolia Propreté, VP (2007). *Bilan 2006 – Le magazine d’activité de Veolia Propreté*. Paris : Veolia Environnement Press. 83 pages.

Veolia Propreté, VP (2008). *Atlas des activités 2007*. Paris : Veolia Environnement Press. 77 pages.

Weidema, B.P. (2008). Carbon Footprint – a catalyst for life cycle thinking? *Presentation for PhD course, Aalborg University 2008.10.30*. Aalborg, Danemark: 2.-0 LCA consultants Press.

Weidema , B.P., Thrane, M., Christensen, P., Schmidt, J. et Lokke, S. (2008). Carbon Footprint – A Catalyst for Life Cycle Assessment [Version électronique]. *Journal of Industrial Ecology*, 12(1), 3-6.

Wenzel, H. et Villanueva, A. (2006) The significance of boundary conditions and assumptions in the environmental life cycle assessment of waste management strategies. An analytical review of existing studies. *3R Seminar*. Danemark: DTU Press. Consulté le 15 avril 2009, tire de : <http://www.dtu.dk/upload/subsites/norlca/proceedings%202006/wenzel%20and%20villanueva.pdf>

Wiedmann, t., Lenzen, M., Turner, K., Minx, J. et Barrett, J. (2007). Multiregional Input-Output Modelling Opens New Opportunities for the Estimation of Ecological Footprints Embedded in International Trade. *Stepping Up the Pace: New developments*

in Ecological Footprint Methodology, Policy and Practice - International Ecological Footprint Conference. Cardiff: International Ecological Footprint Conference Press.

Wiedmann, T. et Minx, J. (2007). *A Definition of "Carbon Footprint"*. Durham, United Kingdom: Integrated Sustainability Analysis UK Research and Consulting Publications. Consulté le 3 février 2008, tiré de http://www.isa-research.co.uk/docs/ISA-UK_Report_07-01_carbon_footprint.pdf

Winkler, J. & Bilitewski, B. (2007) Comparative evaluation of Life Cycle Assessment Models for Solid Waste Management. *Waste Management*, 27, 1021-1031.

World Business Council on Sustainable Development and World Resources Institute, WBCSD et WRI. (2006) *The Greenhouse Gas Protocol, a Corporate Accounting and Reporting Standard – Revised Edition*. Consulté le 10 avril 2008, tiré de : <http://www.ghgprotocol.org>

World Business Council on Sustainable Development and World Resources Institute, WBCSD et WRI. (2008a). Corporate *Scope 3* Breakout Group Draft Meeting Notes. *GHG Protocol Product and Supply Chain Initiative Conference*. London United Kingdom.

World Business Council on Sustainable Development and World Resources Institute, WBCSD et WRI. (2008b). Corporate Value Chain (*Scope 3*). *GHG Protocol Product and Supply Chain Initiative Conference*. London, United Kingdom: *Breakout Session. Proceedings of the WRI/WBCSD*.

Zhao, W., Van der Voet, E., Zhang, Y. et Huppel, G. (2008). Life Cycle Assessment of Municipal Solid Waste Management with Regards to Greenhouse Gas Emissions: Case Study of Tianjin China. *Science of the Total Environment*, 407(5). 1517-1526.

**Intégration de l'analyse du cycle de vie dans une
approche de comptabilisation corporative des
émissions de gaz à effet de serre**

–

Annexes

–

CONFIDENTIELLES