

Université Libre de Bruxelles
Institut de Gestion de l'Environnement et d'Aménagement du Territoire
Facultés des Sciences
Master en Sciences et Gestion de l'Environnement

Analyse de cycle de vie d'un bien alimentaire
issu d'une production domestique :
Le cas de la compote de pomme

Mémoire de fin d'études présenté par
HERMANS Gaëlle

En vue de l'obtention du grade académique de
Master en Sciences et Gestion de l'Environnement

Année académique : 2010 -2011

Promoteur : Prof. Marc DEGREGZ

■ REMERCIEMENTS

Avant de rentrer dans le vif du sujet de mon mémoire, je souhaite remercier toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à sa réalisation.

En première ligne, je voudrais exprimer ma reconnaissance à mon directeur de mémoire, Monsieur Marc Degrez, pour ses conseils avisés et l'aide qu'il m'a prodigué au cours de l'élaboration de ce mémoire. Je souhaite également remercier chaleureusement Monsieur Pierre D'Ans pour sa patience et son aide inestimable.

Ma gratitude s'adresse également à ceux qui, par leurs connaissances théoriques ou pratiques du sujet, ont pu me fournir des informations précieuses. Dès lors, je désire exprimer ma reconnaissance à Monsieur Olivier Warnier, directeur du Centre pilote fruitier wallon, pour ses précieux renseignements et le temps qu'il m'a consacré. Je remercie également Monsieur Daniel Lanteir pour son accueil chaleureux et pour les contacts utiles qu'il m'a fournis.

Enfin, je remercie ma famille et mon entourage pour leur soutien sans failles durant ces derniers mois. Ma pensée se tourne particulièrement vers Monsieur Dimitri Kusters que je souhaite remercier pour ses inestimables conseils et son soutien sans faille.

■ AVANT-PROPOS

Le présent mémoire s'inscrit dans le cadre d'un master en Gestion de l'Environnement. Il constitue le point d'orgue d'une formation complémentaire d'un an qui aborde les différentes problématiques relatives à l'environnement. Ce mémoire ne se place pas dans le seul cadre scientifique. De ce fait, les différents aspects techniques, politiques et sociologiques, entourant la question de recherche, seront mis en évidence. L'étudiant ne prétend pas se hisser au niveau scientifique d'un ingénieur ou d'un agronome. C'est pourquoi ce travail sera développé dans la limite de ses connaissances et de ses acquis en la matière.

Par ailleurs, nous tenons à signaler aux futurs lecteurs que le sujet du travail final présenté ci-après a fait l'objet de nombreuses modifications et réajustements au cours de son élaboration. En effet, ce mémoire devait, initialement, se réaliser en partenariat avec une entreprise belge de grande distribution. L'objectif était alors d'étudier les comptes d'une marque de distributeur en ayant accès aux données internes et industrielles de la firme. Cependant, pour des raisons indépendantes de leur volonté, ceux-ci ont dû mettre un terme à cette collaboration. Dès lors, nous avons tenté de conserver notre sujet initial d'étude en élargissant notre perspective à un contexte plus général : le fonctionnement de l'arboriculture et de la transformation industrielle de fruits en Belgique. Là encore, nous avons dû décider de mettre la deuxième partie entre parenthèses. En effet, n'ayant pu rentrer en contact avec aucun industriel du secteur, ni même avec la fédération belge, nous n'avons pu élaborer la partie de l'Analyse de Cycle de Vie qui concerne la transformation industrielle par manque de données et d'informations. Nous avons donc recentré notre problématique sur les aspects liés à la production de pommes non-biologiques et biologiques en Belgique et leur utilisation dans un contexte strictement privé.

Le contexte dans lequel s'inscrit la réalisation de ce travail étant posé, nous vous en souhaitons une bonne lecture.

■ TABLE DES MATIÈRES

■	INTRODUCTION	6
■	CHAPITRE 1 : PROBLÉMATIQUE ET CONTEXTE	7
I.	CONTEXTE GÉNÉRAL	7
II.	QUESTION DE RECHERCHE	10
III.	ALIMENTATION DURABLE : UN CONCEPT-CLÉ	11
1.	<i>Définition</i>	12
2.	<i>les systèmes alimentaires d'hier et d'aujourd'hui</i>	12
2.1.	L'âge préagricole (... → -10.000 BC)	13
2.2.	L'âge agricole (-10.000 BC → XVIIIe)	13
2.3.	L'âge agro-industriel (XVIIIe → ...)	13
2.4.	Vers l'âge agro-écologique ?	14
■	CHAPITRE 2 : ACV RAPPEL THÉORIQUE	15
I.	CONTEXTE	15
II.	DÉFINITION DES OBJECTIFS ET DU CHAMPS DE L'ÉTUDE	17
III.	INVENTAIRE DES ÉMISSIONS ET DES EXTRACTIONS	18
IV.	ANALYSE DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL	20
1.	<i>Principe et cadre méthodologique</i>	20
2.	<i>Méthode d'analyse de l'impact environnemental : Impact 2002+</i>	21
V.	INTERPRÉTATION	24
■	CHAPITRE 3 : CARACTÉRISATION DES SYSTÈMES ET PRODUITS ÉTUDIÉS	25
I.	LA CONSOMMATION DE FRUITS EN BELGIQUE	25
II.	LE SECTEUR DE LA GRANDE DISTRIBUTION ET LES FRUITS	26
1.	<i>description</i>	26
2.	<i>critères commerciaux</i>	26
III.	LE SECTEUR DE LA POMME EN BELGIQUE	28
1.	<i>L'arboriculture belge</i>	28
2.	<i>Les différents systèmes agricoles</i>	30
3.	<i>Qualification du système arboricole intégré</i>	32
3.1.	Maladies et parasites	33
3.2.	Pratiques arboricoles	35
3.3.	Consommation énergétique	38
IV.	DESCRIPTION DU PRODUIT ÉTUDIÉ	39
1.	<i>hypothèses</i>	39
2.	<i>scénario de référence</i>	40
3.	<i>scénarios alternatifs</i>	41
3.1.	Scénario biologique	41
3.2.	Scénario pommes à transformer	41
■	CHAPITRE 4 : ACV DE LA COMPTE DE POMME HOME-MADE	42
➔	PARTIE I : ACV DU SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE	42
I.	OBJECTIFS ET CHAMP DE L'ÉTUDE	42
1.	<i>objectifs de l'étude</i>	42
2.	<i>champ de l'étude</i>	43
II.	INVENTAIRE DES ÉMISSIONS ET DES EXTRACTIONS POUR LA COMPOTE DE POMME	45
1.	<i>Production de la pomme</i>	45

1.1. Champ de l'étude du sous-système production de pomme	46
1.2. Inventaire des émissions et extractions	47
2. <i>Procédés de transport</i>	65
2.1. Inventaire de production	66
2.2. Inventaire des émissions et des extractions	68
3. <i>procédés de stockage</i>	69
3.1. Inventaire de production	70
3.2. Inventaire des émissions et des extractions	71
4. <i>Procédé de transformation de la pomme en compote</i>	72
4.1. Inventaire de production	72
4.2. Inventaire des émissions et des extractions	78
III. ANALYSE DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL	80
IV. INTERPRÉTATION DE L'ACV DE LA COMPOTE DE POMME	83
➔ PARTIE 2 : ACV DES SCÉNARIOS ALTERNATIFS	85
I. ALTERNATIVE 1 : LA PRODUCTION BIOLOGIQUE	85
1. <i>Le système arboricole biologique</i>	85
2. <i>L'impact environnemental de l'arboriculture biologique</i>	89
3. <i>Conclusion</i>	91
II. ALTERNATIVE 2 : LES POMMES DESTINÉES À LA TRANSFORMATION	92
1. <i>pommes à transformer, Scénario I</i>	92
2. <i>pommes à transformer, Scénario II</i>	95
3. <i>Conclusion</i>	97
III. ALTERNATIVE 3 : MODE DE CUISSON DES POMMES	99
■ CHAPITRE 5 : CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES FUTURES	101
■ BIBLIOGRAPHIE	103
LIVRES	103
ARTICLES ET PUBLICATIONS	103
BASE DE DONNÉES ET SITES INTERNET	105
AUTRES SOURCES	105
■ RÉSUMÉ	107

■ INTRODUCTION

La question alimentaire constitue une préoccupation universelle et intemporelle que tous les hommes abordent quotidiennement. Malgré son apparente évidence, il s'agit d'une problématique complexe et difficile à analyser car elle inclut de nombreuses préoccupations, parfois antagonistes. S'interroger sur la question alimentaire revient à se poser des questions au sujet de la santé, de la ruralité, des relations Nord-Sud, des profils sociaux de consommation, des interactions avec l'environnement, ... En arrière-plan de l'ensemble de ces questions se découpe le concept de l'alimentation durable et de son implémentation concrète dans les actes de consommation quotidiens.

L'aspect de l'alimentation durable qui sera l'objet de nos préoccupations dans le cadre du présent mémoire est la relation existante entre environnement et consommation alimentaire dans nos pays industrialisés. Cette question de l'impact environnemental d'un bien alimentaire de consommation courante sera adressée au travers d'une étude de cas : **la production domestique de compote de pomme.**

Les consommateurs par leurs décisions et leurs comportements peuvent contribuer à l'amélioration de leur environnement ou au contraire le détériorer. Cependant, même pour des consommateurs avertis, il n'est pas toujours évident d'évaluer les différentes options possibles sur base de critères environnementaux. La méthode d'analyse de cycle de vie (ACV) constitue en ce sens un outil d'aide à la décision efficace en matière de considérations environnementales puisqu'il permet de considérer les impacts sur l'environnement d'un bien et d'un service considéré sur l'ensemble de son cycle de vie c'est-à-dire depuis l'extraction des matières premières jusqu'au traitement en fin de vie de celui-ci. Cette méthode normalisée et communément acceptée sera définie dans le second chapitre afin de permettre une meilleure compréhension de notre étude de cas.

L'étude d'un bien alimentaire d'apparence simple tel que la compote de pomme s'avère en réalité plus délicat qu'il n'y paraît. En effet, le secteur alimentaire est complexe et très peu standardisé en comparaison à d'autres secteurs ou industries. Dès lors, avant de tenter de quantifier l'ensemble des flux du système dont ceux les plus susceptibles de présenter des impacts importants, il est indispensable de qualifier le système et de l'inscrire dans une vision réaliste. Cet aspect fera l'objet de notre troisième chapitre et nous permettra ainsi de définir clairement le bien alimentaire et son système qui fera l'objet de l'étude sous forme d'ACV dans la première partie du quatrième chapitre.

L'objectif de notre ACV n'est pas de déterminer un niveau indiscutable et chiffré d'impact global imputable à notre produit d'étude mais bien de mettre en évidence les étapes du cycle de vie qui sont les plus problématiques. Sur base de celles-ci, nous pourrions dans une seconde partie aborder l'épineuse question des alternatives de consommation prioritaires et envisageables à mettre en place afin de minimiser l'impact global de la production de compote de pomme maison.

■ CHAPITRE 1 : PROBLÉMATIQUE ET CONTEXTE

I. CONTEXTE GÉNÉRAL

Tout produit, qu'il soit issu de la haute technologie ou de l'artisanat, qu'il soit composé de matériaux naturels ou de produits de synthèse, qu'il soit produit près du lieu de consommation ou non, cause des dégradations à l'environnement. Pour protéger celui-ci, des choix politiques doivent être effectués. Bien évidemment, du point de vue environnemental, les meilleures décisions sont celles qui globalement minimiseront les impacts négatifs. Il a dès lors fallu trouver des méthodes pour quantifier ces impacts à chaque étape du processus de fabrication d'un produit. L'analyse par le cycle de vie (ACV) fournit un moyen efficace et systématique pour évaluer les impacts environnementaux d'un produit prenant en compte les différentes étapes nécessaires à la production, depuis l'extraction des matières premières jusqu'au traitement et la fin de vie du produit..

Avec la prise de conscience actuelle de l'importance de raisonner dans une optique de développement durable, l'ACV offre un outil de réflexion efficace sur les diverses pressions que nous imposons à notre environnement.

Au cours des 15 dernières années, que ce soit dans le développement des politiques, les décisions d'investissements des entreprises, ou les actes d'achats des consommateurs, la variable environnement oriente de plus en plus souvent les décisions de ces différents échelons de la société. Ce travail s'inscrit dans ce contexte ; **celui des choix et du comportement des consommateurs et de leurs possibilités d'actions en matière de consommation durable**. Cet aspect sera adressé au travers de la problématique de l'alimentation via l'étude d'un cas concret, la compote de pomme.

Actuellement, les ménages ne sont pas les plus gros contributeurs en termes de pressions directes sur l'environnement cependant leurs impacts restent significatifs et s'intensifient depuis ces dix dernières années. Les implications environnementales des ménages se manifestent au travers de différents compartiments tels que le logement, les transports, les loisirs ou encore la nourriture. La consommation alimentaire représente actuellement la deuxième dépense des ménages après le logement et de ce fait, engendre des impacts environnementaux conséquents. Un rapport de 2011 sur la situation française indique que, pour l'alimentation, l'empreinte eau des ménages français représente 23,1 % de l'empreinte eau totale, soit le deuxième poste de consommation en eau après le logement. Le même type de constat peut être réalisé au niveau de l'empreinte carbone dû à l'alimentation. Cependant pour ce poste d'émissions, l'alimentation des ménages arrive en tête avant les transports et le logement avec respectivement 27,1 %, 26,3 % et 24,2 % de l'empreinte totale. Dans ce calcul, les émissions imputées à l'alimentation comprennent l'ensemble des rejets directs et indirects c'est-à-dire incluant également les émissions qui proviennent des étapes de production des biens alimentaires (agricoles et industrielles) [GHEWY X. et al, 2011, p. 8-11].

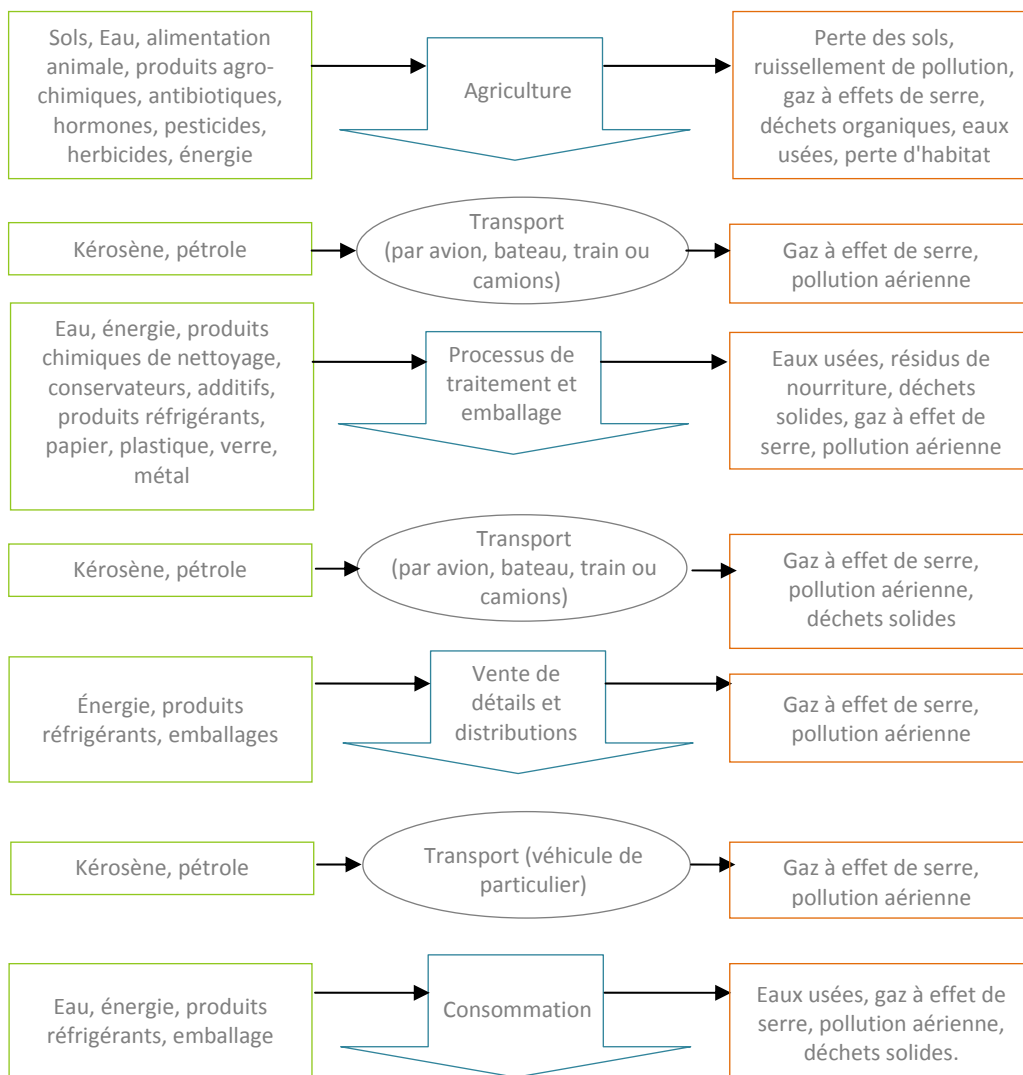
En réalité, l'impact environnemental le plus significatif se situe au niveau de la production alimentaire primaire et de l'industrie de transformation. [OECD, 2002, p. 21] Les ménages y jouent néanmoins un rôle central via leurs influences sur les tendances du secteur. Les comportements alimentaires, c'est-à-dire le choix du régime alimentaire, les exigences en termes de sécurité et de qualité,... guident les pratiques des producteurs et des industriels. De plus, les consommateurs génèrent des impacts directs via leurs façons de réaliser leurs achats, de conditionner et de préparer la nourriture. Enfin, la production de déchets organiques et d'emballages qu'ils engendrent constitue également un impact non négligeable.

En résumé, *"les produits alimentaires que nous consommons génèrent des impacts environnementaux tout au long de leur cycle de vie, depuis l'étape de production agricole jusqu'à leur consommation et leur fin de vie, en passant par leur transport, leur stockage et leur distribution"* [OUDET N., 2009, p.1] Pour étudier ces impacts l'ACV est une procédure en étapes standardisée et un modèle d'équations mathématiques permettant de transformer des flux en impacts environnementaux potentiels. Autrement dit, **"la méthode ACV permet de cibler les principales causes d'impact et de déterminer les priorités d'action en vue d'une démarche de progrès"** [OUDET N., 2009, p.1].

Les impacts environnementaux liés au secteur alimentaire peuvent alors être schématisés sur base d'une vision en étape (Figure 1).

Une ACV permet de mettre en évidence la contribution des différents postes dans l'impact environnemental global et pour chacun des indicateurs d'impacts considérés. Elle facilite l'identification des étapes et/ou procédés les plus problématiques et permet ainsi d'identifier les leviers d'actions pour s'orienter dans une démarche de réduction de l'impact environnemental du produit étudié. Cependant, appliquée au secteur agroalimentaire, cette méthode peut, pour le même produit ou système, aboutir à une très grande hétérogénéité de résultats compte tenu de l'influence significative des conditions locales, de la diversité des pratiques et des différents choix méthodologiques possibles. [OUDET N., 2009, p.2-3]

Figure 1 : Schéma global des impacts environnementaux du secteur alimentaire (Source : Adapté de OECD, 2002, p.25)



Un autre avantage des ACV est qu'elles permettent parfois de faire tomber certaines idées reçues telles que *"le naturel est plus favorable à l'environnement"* ou *"consommer local est forcément meilleur du point de vue des impacts"*. En effet, certains produits industriels ou qui ont été transformés, et de ce fait moins proche de la nature, peuvent être plus favorables à l'environnement [Cfr l'exemple du pop-corn pour emballage industriellement désamidonné [JOLLIET et al, 2005, p.24]. Il peut en être de même pour la consommation locale. *"Du point de vue de la consommation d'énergie et de gaz à effet de serre, un habitant du Royaume-Uni souhaitant consommer des tomates hors saison aura en effet intérêt à consommer des fruits importés d'Espagne plutôt que des tomates britanniques, l'impact du mode de production sous serres chauffées des secondes contrebalançant celui du transport des premières."* [SMITH et al, 2006, in OUDET N., 2009, p. 2]

Ces quelques exemples nous rappellent l'importance de raisonner selon une méthode incorporant l'impact globale de toute la filière (de la matière première jusqu'aux déchets). Cependant, l'environnement reste une matière complexe à étudier étant donné la multitude d'interactions possibles au sein d'un système, même simple. En poussant le raisonnement de l'ACV jusqu'à ses

limites, on pourrait, pour tout produit, service ou système, considérer l'entièreté des activités de l'Homme. Bien entendu, il ne s'agit pas de l'objectif recherché par cette méthode. L'ACV est un outil méthodologique systématique et défini par un protocole bien établi. C'est donc un outil de management environnemental et d'aide objectif à la décision, ne tenant compte que des aspects strictement liés à l'environnement. Les avantages de cette méthode sont que c'est une approche globale, multicritère et normalisée qui permet une lecture rapide et qu'elle facilite des comparaisons entre études. Dans le domaine alimentaire, de nombreux choix méthodologiques sont laissés à la discrétion des praticiens de l'analyse et font souvent débat. Ces choix sont le fruit du manque de standardisation dans les pratiques agricoles et industrielles. En effet, celles-ci présentent une grande variabilité souvent influencée par des conditions externes : pédologiques, climatiques,... Par ailleurs, les devenir des produits agricoles et de l'industrie alimentaire sont nombreux. De ce fait, une multitude d'alternatives méthodologiques sont possibles afin de modéliser une production donnée entraînant dès lors, des résultats qui peuvent varier du simple au double en fonction des hypothèses et des éléments retenus [OUDET N., 2009, p. 3-4].

II. QUESTION DE RECHERCHE

A l'origine, le sujet du présent mémoire devait être une analyse de cycle de vie comparative entre un bien alimentaire bio et non-bio issu d'une part de la production industrielle et d'autre part d'une production domestique. L'objectif initial était d'estimer, sur base d'un cas concret (la compote de pomme faite maison Vs. la compote de pomme industrielle), dans quelle mesure des procédés alternatifs seraient plus ou moins influents sur l'impact environnemental généré par la production du produit. Le travail aurait dû se réaliser en collaboration avec une entreprise de la grande distribution qui nous aurait fourni les données de production de leur marque propre. Cette collaboration n'ayant pu se concrétiser, nous avons redirigé notre question de recherche vers une approche plus globale du secteur tout en considérant toujours le même produit de base. Cependant, au cours de l'élaboration du mémoire, nous avons estimé que sans aucun accès à des données industrielles, il était impossible de réaliser la partie production industrielle de façon réaliste et objective. Dès lors, afin de ne pas dénaturer notre propos par un trop grand nombre d'hypothèses peu valables, nous avons arrêté notre question de recherche finale de la manière suivante :

"Dans le contexte d'une production domestique de compote de pomme, quelles sont les décisions et les choix du consommateur/transformateur qui minimiseront l'impact environnemental global du produit fini ?"

Cette question de recherche nous conduit à présenter différents scénarios de consommation/production qui seront comparés à un scénario de référence. Le scénario de base fera l'objet d'une ACV complète. Sur base des conclusions et de l'interprétation de cette ACV, nous pourrons, par la suite, définir des scénarios alternatifs pour lesquels différents éléments du système seront modifiés, étudiés et comparés à l'étude initiale. Ces différents scénarios seront décrits précisément dans un chapitre ultérieur afin de permettre au lecteur d'appréhender en connaissance de cause l'analyse de cycle de vie à proprement dite.

Une description qualitative, détaillant le "système compote de pomme", préparera le terrain à une estimation quantitative des flux (entrants et sortants) de l'impact global sur l'environnement dû à la production du produit d'étude.

Avant d'apporter des éléments de réponse à cette question et de présenter l'analyse du cas particulier de la compote de pomme, il nous paraît important de définir le concept d'alimentation durable et son inscription dans une perspective historique et future car cette étude de cas, nous permet de poser une question plus large et reflétant l'évolution de notre mode de consommation personnel: **quelles sont les alternatives de production et de transformation d'un produit et quel est l'impact (positif ou négatif) de ces alternatives sur l'environnement ?**

III. ALIMENTATION DURABLE : UN CONCEPT-CLÉ

Manger bio ne suffit pas pour manger sain et écologique tout comme manger équitable ne suffit pas pour manger social ou encore manger local ne suffit pas pour manger économique. Cependant ces différents éléments participent à la mise en œuvre de ce qu'on appelle aujourd'hui **l'alimentation durable**. S'ils ne sont pas suffisants en soi, ils représentent néanmoins des alternatives à des aspects particuliers de nos comportements alimentaires. Que nous en ayons conscience ou non, nos choix alimentaires ont de multiples conséquences sanitaires, écologiques, économiques et sociales. Or, contrairement à d'autres activités que l'Homme pourrait envisager de stopper, il ne peut pas arrêter de se nourrir. Dès lors, une évolution positive de la situation ne peut se faire qu'au niveau des alternatives de production, de transformation, de distribution, de consommation et de gestion des déchets.

Actuellement, diverses institutions et associations actives dans la protection de l'environnement incitent les citoyens, au travers notamment des campagnes d'informations, à modifier leurs comportements afin de minimiser les atteintes à leur environnement. Mais peu d'attention est réellement prêtée à l'alimentation. Les appels se limitent globalement à promouvoir les produits peu emballés et issus de l'agriculture biologique. De façon symétrique, le faible investissement de la recherche dans ce domaine est symptomatique. Par ailleurs, la recherche scientifique relative aux liens complexes entre l'alimentation et l'environnement est relativement récente. Quatre grands thèmes de recherches captent la majorité de l'attention : les différents systèmes agricoles, les régimes alimentaires, la cohérence des politiques publiques et agricoles et enfin le secteur des transports dans le système alimentaire. [REDLINGSHOFER B., 2006]

Au travers d'une étude de cas dans le cadre méthodologique d'une ACV, nous souhaitons aborder ces quatre grands thèmes et principalement ceux concernant les alternatives durables de consommation et de transformation.

1. DÉFINITION

Le concept d'alimentation durable s'inscrit dans la continuité de celui de développement durable apparu fin des années 80'. L'objectif global est une amélioration du bien-être pour les populations présentes comme pour celles à venir. Il s'agit de concilier l'activité économique, la préservation de l'environnement et les impératifs sociaux à tous les niveaux qu'ils soient locaux ou mondiaux. Dans cette perspective, la préoccupation alimentaire prend tout son sens en raison du poids que représente ce secteur tant du point de vue économique et social qu'environnemental. L'INRA estime qu'en France, 30 % des émissions de gaz à effet de serre sont imputables au secteur alimentaire dans son sens large. Celles-ci se décomposent en la moitié pour l'agriculture, un tiers pour le processus domestique (stockage/préparation) et le reste pour la transformation et la distribution [REDLINGSHOFER B., 2006]

En alimentation, la variable environnementale du développement durable peut se définir à partir d'un certain nombre de critères : [MATHE T., 2009, p.26]

- 🍏 Des méthodes de productions qui n'épuisent pas les capacités de régénération de la nature, qui facilitent les économies d'énergie et la limitation de l'émission de gaz à effet de serre ;
- 🍏 Le développement de l'agriculture "raisonnée" ou de l'agriculture biologique, qui limite ou exclut l'utilisation d'engrais chimiques, de pesticides, et la production de produits de contre-saison ;
- 🍏 Des méthodes rigoureuses de conservation en privilégiant les produits "frais" ;
- 🍏 La limitation des distances pour le transport des marchandises ;
- 🍏 L'instauration de quotas assurant le renouvellement des réserves ;
- 🍏 *La limitation des emballages et notamment d'emballages non-recyclables et non-recyclés.*

Outre le pilier environnement, la notion d'alimentation durable se définit également autour de trois autres piliers : la performance économique tout au long de la chaîne de valeur, l'impact social et la gouvernance ainsi que, la préservation et amélioration de l'état de santé et de bien-être. Ces autres aspects ont, au sein du concept de durabilité, autant d'importance et de pertinence que la question environnementale. Il est important de remarquer que l'alimentation durable est une notion évolutive qui ne recoupe pas exactement les mêmes réalités dans toutes les parties du monde étant donné qu'elle n'a pas encore fait l'objet d'un large débat de société. Elle est donc sujette à une grande marge d'appréciation et d'interprétation.

2. LES SYSTÈMES ALIMENTAIRES D'HIER ET D'AUJOURD'HUI

Au même titre que boire et respirer, s'alimenter représente depuis la nuit des temps un besoin vital pour l'ensemble des êtres vivants. Cependant, contrairement aux deux premiers besoins vitaux la question de savoir comment se nourrir entraîne des réponses diversifiées au travers de l'Histoire. Depuis l'apparition de l'homme sur terre, différents systèmes alimentaires, c'est-à-dire la façon dont les hommes s'organisent pour obtenir et consommer leur nourriture, ont coexistés et évolués. **Le système alimentaire est à la fois le reflet du fonctionnement de la société humaine et l'un des**

vecteurs structurant de celle-ci. Autour du besoin physique primaire se développe un ensemble de besoins caractéristiques à chaque individu et à chaque société. L'alimentation est vectrice de besoins liés au développement démographique, à la culture, aux relations sociales, à la lutte de pouvoir, à la transformation des paysages, etc. La production de ces besoins et la façon dont l'humanité s'organise pour y répondre les fortifient et fini par les rendre indispensables. C'est pourquoi, les évolutions sont lentes et les différents systèmes se juxtaposent et se nourrissent des survivances des précédents.

Les systèmes alimentaires sont caractérisés par trois grands paramètres : le type d'alimentation, le mode de production et le mode de consommation. Bien qu'un grand nombre de systèmes et sous-systèmes existent, le temps humain peut, selon Louis Malassis [MALASSIS L., 1996], être divisé en trois âges alimentaires qui sont chacun caractérisé par la prédominance d'un système.

2.1. L'âge préagricole (... → -10.000 BC)

Il s'agit du temps de la cueillette de la chasse et de la pêche. L'homme prélève directement son alimentation dans son environnement sans y apporter de modifications essentielles. "C'est la période de l'aliment sauvage". Une première transition et évolution vers le stade futur se fait au travers de l'usage du feu pour passer de l'alimentation crue à l'alimentation cuite. On évolue du concept d'aliment vers celui de nourriture qui est préparée, mélangée et cuisinée. L'homme ne se contente plus de ce qu'il trouve tel quel dans la nature. C'est le début d'une modification profonde du rapport de l'homme à son alimentation et par là même à son environnement.

2.2. L'âge agricole (-10.000 BC → XVIIIe)

Il existe de multiples thèses pour expliquer le passage de la cueillette à l'agriculture. Il est très probable qu'elles soient toutes partiellement vraies et interdépendantes. La seule certitude est que l'agriculture est apparue à la même époque dans différents endroits du monde. A ce moment, l'homme passe du stade de prédateur à celui de producteur. Les agrosystèmes artificiels se développent et attestent de la volonté et de la capacité de l'homme à diriger son alimentation. A cette époque, les unités domestiques représentent à la fois le lieu de production et le lieu de consommation. Jusqu'au développement du commerce et la révolution industrielle, les échanges restent rares et pour la majorité de la population mondiale le système autarcique et d'autoconsommation constitue la norme qui domine.

2.3. L'âge agro-industriel (XVIIIe → ...)

La révolution industrielle et son développement ont eu des conséquences majeures sur l'agriculture et l'alimentation de façon directe et indirecte. L'économie alimentaire marchande s'est développée, l'ouverture des régions grâce au développement des moyens de transport à permis l'introduction de nouvelles espèces et l'ouverture aux modes alimentaires des régions voisines. Les produits peuvent être transportés sur de plus grandes distances et les marchés nationaux puis internationaux se développent.

L'industrie participe de plus en plus à la production de denrées alimentaires. "*L'industrie se substitua d'abord à l'agriculture pour la transformation des produits agricoles (par exemple le beurre dit*

industriel se substitua au beurre fermier), puis aux activités domestiques, par la production d'aliments services (aliment prêt à cuire précuit, cuisiné) et servis (développement de la restauration). C'est la période du triomphe de l'aliment agro-industriel." [MALASSIS, 1996, p.3]

2.4. Vers l'âge agro-écologique ?

La vision industrielle de l'agriculture est en train de s'effriter. Le recours à des quantités importantes de pesticides, d'engrais et d'énergies fossiles engendre des pollutions conséquentes avec une constatation simple : en soixante ans, l'efficacité énergétique de l'agriculture industrielle a été divisée par vingt. Alors qu'il fallait en 1940, une calorie d'énergie fossile pour 2,3 calories alimentaires, il fallait en 2000, dix calories d'énergies fossiles pour une calorie de nourriture [DE SCHUTTER O., 2010]. De plus, le grand public prend conscience du caractère fini de notre milieu et de nos ressources grâce, notamment, à la médiatisation de certaines problématiques environnementales (réchauffement climatique, marées noires,...). Dans ce contexte de réflexion sur nos modes de consommation actuels, l'agro-écologie s'inscrit comme une alternative en privilégiant des modèles agricoles durables, respectueux de l'environnement mais aussi, économiquement performants et socialement porteurs de développement et d'équité. [DUFUMIER M., 2010] Le but est de n'appliquer qu'une faible pression sur l'environnement et de gérer durablement nos ressources naturelles par l'application de réponses techniques aux pratiques agricoles. L'agro-écologie reconnaît la complexité inhérente aux systèmes naturels et conçoit l'agriculture comme un cycle, le déchet étant un intrant pour une autre fonction utile. L'importance du défi de la préservation de l'environnement et de l'alimentation de l'ensemble des habitants de notre planète semble nous orienter aujourd'hui vers une alliance entre l'agriculture et l'écologie, l'agro-écologie.

■ CHAPITRE 2 : ACV RAPPEL THÉORIQUE

Ce chapitre a pour objectif de clarifier la notion d'ACV et les étapes méthodologiques qui la constituent afin de permettre une lecture facilitée de ce mémoire. Il vise donc à présenter de façon concise la théorie de l'ACV et ne détaille donc pas en profondeur tous les éléments de celle-ci.

I. CONTEXTE

C'est vers la fin des années 60 que se développe la notion d'analyse de cycle de vie (ACV). A cette époque, des chercheurs américains développent le Resource and Environment Profile Analysis (REPA) qui sera le précurseur des bilans matières. C'est la société Coca-Cola qui, en 1969, commande la première étude pouvant s'apparenter à un inventaire de cycle de vie. Cette étude visait à comparer les coûts de fabrication, l'énergie utilisée, la disponibilité des matières premières et les possibilités de recyclage de deux alternatives de conditionnement des boissons : la bouteille en verre et la bouteille en plastique. Bien entendu, cette étude ne visait pas des considérations environnementales mais elle a toutefois permis de mettre en évidence l'importance des bilans matières et énergies dans la prise de décision. Et, dès lors, le besoin d'une méthodologie robuste et reproductible afin de les réaliser.

En 1972, avec la publication du premier rapport du Club de Rome, le concept d'une frontière au développement s'est imposé, limite basée sur les prédictions de disponibilité restreinte des ressources. Aujourd'hui, cette idée de frontière existe toujours mais elle s'est étendue aux limites physiques de la disponibilité des ressources. En effet, elle englobe les problèmes d'incapacité de l'environnement à absorber les pollutions, la prise en compte de l'ensemble des interactions au sein de la biosphère, des relations entre les différents sous-systèmes du système terre. De ce fait, si les premiers bilans étaient principalement réalisés sur le plan énergétique, ceux-ci ont évolués pour devenir globaux. En parallèle, divers développements méthodologiques sont apparus.

Trois organisations sont historiquement impliquées dans le développement méthodologique des ACV :

La Société de Toxicologie et Chimie Environnementales, **SETAC**, plateforme d'échange scientifique dans le domaine des ACV qui publie en 1993 un référentiel de bonnes pratiques.

Le Programme des Nations Unies pour l'Environnement, **PNUE** basé à Nairobi, qui lance en 2002 avec la SETAC *l'Initiative pour le cycle de vie* qui sert de cadre institutionnel pour le développement de méthodes d'ACV et leur utilisation dans l'industrie.

L'Organisation Internationale de Normalisation, **ISO**, qui élabore des normes internationales concernant la majorité des domaines technologiques. Parmi un grand nombre de normes traitant d'aspects environnementaux, l'ISO a développé des normes relatives au management environnemental référencées sous les normes ISO 14000. L'une d'entre elles établit les lignes directrices pour la pratique des ACV, ISO 14040, et est complétée par d'autres normes détaillant les

quatre étapes d'une ACV (cfr Infra). C'est en 1997 qu'est publiée la première norme ISO 14040. Actuellement, les normes de référence sont les suivantes : 14040: 2006 et 14044 qui annulent et remplacent l'ensemble des normes précédentes.

L'objectif de l'approche par le cycle de vie est "**d'évaluer l'impact environnemental d'un produit, d'un service ou d'un système en relation à une fonction particulière et ceci en considérant toutes les étapes de son cycle de vie**" [JOLLIET et al, 2005, p.7]. Il s'agit donc d'une approche globale et multicritère qui tient compte des éléments ayant un impact sur l'environnement depuis l'extraction initiale des matières premières jusqu'à l'élimination ou le recyclage du produit ou service étudié. L'intérêt de la prise en compte de l'ensemble des étapes et procédés liés au cycle de vie complet permet d'éviter de déplacer les pollutions. En effet, si une étape particulière, par exemple la transformation, était analysée sans tenir compte des autres aspects, on pourrait assister à des aggravations dans les autres procédés qui surpasseraient les bénéfiques initiaux obtenus. L'ACV permet de considérer une optimisation générale des impacts liés à un produit ou un service donné. Les ACV sont également utilisées dans des domaines très variés et pour de multiples raisons, un industriel qui vise à améliorer son produit, un distributeur qui souhaite inclure cet aspect dans sa communication externe ou encore des pouvoirs publics qui veulent définir certaines orientations politiques.

L'ACV est un outil utile et efficace pour déterminer des priorités d'actions en tenant compte de la variable environnementale. **Elle est un outil complémentaire aux développements technologiques et aux politiques publiques puisqu'elle met en évidence les processus à améliorer en priorité.** Par ailleurs, comme nous l'avons déjà évoqué dans les chapitres précédents, l'ACV est intéressante dans une perspective de durabilité étant donné qu'elle couvre tout le cycle de vie et peut être mise en parallèle à des outils décisionnels systémiques analysant les seuls aspects économiques, techniques et sociaux. La méthode a évidemment des limites dont les deux principales sont :

- 🍎 Méthodologiques : L'ACV se place dans un cadre spatio-temporel spécifique. La méthode sera influencée par celui-ci, tout comme les hypothèses de départ et les choix effectués durant la première étape de l'ACV vont orienter l'étude. C'est pourquoi les normes ISO insistent sur la transparence de la méthode, c'est-à-dire que l'ensemble des choix doivent être identifiés et justifiés.
- 🍎 Relatives aux données : La qualité de l'ACV dépend fortement de l'existence et de l'accessibilité des données brutes. Or celles-ci ne sont pas toujours disponibles soit parce qu'elles n'existent pas ou bien encore parce qu'elles sont confidentielles.

La réalisation d'une ACV nécessite presque toujours de poser des hypothèses de départ et de travail, ainsi que de réaliser des simplifications parfois conséquentes. Une démarche intellectuelle honnête se situe au niveau de la description claire des hypothèses et de leur raison d'être. Ainsi elles pourront être mises en avant pour critiquer les résultats et permettre une interprétation objective.

II. DÉFINITION DES OBJECTIFS ET DU CHAMPS DE L'ÉTUDE

Il s'agit de la première étape de l'analyse. Cette étape est un peu technique et principalement descriptive. Bien que pouvant paraître triviale, elle est toutefois essentielle puisqu'elle permet de définir le cadre d'analyse et donc la qualité de l'étude.

La norme ISO 14040 définit que "*l'objectif d'une analyse de cycle de vie doit indiquer sans ambiguïté l'application envisagée, les raisons conduisant à réaliser l'étude et le public concerné, c'est-à-dire les personnes auxquelles il est envisagé de communiquer les résultats de l'étude.*" Ces trois éléments sont indispensables car ils guident les choix à réaliser en matière d'hypothèses de travail ainsi que l'interprétation finale des résultats.

Le champ de l'étude doit, toujours selon la norme ISO, préciser et définir les éléments suivants :

- 🍏 Les fonctions du ou des systèmes dans le cas d'étude comparative
- 🍏 L'unité fonctionnelle
- 🍏 Les frontières du système
- 🍏 Les règles d'allocation
- 🍏 Les hypothèses
- 🍏 Les limitations

La **définition de la fonction** du système est indispensable dans le cadre d'une analyse comparative car différents systèmes ne peuvent être comparés que sur base d'une fonction commune. De plus, la fonction sert de base à la définition de l'unité fonctionnelle et aux limites du système.

Une fois que la fonction du système a été définie, **l'unité fonctionnelle** peut en être dérivée. Le rôle de celle-ci est d'offrir une référence à laquelle tous les flux de l'inventaire seront rapportés. Il s'agit d'une "*grandeur définie en cohérence avec les objectifs de l'étude, qui doit être mesurable et additive et n'est donc pas un rapport : l'impact de deux unités fonctionnelles doit être le double de l'impact d'une unité fonctionnelle*" [JOLLIET et al, 2005, p.22]. Ensuite, selon l'unité fonctionnelle donnée, on mesure le flux de référence, c'est-à-dire les quantités de produits et de services nécessaires à la réalisation de la fonction. Ces flux ne doivent pas être simplement qualifiés mais également quantifiés car c'est sur cette base que sera fait l'inventaire des flux entrants et sortants du système.

Une fois ces diverses étapes réalisées, le système peut être modélisé. Celui-ci peut être défini comme "*un ensemble d'éléments en interaction dynamique*" [JOLLIET et al, 2005, p.30], où les éléments sont des procédés. Le système est alors subdivisé en une série de processus unitaires qui constituent une activité unique ou un groupe d'opérations. Ces processus unitaires sont reliés entre eux par des flux de produits intermédiaires ou de déchets à traiter. De plus, ils sont reliés à l'environnement par des flux élémentaires entrants et sortants. Les premiers sont typiquement l'utilisation des sols, l'extraction des matières et de l'énergie primaire. Les flux sortants correspondent à l'ensemble des émissions, polluantes ou non dans les différents compartiments de la biosphère. La mise en commun de tous les procédés unitaires est appelé **l'arbre de procédés**. Ce diagramme général de tous les flux échangés permet de visualiser rapidement le système étudié.

La dernière étape importante de cette partie consiste en la délimitation des frontières du système étudié. En d'autres termes, cela revient à définir quels sont les procédés unitaires qui devront être considérés ou exclus de l'analyse. Par définition, tous les procédés nécessaires à la réalisation de la fonction doivent être considérés. Cependant, dans certains cas, un ou plusieurs procédés unitaires peuvent être exclus. Dans ce cas, l'auteur veillera à respecter les trois règles suivantes : [JOLLIET et al, 2005, p.37]

- *Les limites du système doivent recouvrir la même réalité fonctionnelle dans les différents scénarios.*
- *Sont retenus dans le système les procédés qui contribuent à plus de x % de la masse des intrants, à plus de x % de la consommation énergétique ou à plus de x % des émissions d'un polluant. Le ou les pourcentages seuil(s) est (sont) préalablement fixés et précisent ainsi la sensibilité liée au différents procédés.*
- *Les étapes identiques dans les différents scénarios peuvent être exclues à condition que les flux de référence affectés par ces processus soient strictement égaux.*

III. INVENTAIRE DES ÉMISSIONS ET DES EXTRACTIONS

Lorsque la première étape de l'ACV a été réalisée avec précision, la deuxième étape peut être abordée : l'inventaire des émissions et des extractions aussi appelé **inventaire de cycle de vie (ICV)**. Par définition il s'agit de "*la description quantitative des flux de matière, d'énergie et de polluants qui traversent les limites du systèmes. Il regroupe donc les quantités de substances polluantes émises ainsi que les ressources extraites (minerais, vecteurs énergétiques, surface de sol) au cours du cycle de vie du produit ou du service analysé.*" [JOLLIET et al, 2005, p.42]

L'élaboration de cet inventaire impose le respect d'une démarche structurée. Pour chaque procédé unitaire du système un inventaire des flux intermédiaires entrants et sortants est réalisé, ceci constitue ce qu'on appelle **l'inventaire de production**. Ce dernier sera ramené à l'unité fonctionnelle via le ratio d'utilisation équivalente. Par la suite cet inventaire de production exprimé par UF sera multiplié par des facteurs d'émissions ou d'extraction. "*Ces données d'émissions et d'extractions sont recherchées, soit dans des bases de données, soit par contact direct avec les entreprises de la branche technologique du produit ou du service concerné.*" [JOLLIET et al, 2005, p.43] Enfin, les différentes données d'extraction sont sommées pour obtenir un total pour chaque type d'entre elles.

Un ICV complet prend souvent en compte plusieurs centaines de substances. Dès lors, si le principe de l'inventaire est simple, sa réalisation via la collecte de données est nettement plus laborieuse et complexe. Heureusement, le praticien qui n'aurait pas directement accès à des données précises de l'entreprise, elle peut se référer aux bases de données spécialisées. En effet, celles-ci proposent des informations détaillées pour un grand nombre de procédés et de matières. Il existe de nombreuses bases de données d'ICV à travers le monde. En Europe, celle qui est probablement la plus reconnue et la plus complète s'intitule **Ecoinvent**. Cette base de données est le fruit de la collaboration entre

plusieurs institutions fédérales et instituts de recherches qui ont pour but de combiner différentes banques de données existantes et de les enrichir. Ecoinvent comprend près de 400 facteurs d'inventaire et pour chaque procédé plus de 1200 ressources et substances sont répertoriées. Ecoinvent compile des données qui sont valables pour la Suisse et les pays d'Europe occidentale. Dès lors, **nous nous référons à cette base de données pour effectuer notre ICV.**

Comme nous l'avons dit, les émissions et les extractions se rapportent au produit ou au service étudié. Cependant comment procéder lorsque le système génère plusieurs produits ? Dans ce cas à quels produits doivent être attribués les flux ? Cette problématique est appréhendée dans les ACV sous la forme des **règles d'allocation**. De nombreux procédés industriels ou agricoles et de traitement des déchets sont des systèmes à plusieurs fonctions, qui en d'autres termes, génèrent des produits multiples. Toutefois, l'ACV ne s'intéresse généralement qu'à un seul produit. Il faut de ce fait ramener le système à produits multiples vers un système équivalent à produit unique. *"A cet effet, différentes méthodes ont été proposées et discutées. Les normes ISO et la SETAC ont défini une hiérarchie de méthodes :*

- 🍏 *Eviter l'allocation par subdivision des processus ou par extension du système ;*
- 🍏 *L'allocation suivant la causalité physique, par variation marginale ou suivant une propriété représentant la causalité ;*
- 🍏 *L'allocation financière ou fonctionnelle" [JOLLIET et al, 2005, p.66].*

Afin de mieux appréhender ces différentes méthodes, il est important de les définir un peu plus précisément.

Eviter l'allocation peut se faire de deux manières. La première, la **subdivision des processus**, a pour idée d'examiner dans quelle mesure certains sous-processus sont spécifiques à l'un des coproduits. Elle s'applique donc lorsque l'on peut associer indépendamment un coproduit à un sous-procédé. La deuxième façon, **l'extension du système**, repose sur le principe de la substitution. En effet, *"en sus du produit considéré, le coproduit substitue un produit similaire susceptible d'être fabriqué par d'autres processus. Dans ce cas, les émissions et les extractions liées au produit substitué sont évitées. On peut donc attribuer au produit étudié un bonus correspondant à cette réduction d'émission"* [JOLLIET et al, 2005, p.66]. Pour que cette méthode soit applicable, il faut toutefois pouvoir prouver que la substitution a effectivement lieu.

Dans le cas où l'allocation ne peut être évitée, la méthode de causalité physique constitue un second choix possible. Cette méthode consiste dans le choix d'un paramètre physique représentatif de la relation de causalité entre la production et les charges environnementales, qui seront affectées proportionnellement à ce paramètre. Les grandeurs physiques généralement utilisées sont le volume, la surface ou encore le pouvoir calorifique inférieur. Il existe deux possibilités concrètes de résolution. La première se base sur les variations marginales. *"Cette méthode s'applique dans le cas où l'on peut varier à volonté la proportion entre coproduits. On déterminera les émissions, les consommations d'énergie et les extractions de matières premières engendrées ainsi que les émissions dans la situation de base et dans le cas d'une légère variation des quantités produites. L'émission allouée à chaque coproduit peut en être déduite sur la base d'une simple résolution de deux*

équations à deux inconnues." [JOLLIET et al, 2005, p.70] La deuxième possibilité se base sur **les propriétés reflétant la causalité physique**. "Le principe est de déterminer une propriété ou grandeur représentative de la relation de cause à effet entre production et émission et d'allouer proportionnellement à cette propriété. Cette méthode s'applique pour autant qu'il y ait une relation de cause à effet directe entre le paramètre physique et la quantité d'émissions ou de matière utilisées" [JOLLIET et al, 2005, p.70].

Enfin, lorsqu'aucune des méthodes n'est réalisable, on pratiquera **l'allocation financière**. Dans celle-ci, on considère que les produits sont d'abord fabriqués pour leur valeur marchande. L'affectation des impacts environnementaux se fait alors sur base de la valeur économique respective des différents outputs. Cette méthode est en principe toujours applicable. Néanmoins, elle n'est utilisée que si aucune autre méthode ne peut être appliquée avec satisfaction.

IV. ANALYSE DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL

1. PRINCIPE ET CADRE MÉTHODOLOGIQUE

Le principe général de cette troisième étape est de relier les données d'inventaires précédemment obtenues à leurs impacts sur le milieu naturel, y compris les impacts sur l'homme et la santé. Sur base de l'ICV, il peut être difficile de tirer des conclusions claires. En effet, la plupart du temps, un scénario est préférable à un autre pour un certain nombre de substances mais défavorable pour d'autres. Il est donc nécessaire d'évaluer l'ordre de grandeur des impacts générés par chaque substance. Il convient donc de disposer de méthodes permettant d'agréger et de comparer les émissions en fonction de leurs potentiels d'impacts sur l'environnement. Pour ce faire, différentes méthodes ont été développées. Cependant, dans le cadre de ce mémoire, nous ne détaillerons que la méthode retenue pour la réalisation de notre ACV. Si des méthodes différentes existent, elles reposent néanmoins sur la même méthodologie de base que nous présenterons ici.

La première étape à réaliser est la **classification**. Celle-ci revient à rassembler les résultats de l'ICV ayant des effets similaires dans des catégories intermédiaires d'impact. Elle consiste donc en la détermination d'une série de catégories dites intermédiaires dans lesquelles on classe les différentes émissions et extractions. Il est important de noter qu'une émission ou extraction peut se retrouver dans plusieurs catégories si elle engendre des impacts multiples.

La deuxième étape est la **caractérisation intermédiaire**. Cette étape consiste en la pondération de chaque émission et extraction au sein de chaque catégorie intermédiaire auquel elles contribuent. L'objectif est alors d'exprimer chaque substance en fonction d'une substance de référence grâce aux facteurs de caractérisations intermédiaires. En effet, ceux-ci déterminent le poids relatif d'une substance dans le cadre d'une catégorie d'impact spécifique. "Les masses émises ou extraites sont multipliées par ces facteurs puis sommées dans chaque catégorie intermédiaire pour fournir un score d'impact intermédiaire, souvent exprimées en kg équivalents d'une substance de référence" [JOLLIET et al, 2005, p.83].

Mathématiquement, cela peut s'exprimer comme suit:

$$SI_i = \sum_s FI_{s,i} * M_s$$

Avec SI_i = score de caractérisation intermédiaire pour la catégorie i ;
 $FI_{s,i}$ = facteur de caractérisation intermédiaire de la substance s dans la catégorie i ;
 M_s = masse extraite ou émise de la substance s

Enfin, la troisième et dernière étape est celle de la caractérisation des dommages. Celle-ci permet d'évaluer la contribution des catégories intermédiaires à une ou plusieurs catégories de dommages sur un sujet vulnérable à protéger. Pour ce faire, il convient de multiplier les scores d'impacts intermédiaires (SI_i) par un facteur de caractérisation de dommages. Celui-ci quantifie les dommages engendrés par unité des différentes substances de référence. Ainsi, plusieurs catégories intermédiaires peuvent contribuer plus ou moins significativement différentes catégories de dommages. Le résultat de cette multiplication est dénommé **score de caractérisation des dommages**. Mathématiquement, on peut les exprimer de la manière suivante :

$$SD_d = \sum_i FD_{i,d} * SI_i$$

Avec SD_d = score de caractérisation de dommage pour la catégorie de dommage d ;
 $FD_{i,d}$ = facteur de caractérisation de dommage entre la catégorie intermédiaire i et la catégorie de dommage d ;
 SI_i = score de caractérisation intermédiaire pour la catégorie i

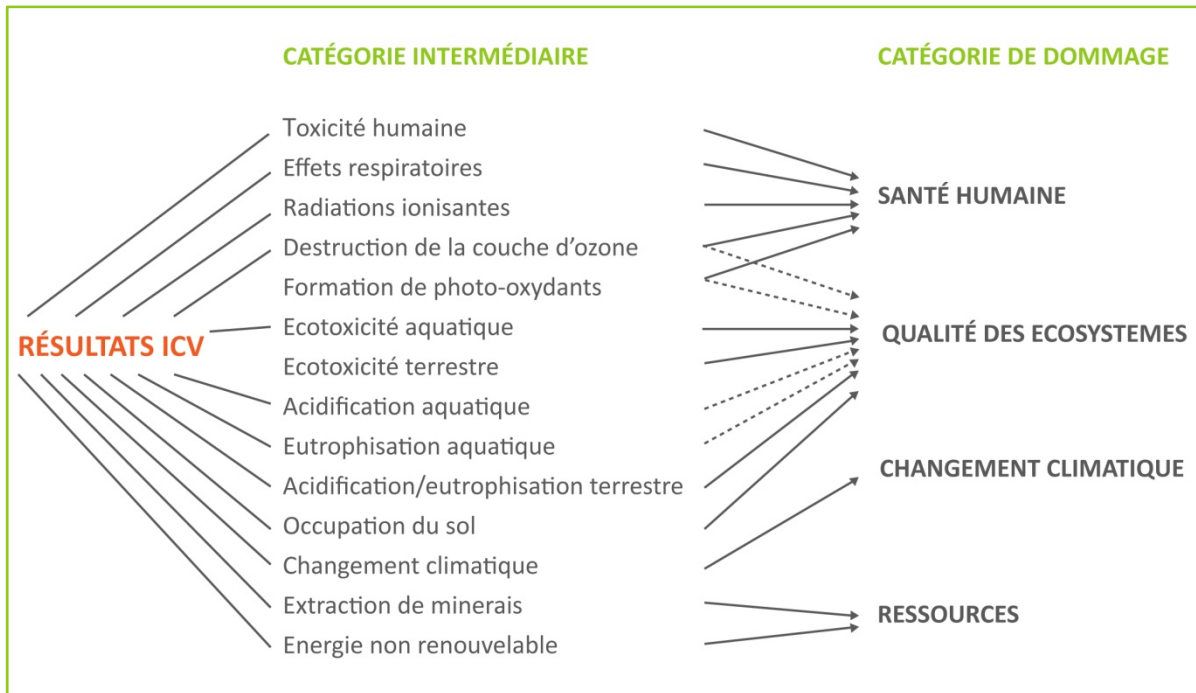
D'autres étapes optionnelles sont également prévues. Il s'agit de la normalisation, le groupement et la pondération. Pour des raisons de concision nous ne détaillerons pas celles-ci dans ce rappel théorique.

2. MÉTHODE D'ANALYSE DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL : IMPACT 2002+

Plusieurs méthodes effectives ont été développées par différents organismes et chercheurs sur base du cadre méthodologique général. La principale différence entre ces méthodes se situe au niveau des catégories retenues à chaque palier. Dans le cadre de ce mémoire, nous baserons sur la méthode Impact 2002+ car elle permet une analyse à différents niveaux.

Les résultats de l'ICV sont répartis en quatorze catégories d'impact intermédiaires qui sont ensuite regroupées en quatre catégories de dommages. La figure 2 suivante nous les représente.

Figure 2 : Schéma général de la méthode Impact 2002+



Les facteurs de caractérisation intermédiaire sont basés sur les principes d'équivalence et expriment les résultats en kg-équivalent d'une substance de référence. Les différentes catégories intermédiaires et leurs substances de référence sont décrites dans le tableau 1 suivant :

Tableau 1 : Catégories intermédiaires et substances de référence utilisées dans Impact 2002+

N°	CATÉGORIE INTERMÉDIAIRE	SUBSTANCE DE RÉFÉRENCE INTERMÉDIAIRE
1	Toxicité humaine (cancérigène)	Kg chlorure de vinyle éq. dans l'air
	Toxicité humaine (non cancérigène)	Kg chlorure de vinyle éq. dans l'air
2	Effets respiratoires	Kg PM _{2,5} éq. dans l'air
3	Destruction de la couche d'ozone	Kg CFC-11 éq. dans l'air
4	Radiations ionisantes	Bq carbone-14 éq. dans l'air
5	Formation de photo-oxydants	Kg éthylène éq. dans l'air
6	Ecotoxicité aquatique	Kg triéthylène glycol éq. dans l'eau
7	Ecotoxicité terrestre	Kg triéthylène glycol éq. dans l'eau
8	Acidification/eutrophisation terrestre	Kg SO ₂ éq. dans l'air
9	Acidification aquatique	Kg SO ₂ éq. dans l'air
10	Eutrophisation aquatique	Kg PO ₄ ³⁻ éq. dans l'eau
11	Occupation du sol	m ² terre éq.
12	Changement climatique	Kg CO ₂ éq. dans l'air
13	Extraction de minerais	MJ d'énergie supplémentaire ou kg Fe éq.
14	Energie non renouvelable	MJ totaux d'énergie non renouvelable ou kg pétrole brut éq.

Source : Jolliet et al, 2005, p. 99

La méthode Impact 2002+ répartit les quatorze impacts intermédiaires dans quatre catégories de dommages : la santé humaine, la qualité des écosystèmes, le changement climatique et les ressources.

La catégorie **santé humaine** reprend les cinq premières catégories impacts intermédiaires. Les facteurs de caractérisation des dommages permettent de passer des kg de substance équivalente aux années équivalentes de vie perdue (**DALY** – *Disability Adjusted Life Years*). Le DALY est donc l'unité dans laquelle les scores de santé humaine sont exprimés.

La catégorie de la **qualité des écosystèmes** comprend les catégories intermédiaires 6, 7, 8 et 11. Cette catégorie de dommage est exprimée en **PDF.m².an**. C'est-à-dire la fraction d'espèce disparue sur un mètre carré pendant un an. Il est important de remarquer qu'il n'existe pas encore de facteur de caractérisation pour les points 9 et 10, ils ne sont donc pas considérés dans les scores de dommage.

La catégorie du **changement climatique** reprend directement le résultat du niveau intermédiaire. *A priori*, le changement climatique en tant que catégorie intermédiaire pourrait être relié aux dommages sur la qualité des écosystèmes ou sur la santé humaine. Cependant, les modèles ne sont à ce jour pas suffisamment précis pour le permettre.

La dernière catégorie de dommage est celle des **ressources**. Celle-ci regroupe les catégories intermédiaires 13 et 14 et l'unité du score de caractérisation des dommages est le mégajoule, **MJ**.

Les facteurs de caractérisation de dommage qui relient les différentes catégories intermédiaires aux catégories de dommages sont présentés dans le tableau 2 suivant:

Tableau 2 : Facteurs de caractérisation et unités de dommages utilisés dans Impact 2002+

CATÉGORIE INTERMÉDIAIRE		SUBSTANCE DE RÉFÉRENCE INTERMÉDIAIRE	CATÉGORIE DE DOMMAGES
Toxicité humaine	1,45E-06	DALY/kg chlorure de vinyle	Santé humaine
Effets respiratoires	7,00E-04	DALY/kg PM _{2,5}	
Destruction de la couche d'ozone	1,05E-03	DALY/kg CFC-11	
Radiations ionisantes	2,10E-10	DALY/Bq carbone-14	
Formation de photo-oxydants	2,13E-06	DALY/kg éthylène	
Ecotoxicité aquatique	5,02E-05	PDF.m ² .an/kg triéthylène glycol	Qualité des écosystèmes
Ecotoxicité terrestre	7,91E-03	PDF.m ² .an/kg triéthylène glycol	
Acidification/eutrophisation terrestre	1,04	PDF.m ² .an/kg SO ₂	
Acidification aquatique	/	/	
Eutrophisation aquatique	/	/	
Occupation du sol	1,09	PDF.m ² .an/m ² terre arable organique	
Changement climatique	1,00	Kg CO ₂ /kg CO ₂	Changement climatique
Extraction de minerais	5,10E-02	MJ/kg Fe	Ressources
Energie non renouvelable	4,65E+01	MJ/kg pétrole brut	

Source : Jolliet et al, 2005, p.103

V. INTERPRÉTATION

L'interprétation constitue la quatrième et dernière étape de l'ACV. Elle permet de tirer les conclusions sur les différents résultats obtenus au niveau de l'ICV et de la phase d'analyse de l'impact environnemental. Ces conclusions peuvent notamment permettre d'identifier les étapes du cycle de vie sur lesquelles il faut intervenir pour réduire intelligemment l'impact environnemental du système ou produit étudié.

L'interprétation ne se base pas simplement sur les résultats de l'étape précédente mais confronte l'ensemble des résultats obtenus aux différentes étapes avec la qualité, l'exactitude et la robustesse des différentes hypothèses et des données. Elle permet ainsi de mettre en avant les éventuelles incertitudes ou zones d'ombres afin de ne pas tirer de conclusions erronées. Ainsi, cette dernière étape a aussi pour but de montrer les limites et les faiblesses de l'étude.

L'interprétation doit fournir des informations claires et utiles à la prise de décision en matière d'environnement, objectif ultime qui est la raison même d'être de l'ACV.

■ CHAPITRE 3 :

CARACTÉRISATION DES SYSTÈMES ET PRODUITS ÉTUDIÉS

Avant d'effectuer l'analyse de cycle de vie a proprement parlé, il convient de connaître les caractéristiques générales du produit et des systèmes étudiés. Nous présentons dans ce chapitre, les différentes options de production de notre produit d'étude.

Le bien alimentaire qui est au centre de l'analyse est la **compote de pomme en morceaux faite maison**. Au travers de cette étude nous souhaitons mettre en avant les impacts liés d'une part, à différents systèmes agricoles et d'autre part, à des modes de production distincts. Pour ce faire, nous baserons sur une **approche générale s'appuyant sur une caractérisation globale des systèmes de production de la matière première, de la distribution et de la transformation**.

Une approche globale implique de poser un certain nombre d'hypothèses simplificatrices. Inévitablement, les simplifications d'un système complexe et hétérogène induisent de rester prudent par rapport aux résultats. Dès lors, nous nous efforcerons tout au long de ce mémoire de poser clairement les hypothèses afin que le lecteur puisse exercer un regard critique en connaissance de cause. L'interprétation de ces résultats devra toujours être pondérée par l'importance des hypothèses posées.

I. LA CONSOMMATION DE FRUITS EN BELGIQUE

Depuis 1980, la consommation de fruits, à l'instar des légumes et du sucre, a considérablement augmenté. En moyenne, de 72 kg/an/habitant jusque dans les années 80', le belge consomme en 2004 environ 100 kg de fruits/an/habitant, soit une augmentation de 25% en, à peine 20 ans. [DUQUESNE et al, 2006] Néanmoins, la consommation de fruits pour l'ensemble de la population reste insuffisante puisqu'il est recommandé de manger au moins 250 à 375 g de fruits quotidiennement. Les choix des consommateurs en matière de fruits résultent d'une combinaison de goût et d'idées. En Belgique, les fruits les plus consommés sont les bananes, les pommes, les oranges et les mandarines. Néanmoins, de nos jours, les fruits exotiques sont de plus en plus consommés principalement au travers de la consommation de jus de fruits. [SABBE S., 2009]

En ce qui concerne la pomme, elle est principalement consommée pendant les mois d'hiver, en pleine saison. La consommation accrue en cette période est à mettre en relation avec la faible disponibilité d'autres produits à cette période. Par ailleurs, les pommes consommées en Belgique sont principalement d'origine belge [CRIOC, 2007].

II. LE SECTEUR DE LA GRANDE DISTRIBUTION ET LES FRUITS

1. DESCRIPTION

La majorité des biens alimentaires consommés par les ménages belges provient du réseau de la grande distribution. Il en va donc de même pour l'achat des fruits. En 2005, les supermarchés captaient 76,7 % des achats de fruits (en valeur). Au contraire, l'approvisionnement en fruits et légumes dans les supérettes et sur les marchés était en diminution par rapport aux années précédentes. [CRIOC, 2007, p.25-26] La part de marché du secteur de la grande distribution est également la plus importante dans les catégories des fruits et légumes biologiques. En effet, en 2000, environ 65 % de tous les fruits biologiques étaient vendus dans les chaînes de supermarchés. La majeure partie est vendue par le groupe Delhaize, qui représente environ 30 % du total. Les deux autres principales chaînes étant Carrefour et Colruyt. Ces trois distributeurs possèdent d'ailleurs leurs propres marques biologiques reconnaissables par leur logo. [FAO document, 2001]. **C'est sur base de ce constat que nous avons décidé d'étudier un schéma de consommation des pommes via ce réseau de distribution.**

2. CRITÈRES COMMERCIAUX

Les pratiques culturales sont influencées par divers éléments extérieurs telles que les conditions pédoclimatiques, les risques de dommages par les ravageurs, etc. (cfr. Infra) Elles sont également conditionnées par les exigences formalisées dans les réglementations et parfois renforcées par les exigences des consommateurs, des industries et des distributeurs.

Le Règlement européen CE 1580/2007, du 21 décembre 2007, portant sur les modalités d'applications en ce qui concerne les normes de commercialisation des fruits et légumes dans l'Union Européenne définit des critères stricts quant à certaines caractéristiques des pommes. Celles-ci sont réparties en différentes catégories en fonction de critères de présentation, de calibrage, de couleur de fond et de coloration considérés comme caractéristiques de la variété. Ce règlement n'est applicable que pour les pommes "*destinées à être livrées à l'état frais au consommateur, à l'exclusion des pommes destinées à la transformation industrielle.*" [Règlement CE 1580/2007, p.94] Par ailleurs, le règlement définit des caractéristiques minimales valables dans toutes les catégories sans préjudice des dispositions particulières prévues pour chaque catégorie. "*Les pommes doivent être entières, saines (sont exclus les produits atteints de pourriture ou d'altérations qui les rendraient impropres à la consommation), propres (pratiquement exemptes de corps étrangers visibles), pratiquement exemptes de parasites, pratiquement exemptes d'altérations dues à des parasites, exemptes d'humidité extérieure anormale, exemptes de toute odeur ou saveur étrangères (...)* Le développement et l'état des pommes doivent être de nature à leur permettre de poursuivre leur processus de maturation et d'atteindre le degré de maturité approprié en fonction des caractéristiques variétales, de supporter le transport et la manutention, d'arriver dans un état satisfaisant au lieu de distribution." [Règlement CE 1580/2007, p.95]

Il n'existe pas de normes officielles concernant les pommes destinées à la transformation. Cependant, "*l'évolution des pratiques culturales peut imposer aux transformateurs des exigences*

nouvelles : la culture de vergers à haute densité et le désherbage complet peuvent rendre plus difficile la conservation des pommes destinées à la transformation ; les pommes tombées sont plus souillées et se détériorent plus vite. Les nouvelles garanties de qualité, demandées par le consommateur et, pour les entreprises qui exportent, par les pays importateurs, amènent de plus en plus le transformateur à s'assurer que les bonnes pratiques agricoles et phytosanitaires sont rigoureusement suivies." [MAPAQ, 2003, p.15] Dès lors, les industriels et les distributeurs deviennent de plus en plus exigeants au regard de la qualité générale des pommes et des résidus de produits phytosanitaires admissibles qui se situent régulièrement en deçà des exigences légales. Cependant, une balance entre les deux aspects est généralement acceptée. En effet, le marché des pommes transformées destinées à l'alimentation des nourrissons et jeunes enfants exige, par exemple, des normes de résidus proche de zéro mais, dans ce cas, accepte des qualités visuelles (couleur, taille, etc.) inférieures.

Malgré une attention exigeante portée à la production, les vergers produisent toutes les catégories de pommes. Au regard des éléments précités, on dénombre 6 catégories de pommes qu'un verger peut classiquement produire (voir Tableau 3).

Tableau 3 : Catégorie de pommes, Pourcentage moyen de la production totale

CATÉGORIE	CARACTÉRISTIQUES	PART DE LA PRODUCTION
Catégorie « Extra »	Qualité supérieure. Aucuns défauts acceptés.	
Catégorie I	Bonne qualité. Défauts légers acceptés.	→ 60 à 80 %
Catégorie II	Idem cat I mais suivant les exigences minimales.	
Pommes à peler ou Catégorie III	Pas de défauts majeurs, importance du calibre	10 à 30 %
Pommes à mousseline ou à jus	Pas de gros défauts majeurs, pas d'importance du calibre	5 à 20 %
Rebus	Pommes endommagées, malades, pourries	~ 5 %

Source : Warnier O., pers. Comm. le 12/07/2011

Bien entendu, ces proportions moyennes restent très variables d'une année à l'autre en fonction des aléas climatiques, des dégâts occasionnés par les ravageurs et de la destination prise par l'agriculteur selon les débouchés et des prix sur le marché. Les trois premières catégories sont destinées au marché du frais et sont celles qui assurent le plus grand revenu. **Dans la suite de ce travail nous les dénommerons "Pommes Cat.I"**. Les pommes habituellement destinées à l'industrie sont communément appelées pommes à peler et pommes à jus. **Dans la suite de ce travail nous les dénommerons "Pommes Cat.II"** S'il est possible de minimiser ces catégories moins rémunératrices via une bonne gestion du verger, elles sont néanmoins inévitables. Elles peuvent néanmoins être économiquement rentables fonction des conditions de post-récoltes (conservation en frigo ou atmosphère contrôlée, conditionnement,...)

Hormis la culture des pommiers à cidre, il n'existe, en Europe, que très peu de cultures directement destinées à la transformation. Il n'en existe aucune en Belgique. **Dès lors, les différentes catégories doivent être considérées comme des coproduits pour lesquels une règle d'affectation devra être définie.** En effet, nous ne pouvons pas exclure la production de pommes destinées à la

transformation du système étant donné qu'il ne s'agit pas seulement d'un sous-produit valorisable mais bien d'un produit qui rentre dans la réflexion de gestion de l'agriculteur qui vise à maximiser son revenu.

III. LE SECTEUR DE LA POMME EN BELGIQUE

La présente étude se place dans le cadre spatial de la Belgique. Cette limite géographique a été posée afin de permettre l'étude d'un système bien défini. Il est donc indispensable, avant de débiter notre ACV à proprement parlé, de décrire le secteur classique de la pomme en Belgique. Plusieurs variantes de production et de distribution existent dans ce secteur. Dès lors, nous nous attacherons à décrire le système le plus représentatif de la situation.

1. L'ARBORICULTURE BELGE

Afin d'ancrer ce mémoire dans la réalité de l'arboriculture en Belgique, il est important de rappeler l'évolution du secteur dans une brève perspective historique et de préciser quelques éléments d'ordre général concernant le secteur.

Peu avant la révolution industrielle, les vergers constituaient un complément appréciable aux herbages. La culture était principalement tournée vers l'industrie (siroperie et cidre) car la culture pour la consommation à l'état frais était peu répandue. Cependant, après la 1^{ère} guerre mondiale le fruit de table se popularisant, des variétés commerciales voient le jour et les vergers hautes-tiges sont remplacés progressivement par des basses-tiges plus facilement exploitables de manière intensive. Après la deuxième guerre mondiale, le progrès social aidant, les consommateurs exigent des fruits de qualité supérieure : beaux, calibrés, sans tâches, aux couleurs vives. Le respect de ces critères esthétiques fut possible grâce à l'utilisation massive de produits phytosanitaires, industrie alors en pleine expansion. La culture d'appoint se transforme en une culture intensive se voulant rentable et pratiquée par des professionnels [COPPEE J-L., 2002, p.11-12].

En Belgique, le secteur fruitier est dominé par la pomme et la poire. Historiquement, la production de pomme est la production fruitière la plus importante en Belgique. Cependant, on constate ces dernières années un recul des vergers de pommiers au profit de la poire. L'extension des vergers de poiriers se réalisant au profit de la variété Conférence qui y occupe une position de quasi-monopole avec 85 % du secteur.

A l'heure actuelle, la superficie agricole dédiée aux plantations de pommiers représente à peine 0,5 % de la SAU¹ belge. Bien que la taille des exploitations tende à augmenter, le secteur de la pomme, entre 2002 et 2007, a reculé de 1.415,84 ha. La superficie totale dédiée à la production de pommes était alors de 6.833,05 ha. La majorité de la production fruitière se situe en Flandres (90 % de la surface) et plus particulièrement dans le sud du Limbourg. Notons déjà que bien que le secteur du bio soit plus développé en Wallonie, la production de fruits y est peu représentée. En 2007, les

¹ SAU pour Surface Agricole Utile. Il s'agit d'une mesure utile en statistique puisqu'elle permet d'évaluer le territoire consacré à la production agricole. Elle exclut les bois et les forêts mais comprend les terres arables (grandes cultures, cultures industrielles, etc.), les surfaces enherbées (prairies permanentes, jachères, etc.) et les cultures pérennes (vergers, vignes, etc.)

exploitations fruitières représentaient 10,9 % des exploitations bio en Flandres alors qu'elles ne représentaient que 1,5 % en Wallonie. Dès lors, la SAU totale dédiée aux fruits bios est plus importante en Flandres qu'en Wallonie avec respectivement 398 ha et 178,5 ha de surface de production en 2009 [SPF Economie et Bioforum, 2005]. La situation de la pomme n'est pas aussi extrême que celle de la production de poires. Néanmoins, trois variétés de pomme dominent le secteur. Il s'agit de la Jonagold, de la Jonagored et de la Golden Delicious.

- 🍏 **La Jonagold** est un croisement entre la Golden et la Jonathan (importée des USA) qui s'est développée chez nous au début des années 80' au détriment de la Golden. Actuellement, la production de la Jonagold représente environ 45% du secteur belge. La Belgique est également le troisième producteur européen de cette variété après la Pologne et l'Allemagne.
- 🍏 **La Jonagored**, mutant de la Jonagold, est quant à elle apparue fin des années 80' et représentait, en 2007, 20,2% de la production. Après l'Allemagne, la Belgique est le deuxième producteur Européen de cette variété.
- 🍏 **La Golden Delicious** qui était la variété phare dans les années 70' a connu un déclin considérable au cours des 20 dernières années. Cependant, avec environ 10 % de la production elle reste dans le top trois des variétés les plus produites en Belgique.
- 🍏 Les autres variétés produites en Belgique sont principalement la Boskoop, la Cox's Orange Pippin et la Elstar.

Bien que la variété de cultivars soit plus importante en agriculture biologique, notamment via des variétés rustiques ou anciennes, le schéma de production avec trois types de pommes dominantes est également valable pour ce système agricole. En effet, une large part des choix de variétés est conditionnée par les actes de consommation des acheteurs finaux. Dès lors, si l'arboriculteur bio souhaite écouler sa production en Belgique et toucher d'autres types de consommateurs-cibles, il doit également fournir les variétés "classiques" appréciées sur le marché.

Les exploitations belges de pommiers couvrent en moyenne une superficie de 20 à 30 ha avec une densité d'environ 2000 arbres à l'hectare [WARNIER O., pers. comm]. Il s'agit à plus de 90 % de vergers basses-tiges portés par des porte-greffes faibles², de type M9 et M27, mais entrant rapidement en production et s'avérant très productifs. Un verger commence à être productif deux ans après la plantation des arbres et se tient en état une quinzaine d'années. En effet, après cette période les arbres deviennent souvent trop vigoureux en taille et en production de feuillage diminuant les rendements et augmentant les frais d'entretien. Par ailleurs, la recherche pour des mutants plus résistant et mieux adaptés évolue et il devient indispensable de planter d'autres types d'arbres qui permettront de rester concurrentiel sur les marchés.

² En arboriculture, un porte-greffe est un sujet sur lequel on implante un greffon. Les espèces utilisées pour faire des porte-greffes sont des espèces peu exigeantes qui se multiplient facilement. Elles sont généralement sélectionnées pour leurs qualités (vigueur, morphologie, adaptation au type de sol et au climat,...) qu'elles vont transmettre au greffon. [Wikipedia en ligne, consulté le 21/07/2011]. Le porte-greffe est un élément essentiel puisqu'il va déterminer un certain type de verger qui doit correspondre au fonctionnement technique et commercial de l'exploitation. Les M9 et M27 ont une fonction nanifiant qui permet de maintenir le développement du pommier à une hauteur raisonnable. [Grab., 2005, p.238]

2. LES DIFFÉRENTS SYSTÈMES AGRICOLES

Depuis les années 60', l'agriculture a connu une forte croissance de ses rendements entraînant la croissance de la production agricole mondiale. Cette progression qui résulte de l'adoption des principes d'une agriculture productiviste est connue sous le vocable de "révolution verte". Ce modèle agricole est basé sur le développement des technologies, notamment l'usage intensif des produits phytosanitaires. Bien qu'il ait montré certains avantages et qualités, celui-ci semble aujourd'hui être périmé car ses limites ont été atteintes et il a révélé ses dangers sur le plan social et environnemental. Dès lors, l'agriculture s'inscrit de plus en plus dans une logique de durabilité. Cette logique s'appuie sur la *"mise en résonance de trois grandes fonctions caractéristiques de l'agriculture : la fonction de producteur de biens et services (fonction économique), la fonction de gestionnaire de l'environnement (fonction écologique) et la fonction d'acteur du monde rural (fonction sociale)"* [VILAIN L., 2003, p.13] Cependant, le niveau d'intégration de ces notions est fortement variable. En effet, à l'écoute des discours politiques, des informations émanant des associations ou professionnels du secteur, on constate que le vocable agriculture est de plus en plus souvent utilisé avec un qualificatif qui le précise. Ces adjectifs ou compléments peuvent selon les cas avoir une connotation positive ou négative. De ce fait, entre une agriculture dite conventionnelle et une agriculture biologique, différentes approches intermédiaires ont pu se développer dont notamment la logique de la production intégrée. Une brève description de ces trois systèmes sera réalisée afin de préciser ce qu'ils représentent dans la réalité du secteur.

- Le qualificatif de **conventionnel** caractérise le plus souvent une agriculture chimique et moderne qui n'a pas intégré dans ses pratiques les évolutions technologiques les plus récentes telles que les OGM. Il s'agit d'une expression répandue qui est proche de la notion d'agriculture intensive à laquelle elle sera préférée lorsqu'on ne précise pas le facteur d'intensification auquel on se réfère [PERVANÇON F., BLOUET A., 2002].
- Le vocable **intégré** est plus nuancé et son développement s'est réalisé en plusieurs étapes. *"Parallèlement à la lutte raisonnée, des moyens de lutte biologique ont été découverts ou redécouverts, amenant l'expression de " lutte intégrée " pour qualifier un type de lutte contre les ravageurs qui allie la lutte biologique à des moyens de lutte chimique raisonnés (Ferron, 1999)".* Par après, cette notion a été élargie à la protection des cultures. La protection intégrée a été inventée par l'Office international de Lutte Biologique (OILB) en Europe de l'Ouest (parallèlement à la création de "l'Integrated Pest Management" aux Etats-Unis). Par la suite, l'élargissement du concept de l'intégré a donné l'agriculture et de production intégrés. La **" production intégrée "** est définie par l'OILB comme étant un système de production qui assure une agriculture viable sur le long terme, qui fournit des aliments de qualité et d'autres matières premières en utilisant au maximum les ressources et les mécanismes de régulation naturels et en limitant le plus possible les intrants dommageables à l'environnement. Le but final de la culture intégrée est de répondre aux critères économiques de rentabilité tout en satisfaisant les exigences écologiques et toxicologiques. Aujourd'hui, il existe des directives générales par secteur de production afin que la culture

intégrée respecte la valorisation des richesses naturelles et de la biodiversité et l'équilibre du terrain agricole considéré comme un écosystème. [PERVANCHON F., BLOUET A., 2002]

- Le terme **biologique** est initialement basé sur des motivations d'ordre philosophiques et éthiques. En effet, les prémisses de l'agriculture biologique ont été exposées dès 1790 dans un livre écrit par le philosophe et poète allemand Goethe intitulé "*La métamorphose des plantes*". [RIMSKY-KORSAKOFF J-P., 2003, p.36] Cependant, il faudra attendre la fin de la seconde guerre mondiale pour que les agronomes s'y intéressent vraiment. Dans les exploitations, l'usage des techniques industrielles et des produits de synthèse s'intensifie jusqu'à ce que les premières interrogations entre ces systèmes agricoles intensifs et les dégâts occasionnés à l'environnement soient soulevés, ramenant par la même occasion la question des modes de production alternatifs. L'agriculture biologique est reconnue officiellement en 1984 comme étant l'alternative viable de production. [RIMSKY-KORSAKOFF J-P., 2003, p.42] Par la suite, les principes généraux seront traduits techniquement. Actuellement, l'agriculture biologique est définie en Europe par le cahier des charges du Règlement européen 834/2007, abrogeant le règlement 2092/91, et modifié par le Règlement 967/2008.

L'agriculture biologique est un système d'agriculture qui prête une grande attention aux rapports entre le sol, la plante, l'animal, l'homme et l'environnement. Par ailleurs, le maintien de la fertilité du sol y occupe une place centrale. La gestion de la fertilisation au travers de la rotation culturale et des engrais organiques biologiques n'a donc pas comme unique but de fournir le plus de nutriments possible à la plante cultivée. L'agriculture biologique n'utilise aucun pesticide chimique de synthèse ni aucun engrais chimique. Dès lors, d'autres techniques doivent être déployées telles que le désherbage mécanique ou l'introduction de prédateurs. L'agriculture "classique" tend à utiliser des moyens curatifs alors que l'agriculture biologique est plutôt préventive. Enfin, les rendements obtenus en agriculture biologique sont globalement inférieurs mais les prix de ventes plus élevés permettent de maintenir sa compétitivité [GODDEN B., 2010-2011].

La Belgique a connu ces dernières années un taux de conversion important des arboriculteurs fruitiers vers des modes de production intégrés. **Aujourd'hui, près de 60 % des agriculteurs suivent le cahier des charges de la production intégrée.** Si on ne considère que les fruits qui passent par les criées, ce taux est encore plus important et atteint 80 à 90 %. [WARNIER O, *pers. Comm.*] De ce fait, nous avons décidé, dans le cadre de ce mémoire d'**étudier la production de pomme en mode intégré qui nous paraît le mieux refléter les conditions actuelles** et futures de production en Belgique. Dès lors, l'ensemble des éléments que nous préciserons tout au long de ce mémoire seront, sauf indications contraires, l'expression des conditions de l'arboriculture intégrée.

3. QUALIFICATION DU SYSTÈME ARBORICOLE INTÉGRÉ

Comme nous l'avons déjà évoqué plus haut le système de production qui sera étudié dans le cadre de ce mémoire est l'agriculture intégrée. Cependant, ce mémoire ne se basera pas sur l'étude d'une exploitation particulière bien définie mais bien sur les pratiques agricoles dominantes observées, en Belgique. Nous posons, donc, une hypothèse forte qui sous-tend que **l'ensemble des exploitations de pommes, d'un système donné, pratiquent les mêmes démarches, appliquent des quantités similaires d'intrants extérieurs et utilisent les mêmes quantités d'énergie**. Cette hypothèse pourrait aisément être critiquée étant donné que les pratiques culturales sont fortement dépendantes de conditions externes telles que le type de sol ou les conditions climatiques annuelles ainsi que des choix d'exploitation telles que les variétés produites ou encore la taille des vergers. Cependant, nous affirmons que dans le cadre de cette étude, cette hypothèse de travail se tient et a du sens. Deux raisons nous poussent à le croire. Premièrement, ce sous-système rentre dans une analyse plus globale qui vise à étudier les impacts de la production de compote de pomme non pas d'une marque ou d'une usine bien définie mais bien d'un système de production type. Dès lors qu'on ne peut identifier la provenance exacte des pommes utilisées, il semble préférable d'étudier un profil type d'exploitation qui diminue le risque d'induire un biais liés à des pratiques horticoles trop originales. Deuxièmement, étant donné le cadre de travail, c'est-à-dire une démarche comparative, l'objectif final n'est pas de déterminer un niveau arrêté de pollutions et d'impacts mais bien de définir les différences fondamentales entre les systèmes et leurs impacts en termes de proportionnalité. Dès lors, une approche comparative des deux systèmes de production type ne nous paraît pas incompatible avec l'objectif de départ.

Que ce soit en agriculture biologique ou intégrée, la pomiculture belge est très peu utilisatrice de système d'irrigation. En effet, les pommiers sont bien adaptés au climat belge et la pluviosité moyenne suffit généralement au développement des arbres et à leur production fruitière. Dès lors, **les systèmes d'irrigation possibles en arboriculture ne seront pas abordés, ni étudiés**.

Par ailleurs, étant donné les éléments précités, nous nous intéresserons principalement à la **production de la Jonagold et de son mutant, la Jonagored**, pour réaliser notre inventaire. En effet, cette variété possède des caractéristiques particulières qui engendrent des pratiques légèrement différentes de la production d'autres variétés. Étant donné que nous nous intéressons à un espace géographique limité, il nous paraît opportun de considérer les pratiques usitées dans le cadre de la production de la variété la plus représentative dans notre pays.

La Jonagold est une pomme d'excellente qualité qui convient autant au marché du frais qu'à la transformation. C'est un fruit à la peau lisse et grasseuse, elle est très sucrée et légèrement acidulée, ce qui fait d'elle une variété très appréciée des consommateurs. La Jonagold possède de nombreuses qualités. Cependant, d'un point de vue agricole, elle présente également des désagréments notamment en ce qui concerne la résistance à certaines maladies, champignons et ravageurs qui affectent les vergers de pommiers. Afin de mieux comprendre, les pratiques de lutte et de protection des vergers qui font partie intégrante des pratiques arboricoles, il nous semble indispensable de définir les maladies et ravageurs caractéristiques de la culture de pomme.

3.1. Maladies et parasites

🍏 La Tavelure de pommier (*Venturia inaequalis*) :

La tavelure est la maladie la plus redoutée dans les vergers. Il s'agit d'un champignon qui cause des lésions noires ou brunes sur les feuilles et les fruits. Dans des cas d'atteinte grave elle peut même affecter le bois. La tavelure cause rarement la mort de l'arbre mais elle peut en cas d'atteinte et sans traitement affecter 100 % de la production. Il existe un grand nombre de souches différentes de ce champignon ce qui fait que la résistance des variétés, souvent mono-génique, reste relative même pour les variétés réputées résistantes.

*"La conservation hivernale du champignon se fait sous forme de périthèces³ sur feuilles mortes, parfois sous forme de mycélium⁴ dans les pustules des rameaux et des bourgeons. A la sortie de l'hiver, les périthèces arrivés à maturité s'ouvrent et laissent échapper les ascospores⁵ qu'ils contiennent sous l'effet mécanique de la pluie : ce sont les projections. Les ascospores sont éparpillées par le vent et la pluie. Elles vont se développer sur les premiers organes verts présents par l'émission d'un filament germinatif sous la cuticule. C'est ce qu'on appelle **les contaminations primaires**. La contamination ne se produit que si les organes verts restent mouillés un certain temps (durée d'humectation). La température moyenne pendant cette période permet de savoir si le risque est élevé, moyen ou faible. Par exemple pour avoir un risque grave, 18 heures d'humectations suffisent à 18°C alors qu'il faut 36 heures à 8°C (Table de Mills). Après une interruption de l'humectation de plus de 10 heures, on considère que les ascospores ne sont plus viables. Les tâches apparaissent en général 20 à 25 jours après la contamination. Les contaminations primaires se prolongent tant que tout le stock d'ascospores n'a pas été libéré (maturation échelonnée jusqu'en juin ou juillet selon les régions). Si les contaminations primaires sont endiguées (peu ou pas de taches) le risque est terminé. Dans le cas contraire les tâches vont libérer des conidies⁶ qui vont se succéder pendant tout l'été jusqu'à la fin de la période végétative. C'est ce qu'on appelle **les contaminations secondaires**. La diffusion des conidies peut se faire sans pluie, une rosée forte suffit. La tavelure est alors beaucoup plus difficile à contenir."* [GRAB, 2005, p. 264]

Cette différence entre les contaminations primaires et secondaires est fondamentale car elle explique en grande partie les pratiques appliquées tant en agriculture conventionnelle que biologique.

🍏 L'Oïdium (*Podosphaera leucotricha*)

L'oïdium est également un champignon, communément appelé maladie du blanc. Le champignon se développe sous la forme d'un feutrage blanc à blanc-grisâtre d'aspect farineux à la surface des feuilles, des tiges et parfois des fleurs ou des fruits. Il peut également provoquer une déformation des feuilles et le roussissement des jeunes fruits. Dans le cas d'attaque importante, le rendement du verger peut être diminué.

³ Chez les champignons ascomycètes (dont fait partie la tavelure), le périthèce est la fructification, en forme de bouteille, renfermant les ascques c'est-à-dire les cellules reproductrices. [Wikipédia en ligne : périthèce consulté le 15/07/2011]

⁴ Partie végétative des champignons [Wikipédia en ligne : mycélium consulté le 15/07/2011]

⁵ Cellule de reproduction [Wikipédia en ligne : asque et spore consulté le 15/07/2011]

⁶ Une conidie est une spore assurant la multiplication asexuée des champignons et non capable de mobilité autonome. On les appelle également les mitospore car la conidie est produite de manière asexuée par le seul processus de mitose. [Wikipédia en ligne : conidie consulté le 15/07/2011]

"Le champignon hiverne sous forme de mycélium dans les bourgeons des pousses infestées. En été, la formation des pousses tardives facilite le développement du champignon. La germination a lieu au printemps. Le mycélium donne des oïdies qui germent et forment un second mycélium qui se développe sur la pousse. Ce mycélium produit des conidies qui, dispersées par le vent provoquent des contaminations secondaires jusqu'à l'automne. Un excès d'humidité est défavorable (pas de germination dans l'eau contrairement à la tavelure). Les températures optimales pour le développement de l'oïdium sont comprises entre 10°C et 20°C." [GRAB, 2005, p. 267]

🍏 Le Carpocapse des pommes (*Cydia pomonella*)

Le carpocapse fait partie de la famille des lépidoptères, c'est-à-dire les papillons, dont les larves, qui de développent à l'intérieur des fruits, causent des dégâts sur feuilles, fruits et bois. Il s'agit d'un ravageur-clé qui est, au même titre que la tavelure pour les champignons, très redouté des producteurs. L'attaque des fruits par les larves entraîne un déclassement des lots de production voir même une impossibilité de mise sur le marché.

Ce sont surtout les attaques de la deuxième génération qui posent problème. En effet, celle-ci apparaît en août lorsque les fruits sont déjà bien développés. Les femelles pondent alors dans des fruits sains et la chenille pénètre par un point quelconque formant ainsi une alvéole auréolée de rouge. [GRAB, 2005, p. 99-100]

🍏 L'Hoplocampe du pommier (*Hoplocampa testudinea*)

L'hoplocampe du pommier est un insecte dont la larve se développe dans les pommes.

"L'adulte ressemble à une petite guêpe foncée jaune rougeâtre avec un thorax et un abdomen noir. Il apparaît au moment de la floraison, s'accouple et dépose des œufs sous la base des étamines. L'éclosion a lieu à la chute des pétales. La jeune larve attaque l'épiderme du fruit provoquant des attaques primaires puis pénètre dans le fruit ou passe sur d'autres fruits, créant des attaques secondaires pouvant faire penser à des attaques de carpocapse (ravageur qui affecte plutôt les régions du sud)." [GRAB, 2005, p.260]

"Les symptômes se retrouvent sur les jeunes fruits. Au point de pénétration, la perforation est noirâtre et l'on peut voir une exsudation ou des déjections foncées. Sur pommier, ces attaques superficielles provoquent l'apparition de cicatrices liégeuses en sillon. Si le ravageur s'attaque plus profondément au fruit, il va y avoir chute de celui-ci." [DREYFUS J., ROUSSEL M., 2007]

🍏 L'Anthonome du pommier (*Anthonomus pomorum*)

Insecte de la famille des charançons. "Il mesure 4-5 mm, de couleur brun noirâtre avec un dessin blanchâtre en forme de V, tombe et fait le mort lorsqu'il est dérangé. Les adultes hivernent dans les anfractuosités des troncs, sous la mousse et les vieilles écorces à la lisière des forêts et sur les pommiers. La reprise d'activité a lieu dès que la température atteint 9°C pendant plusieurs jours (début mars dans le nord). Les bourgeons à fruit du pommier sont attractifs au moment précis où les tissus verts blanchâtres apparaissent entre les écailles. Les adultes se déplacent aux heures les plus chaudes et se nourrissent sur les bourgeons. Après 10 à 15 jours d'activité, les femelles déposent des

œufs (un par fleur) dans les bourgeons. La larve sort après une dizaine de jours d'incubation. Elle se développe dans le bourgeon pendant 3 à 4 semaines puis se nymphose. L'adulte sort environ une semaine plus tard par une perforation ronde dans les pétales desséchés puis se déplace vers les lieux d'hivernation. Les bourgeons attaqués présentent des petites morsures en forme de piqûres laissant apparaître des gouttelettes brun rouge. Les pétales desséchés ne se s'ouvrent pas, donnant à la fleur l'apparence d'un clou de girofle, très caractéristique et facilement identifiable. Le taux d'attaque peut atteindre les 100%, réduisant la production à néant." [GRAB, 2005, p. 261-262]

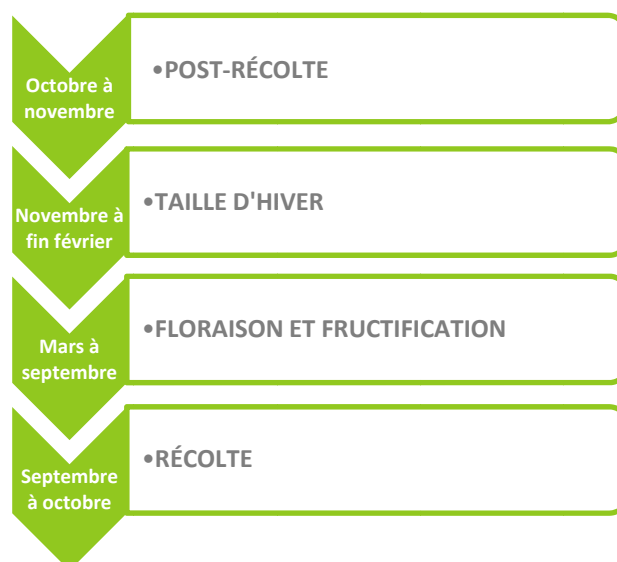
🍏 Les maladies de conservation

Ces maladies se développent au cours du stockage des fruits après-récolte. Dès lors, des traitements préventifs sont effectués avant la récolte afin d'empêcher la contamination des fruits sur les arbres. Des traitements post-récolte par trempage et douchage sont également réalisés. Quatre espèces de maladies de conservation affectent particulièrement les pommes : la pourriture amère (*Gloeosporium*), la pourriture grise (*Botrytis cinerea*), la pourriture bleue (*Penicillium*) et le chancre européen (*Nectria galligena*). [www.fytoweb.be.

3.2. Pratiques arboricoles

Afin de pouvoir déterminer les étapes susceptibles d'être exclues de l'étude sur base de leur importance relative, il est important de bien comprendre le système de production arboricole dans sa globalité. Notons déjà que les pratiques courantes sont fortement conditionnées par les caractéristiques intrinsèques aux vergers et les critères commerciaux qui entourent la pomme (cfr Infra). Dans cette première partie, nous détaillerons quelques peu les différentes opérations pratiquées au cours d'un cycle de production (Figure 3).

Figure 3 : Etapes générales de production des pommes sur une saison.



3.2.1. La période post-récolte

La tavelure (cfr Supra) est le ravageur qui affecte le plus la culture des pommes. Dans la plupart des régions tempérées, les pertes de production liées à ce ravageur seraient de 50 à 90 % si aucune mesure de contrôle appropriée n'était entreprise. [HOLB I.J., 2006] En fonction du niveau d'attaque de l'année écoulée, les risques d'attaques pour la période à suivre sont plus ou moins importants. En effet, le champignon hiverne sur les feuilles tombées à l'automne des arbres infectés. Elle se fixe donc pour l'hiver dans la litière de la parcelle. La tavelure se manifeste via deux cycles d'infection consécutifs. Dès lors, la meilleure stratégie pour prévenir les infections primaires est de limiter la possibilité de production des ascospores. Dans ces circonstances, la clé de la prévention se situe dans la gestion des feuilles qui tombent à l'automne [ROSENBERG, 1990, in DUVAL, 2003]. L'arboriculteur tente grâce à diverses techniques de favoriser la décomposition rapide des feuilles. En culture intégrée, les deux pratiques les plus courantes sont l'apport de compost pour favoriser la vie microbienne dans le sol et un apport d'azote juste avant ou après la chute des feuilles qui favorise leur décomposition. C'est pourquoi, la période suivant la récolte est très souvent suivie d'un épandage d'engrais. Selon la transcription de la Directive nitrate de 1991 dans le code wallon de l'environnement, l'épandage de tout type d'engrais est autorisé jusqu'à la mi-octobre. Après cette période, il n'est autorisé d'épandre que des engrais organiques à action lente.

L'apport d'azote avant la chute des feuilles provient principalement de l'épandage d'urée. En effet, une seule application de ce produit permet de supprimer l'éjection d'ascospores et augmente les rendements l'année suivante [GUPTA, 1987, in DUVAL, 2003].

Après la mi-octobre, seuls les engrais organiques à action lente sont autorisés. Ce type d'engrais est défini par le code wallon comme "fertilisants organiques caractérisés par une faible portion d'azote disponible au moment de l'épandage ; il s'agit notamment des fumiers de bovins et de porcs, ainsi que des composts de fumier". Dans la culture horticole, l'engrais qui est principalement utilisé à cette période est le compost de fumier. Dès lors, c'est celui-là que nous retiendrons pour notre étude.

3.2.2. La taille d'hiver

Suite à la dernière récolte ayant lieu mi-octobre, la taille d'hiver peut débuter. La taille est une étape fondamentale car elle déterminera en grande partie la production et le rendement de la saison à venir. En effet, une taille intelligente permet d'entretenir une production régulière en influençant le nombre de point de nouaison (lieu où les fleurs et ensuite les fruits se développeront), le niveau d'ensoleillement des futurs fruits (exemple de conduite dite centrifuge), la qualité des fruits (les meilleurs fruits se développent sur les bois de deux ans), etc. Dans un verger, les 4 mois d'hiver (de fin novembre à fin février) sont principalement dédiés à la taille.

Il s'agit d'une opération de type mécanique mais qui reste principalement effectuée manuellement à l'aide de sécateurs et parfois de sécateurs électriques ou autres outils de taille spécifiques. La réalisation d'un hectare de taille demande entre 70 et 100 heures de travail, en moyenne une

personne seule est capable de traiter environ 10 ha durant la période. Les déchets de taille ne doivent pas être considérés dans les sorties car ils sont directement broyés sur champ.

3.2.3. La période de floraison et de fructification

Cette période signifie le début de l'utilisation des techniques propres à chaque système agricole dans la lutte contre les adventices, maladies et ravageurs. Par ailleurs, c'est au cours de la période de floraison que la majorité des engrais sont apportés afin de dynamiser la production à venir et donc de maximiser les rendements.

De façon générale, les pommiers sont relativement peu demandeur d'azote, de potassium et de phosphore comparés à d'autres cultures. En effet, de nombreuses expériences scientifiques ont confirmé que dans des conditions de bonne gestion du sol, les pommiers répondent rarement à l'apport d'azote. [DECKERS et al, 2001, WIDMER et al, 2006, et WRONA, 2011, p.4] Cependant, un apport de nutriment en période de floraison et de fructification permet d'assurer une floraison maximale et par conséquent une grande production de fruits. Dès lors, contrairement à la période automnale, on recherche ici des engrais à action rapide qui agiront dans les 2 à 3 semaines après épandage. En ce qui concerne les engrais chimiques, ceux les plus fréquemment utilisés sont l'urée et le nitrate d'ammonium pour l'apport d'azote. Globalement, on considère que, quelle que soit la nature des engrais utilisés, la bonne pratique demande 40 unités d'azote à l'année, soit 40 kg/ha/an. Le phosphore et le potassium se situent entre 20 et 30 unités à l'année.

Les pratiques concernant la lutte contre les adventices, les maladies et ravageurs diffèrent fortement d'une technique culturale à l'autre. Dès lors, celles-ci seront directement détaillées dans l'inventaire de cycle de vie.

Parmi les activités pratiquées durant cette période, il est également important de mentionner l'éclaircissage. Celui-ci consiste à éliminer, avant grossissement, une partie des fruits produits par un arbre trop chargé. Normalement, les fruits en excès chutent naturellement. Cependant, pour des raisons d'optimisation du rendement, la quantité de pommes qui tombent peut être considérée trop faible, nécessitant alors une intervention de l'arboriculteur. En d'autres mots, "le pommier présente la particularité de réguler naturellement sa charge l'année en cours par un processus de chute physiologique, mais également l'année suivante, en adaptant l'intensité de l'induction florale. Ces mécanismes physiologiques sont régulés par un ensemble d'hormones dont il est possible de modifier les équilibres pour adapter la charge en fruits aux objectifs commerciaux. Les arboriculteurs, devant la nécessité d'offrir les plus belles pommes à croquer, doivent intégrer ces phénomènes et les contrôler. Ainsi s'est développée la technique de l'éclaircissage du pommier, étape essentielle dans l'itinéraire du verger". [MATHIEU V. et al, 2011, abstract]

L'éclaircissage peut se réaliser mécaniquement ou chimiquement. Bien que l'option mécanique soit utilisée dans les deux systèmes de production, le système agricole classique pratique également l'éclaircissage chimique. En effet, il s'agit de la principale mesure qui "permettent d'influencer la formation des bourgeons floraux et d'obtenir des fruits de qualité". [WIDMER A. et al, 2008, p.87] Les produits d'éclaircissage traditionnels sont le NAD, Naphthylacétamide et l'ANA, Acide

naphthylacétique. Cette étape sera également détaillée en termes de quantité dans le cadre de l'inventaire.

3.2.4. La période de récolte

La récolte de pommes est une étape principalement manuelle. Elle se réalise sur la période par en moyenne deux à trois rounds de cueillette. Durant la cueillette un premier triage sur champ est déjà effectué. Les pommes "invendables" et considérées comme rebus seront retirées et abandonnées sur champ. Les machines n'interviennent que très peu dans l'étape de la récolte. Les tracteurs sont utilisés à deux fins et de façon limitée. D'une part, ils servent à transporter la récolte du champ vers le lieu de stockage. D'autre part, une passerelle automotrice peut être utilisée pour cueillir les fruits au sommet de l'arbre. Cependant, si cette technique est utilisée, on ne dénombre généralement pas plus d'une passerelle par exploitation.

Ce bref tour d'horizon des pratiques, nous permet de mettre en évidence le fait qu'au sein des étapes à considérer ce sont surtout les aspects liés aux utilisations d'engrais et des techniques de lutte contre les mauvaises herbes, les maladies et les ravageurs qui semblent jouer un rôle prépondérant dans la quantification des impacts étant donné que la culture de la pomme est très peu mécanisée.

3.3. Consommation énergétique

La consommation d'énergie non-renouvelable en agriculture constitue un facteur de production important. Lorsqu'on adresse cette question, il faut tout d'abord effectuer la distinction entre la consommation énergétique directe et indirecte. La consommation directe est celle qui est liée à l'énergie utilisée par les infrastructures et les machines de production afin de réaliser le travail nécessaire à la réalisation de l'objectif de production. La consommation énergétique indirecte est celle relative à l'énergie fournie pour fabriquer les différents facteurs de production que sont les engrais, les pesticides, les machines et les équipements divers tels que les pallox de conditionnement ainsi que leur transport jusqu'au champ.

Comme nous venons de le montrer, comparativement à d'autres cultures, la consommation énergétique directe en arboriculture est relativement peu importante. Le degré de mécanisation de cette culture étant faible, il en va de même pour la consommation énergétique. Les différents aspects de la mécanisation qui entraîne une consommation directe sont : la cueillette, le contrôle des ravageurs et maladies, l'épandage d'engrais, la taille, l'éclaircissement, la lutte contre le gel, l'irrigation et la gestion du sol. Dans le cadre de ce travail, nous ne tiendrons pas compte des pratiques liées à l'irrigation, à la lutte contre le gel et à la gestion du sol. En ce qui concerne les deux premiers, la raison en est simple ; ceux-ci ne représentent pas des pratiques courantes en Belgique. Les pratiques liées à la gestion du sol ne seront pas étudiées à cause d'un manque d'informations à ce sujet.

En ce qui concerne la consommation énergétique indirecte, seule celle entrant dans les procédés de production des différents produits utilisés dans la culture de pommiers sera considérée et ce au

travers de leurs écoprofiles respectifs. Par ce choix, les impacts liés à la production des machines et à leur transport jusqu'au champ ne sera pas considéré. En effet, nous manquons d'informations sur le sujet. De plus, étant donné la durée de vie des machines de production, nous estimons que l'impact total ramené à la tonne de pommes produites annuellement doit être relativement peu significatif.

IV. DESCRIPTION DU PRODUIT ÉTUDIÉ

1. HYPOTHÈSES

Les hypothèses de travail présentées ci-après, nous permettent de restreindre en partie notre champ d'étude et ainsi de tenter de maximiser la précision de nos données. Ces hypothèses resteront valables quel que soit le scénario de production envisagé (cfr Infra) mais seront discutées dans la partie finale qui conclura notre travail.

Le produit qui fait l'objet d'une étude dans le présent travail est la **compote de pomme avec morceaux home-made**. La réalisation de la compote de pomme se base sur une recette initialement simple pour laquelle diverses variations existent en fonction des goûts de celui qui la produit. Dans le cas de notre étude, nous nous intéresserons uniquement à la recette classique qui permet de transformer les pommes en compote par simple cuisson et sans aucun autre ajout si ce n'est un peu d'eau. Par ailleurs, on suppose que la compote préparée maison est **destinée à une consommation directe**. Dès lors, elle n'engendre aucun besoin en termes d'emballage et de conservation.

Une autre hypothèse importante liée à ce produit est que le consommateur se fournit en **matière première auprès d'une grande surface**. Ce qui signifie que les pommes, qu'elles soient issues de l'agriculture classique ou biologique, de Belgique ou de l'étranger, sont achetées dans des grands magasins dans le cadre des courses hebdomadaires ou mensuelles. Cette hypothèse est importante car elle nous permet de comparer des variations au sein d'un même schéma global de consommation. **Par cette hypothèse, nous souhaitons adresser les possibilités d'actions du consommateur dans le contexte d'un comportement de consommation alimentaire classique dans nos pays industrialisés**. En effet, en allant faire ses courses et en sachant qu'il désire préparer un repas avec de la compote de pomme en accompagnement, le consommateur a deux grandes possibilités : acheter de la compote déjà préparée ou acheter des pommes afin de la réaliser lui-même. Ce mémoire adresse cette deuxième option tout en y insérant des variations raisonnables telles que choisir des pommes biologiques ou produites en Belgique. De plus, comme nous l'avons évoqué dans le point concernant les caractéristiques des pommes, l'arboriculture fournit différentes catégories de pommes. Celles que nous retrouvons dans les étals des grands magasins font partie de la catégorie des fruits destinés initialement au marché du frais et non à la transformation. Comme nous le verrons dans la suite de ce mémoire, ceci a une influence conséquente sur nos résultats finaux.

Enfin, pour des raisons de simplifications, nous avons décidé de placer la production de compote dans un **cadre temporel restreint**. Nous supposons que le consommateur est conscient de la saisonnalité des fruits et des légumes et que dès lors il ne produira sa compote que durant la période

consacrée à savoir de septembre à mi-février. Cette limitation temporelle implique que **nous ne considérons qu'une technique de stockage et de conservation des fruits : le frigo**. En effet, celui-ci, a une température de 1-2°C, permet de conserver les fruits durant 4 mois après la récolte. Notons toutefois que d'autres techniques existent pour prolonger la durée de vie et de conservation des pommes : le stockage en atmosphère contrôlée (AC) ou en Ultra Low Oxygen. Ces techniques de conservation se basent sur le contrôle des quantités de dioxygène et de dioxyde de carbone disponibles dans la pièce. Elles permettent de conserver les fruits jusqu'à 12 mois. [MAZOLLIER J. et al, 2002]

2. SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE

Le **scénario de référence (SR)** fera l'objet d'une étude approfondie et d'un développement dans le cadre de l'ACV.

Dans le scénario de référence, nous considérons que la compote est réalisée à partir de **pommes belges issues de l'agriculture intégrée**, qui rappelle la norme en terme de système arboricole en Belgique. Les pommes achetées en **vrac** au supermarché ont suivi le **schéma classique de distribution**, depuis le champ jusqu'aux magasins, applicable dans notre pays. De plus, elles étaient **initialement destinées à la commercialisation et à la consommation en tant que produit frais**.

Concernant la phase de transformation de la pomme en compote, le SR implique l'usage d'une **technologie de cuisson basée sur l'électricité**. En effet, selon une étude de 2009 réalisée par le CRIOC, deux ménages sur trois possèdent une cuisinière électrique [VANDERCAMMEN M., 2009]. Cependant, plusieurs technologies de plaques de cuisson électriques existent : les taques électriques en fonte, les plaques vitrocéramiques à rayonnement et halogènes ainsi que les plaques à induction. Nous n'avons pu disposer de statistiques nous renseignant sur le type de technologie utilisées par les ménages belges. Dès lors, nous poserons l'hypothèse suivante : parmi les ménages utilisant des cuisinières électriques, 50 % utilisent la technologie classique avec des taques en fontes. Les 50 % restant se partagent équitablement entre vitrocéramique et induction. Cette hypothèse nous paraît cohérente au vue de la durée de vie des cuisinières et des investissements conséquents relatifs aux deux dernières technologies. Dès lors, la consommation énergétique liée à la production de compote de pomme sera ramenée à une moyenne pondérée afin de refléter la réalité belge selon les facteurs suivants:

- 🍏 Technologie électrique classique (fonte) : 50 %
- 🍏 Technologie vitrocéramique : 25 %
- 🍏 Technologie à induction : 25 %

3. SCÉNARIOS ALTERNATIFS

Notre étude qualitative nous a permis de mettre en avant deux alternatives qui paraissent pertinentes au regard des limites du SR. Dès lors, après avoir confirmé par l'analyse quantitative que ces scénarios ont du sens, ils seront étudiés en vue de confronter ces résultats.

3.1. Scénario biologique

Le scénario biologique correspond en tout point au SR si ce n'est que les pommes ne sont plus issues de la production intégrée mais de la production biologique. La définition et l'étude du système biologique se basera sur la réglementation européenne et belge en la matière ainsi que les bonnes pratiques dans cette culture.

3.2. Scénario pommes à transformer

Pour ce scénario, nous émettons l'hypothèse que l'on puisse acheter des pommes destinées à la transformation en supermarché. Bien que ce ne soit pas le cas actuellement, principalement pour des raisons juridiques et économiques, il ne paraît pas invraisemblable que des magasins puissent proposer d'autres types de pommes que celle classiquement destinées à la consommation en tant que produit frais. Pour le reste des hypothèses, elles correspondent au SR.

■ CHAPITRE 4 :

ACV DE LA COMPTE DE POMME HOME-MADE

Ce chapitre représente le cœur de notre travail. Il a pour objectif d'appliquer la méthodologie ACV à un cas concret : la production de compote de pomme home-made sur base du scénario de référence. La première partie de ce chapitre se divisera en quatre sous-points respectant les grandes étapes de l'ACV. Les différents sous-procédés seront clairement identifiés afin de permettre une comparaison plus aisée avec les scénarios alternatifs développés dans la deuxième partie de ce chapitre.

Nous souhaitons par ailleurs rappeler que cet exercice est principalement réalisé sur base de la littérature que nous avons pu trouver sur le sujet. Dès lors, il persistera d'inévitables zones d'ombres quant aux données ou parties de procédé. Lorsque c'est possible nous tenterons de les lever via des hypothèses. Cependant, n'ayant pu nous entretenir avec un grand nombre de personnes actives dans le secteur et au vue de nos manques de connaissances dans certain domaine tel que l'agronomie, des inconnues persisteront. De plus, en partant du principe qu'une information ou une donnée inexacte pourrait compromettre la véracité des résultats d'inventaire ainsi que les conclusions qui en découlent, l'on préférera exclure de l'analyse les substances et/ou procédés entachés d'une trop grande incertitude. Bien entendu, celles-ci seront prises en compte dans l'interprétation finale des résultats et des conclusions qui en découleront.

➔ PARTIE I :

ACV DU SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE

I. OBJECTIFS ET CHAMP DE L'ÉTUDE

1. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

Comme le définit la norme ISO 14040 : *"L'objectif d'une ACV doit indiquer sans ambiguïté l'application envisagée, les raisons conduisant à réaliser l'étude et le public concerné, c'est-à-dire les personnes auxquelles il est envisagé de communiquer les résultats de l'étude"*.

L'objectif principal de notre ACV est d'évaluer l'impact environnemental de la production de compote de pomme faite maison dans le cadre d'une consommation en tant qu'accompagnement d'un repas. Cependant, cet impact est influencé par différents paramètres liés aux choix de production/consommation tel que le type de pommes utilisées, la période à laquelle la compote est produite, l'origine des pommes ou encore le mode de cuisson. Dès lors, nous avons déterminé un scénario de base à partir duquel nous ferons variés différents paramètres-clés. Ces scénarios alternatifs devraient nous indiquer la sensibilité des résultats vis-à-vis des différentes variables.

Ainsi, l'étude du scénario de base nous permettra de mettre en évidence quelles étapes du cycle de vie représentent les plus grand impacts. Tandis que les scénarios alternatifs nous indiquerons dans quelle mesure une variation de ces sous-procédés influence le résultat final.

Les raisons de l'étude sont de différents ordres. Hormis le fait que cette analyse s'inscrive dans le contexte académique en vue de l'obtention du Master en Gestion de l'environnement, il a pour objet d'informer les consommateurs quant à leurs actions de consommation dans une optique de sensibilisation à l'alimentation durable. Au travers d'un cas concret, nous souhaitons adresser les décisions auxquelles les consommateurs doivent faire face quotidiennement et y apporter un éclairage nouveau.

Le public concerné par notre étude est le consommateur belge moyen. Bien que le public soit clairement identifié, nous n'avons pas la possibilité d'assurer une diffusion large de ce travail. Dès lors, il est très probable que le public effectivement concerné par notre étude reste dans un cadre académique restreint. Cependant, toute personne, en particulier dans le milieu académique, sera susceptible d'y avoir accès via l'intermédiaire des bibliothèques permettant ainsi une diffusion pour qui serait intéressé par le sujet.

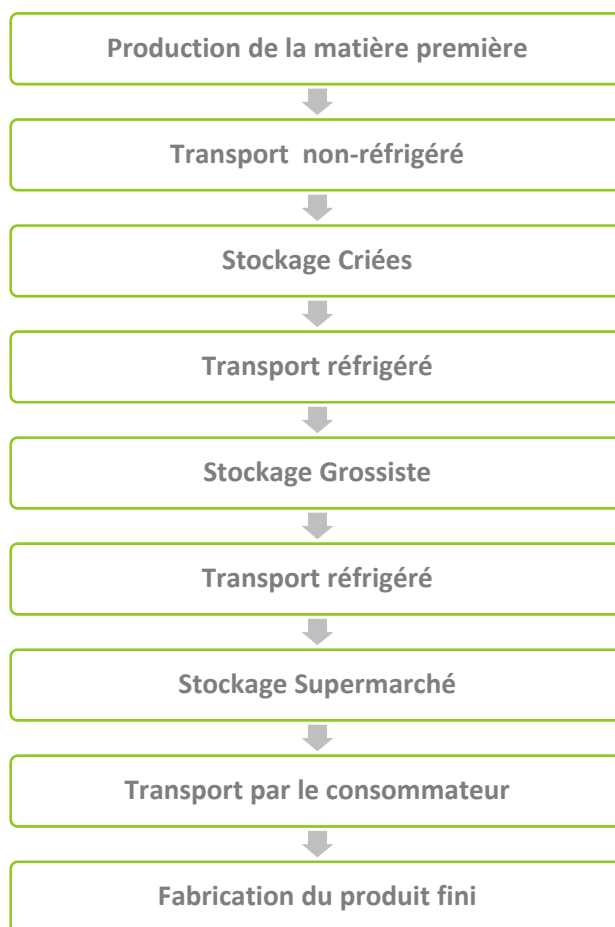
2. CHAMP DE L'ÉTUDE

Peu importe le scénario étudié, la fonction du produit telle que nous l'envisageons est une compote de pomme réalisée dans le cadre privé du ménage et en vue d'accompagner le repas principal, composé par exemple de viande et de féculent. A partir de cette fonction, nous pouvons en déduire **l'unité fonctionnelle** (UF). Notre UF représente une portion de compote pour deux personnes. Sur base des produits finis disponibles sur le marché et des différentes recettes proposées dans les livres de cuisine ou sur internet, nous considérons **qu'une portion de 370 g pour deux personnes** constitue une quantité de référence.

Afin de déterminer le champ d'étude, il convient de définir le système et ses frontières. Le système analysé regroupe l'ensemble des procédés d'extraction et de production des matières premières utilisés dans la production des produits intermédiaires nécessaires à la réalisation du produit final. Il comprend également les procédés de conservation et de transport des flux intermédiaires ainsi que la phase de transformation du produit fini.

Afin de clarifier notre démarche d'analyse et le système étudié, une modélisation de celui-ci peut être réalisée sous la forme d'un arbre de procédés sommaire et généraliste dont le but est de donner une vision globale du système et des différentes étapes qui constitue le cycle de vie. La structure de l'inventaire des émissions et des extractions sera basée sur ce schéma. La figure 4 schématise les différents procédés unitaires ainsi que les flux de produits intermédiaires qui les relient. Les flux élémentaires entrants et sortants ne sont pas représentés afin de faciliter l'examen du diagramme.

Figure 4 : Arbre global des procédés



Tous les procédés modélisés sur ce schéma seront pris en considération dans l'ACV. Cet arbre correspond à la schématisation des procédés du scénario de référence. Dès lors, en considérant certaines alternatives aux sous-procédés, d'autres sont susceptibles d'être modifiés. Il en va par exemple de la provenance des pommes. En effet, dans le schéma de base nous considérons des pommes vendues en Belgique et issues de la production nationale. Cependant, dans le cas où nous envisagerions des pommes en provenance de l'étranger, d'autres modes de transport devraient être envisagés et imputés au cycle de vie global de la compote de pomme.

II. INVENTAIRE DES ÉMISSIONS ET DES EXTRACTIONS POUR LA COMPOTE DE POMME

Comme expliqué précédemment dans la partie théorique, la réalisation de l'inventaire consiste en la quantification de tous les flux élémentaires (émissions et extractions) échangés avec l'environnement c'est-à-dire sortant des frontières du système. Pour ce faire, on établit un inventaire de production, qui reprend tous les flux intermédiaires entrants et sortants. Pour chaque substance ou consommation d'énergie identifiée, on multiplie la quantité par unité fonctionnelle (en kg, kWh, etc.) par un facteur d'émissions et d'extractions issu de la base de données, en l'occurrence Ecoinvent, pour finalement obtenir un inventaire des émissions et des extractions. Cette opération sera effectuée pour chaque sous-système du procédé du cycle de vie.

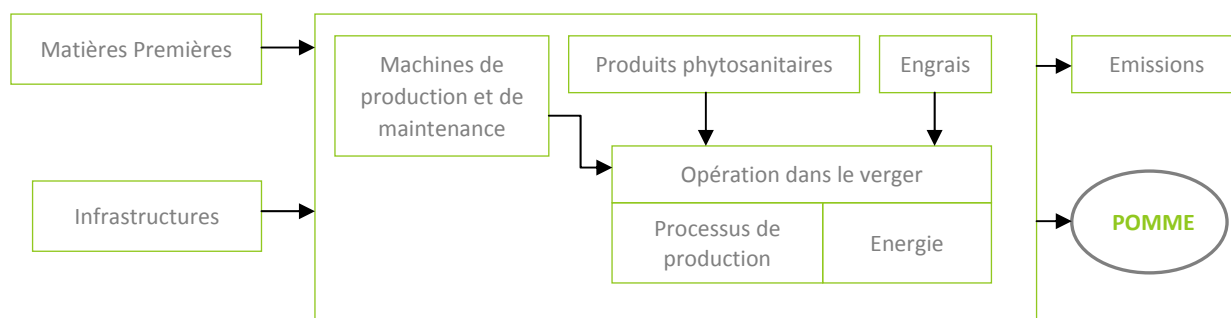
La réalisation de l'inventaire de production, également appelé bilan matière et énergie, est facilité par la réalisation d'une évaluation qualitative préliminaire. Il s'agit d'une analyse générale de chaque sous-système qui permet d'évaluer l'ordre de grandeur des différents intrants et sortants. Il s'agit donc d'une étude de sensibilité qui permet de définir les points clés sur lesquels toute notre attention devra être portée. Cette approche par une étude générale du sous-système sera particulièrement utile dans le cadre de l'impact environnemental de la production de pomme.

Méthodologiquement parlant, nous nous écarterons quelque peu de la façon de procéder habituelle en matière d'ACV. Dans notre travail, une fois que les différents intrants matières et énergie ont été considérés et quantifiés, nous sortirons leurs écoprofiles de la base de données Ecoinvent. La base de données fournit des résultats d'impact déjà calculés selon la méthode Impact 2002+ pour chaque processus et matière. Nous partirons de ceux-ci, plutôt que de la liste des ressources et des émissions dans les différents compartiments de la biosphère, pour réaliser l'inventaire sur base des unités équivalentes utilisées dans la méthode Impact 2002+ et qui serviront par la suite à réaliser l'analyse d'impact de notre produit et de ces sous-procédés.

1. PRODUCTION DE LA POMME

Etant donné qu'il n'existe pas d'écoprofil déjà réalisé en ce qui concerne la production de la pomme et qu'il s'agit du principal intrant dans notre produit, il est nécessaire d'étudier ce sous-système afin de pouvoir l'intégrer dans l'ACV de la compote de pomme. Le focus sera fait ici sur la production de la pomme et non sa distribution ou son conditionnement qui fera l'objet des points suivants. Dès lors, les frontières du sous-système incluront toutes les étapes du cycle de vie depuis le berceau (production des fertilisants et pesticides) jusqu'à la sortie de l'exploitation (la pomme récoltée). La figure 5, ci-dessous, indique les grands ensembles d'éléments à prendre en considération pour l'analyse du berceau à la sortie de l'exploitation de la production de pomme. Les impacts ainsi calculés sur base d'une unité fonctionnelle propre à ce processus unitaire seront par la suite ramenés aux données de masse des intrants pour la production de compote de pomme.

Figure 5 : Arbre de procédé de la production de pomme



Source : adapté de Milà i Canals et al, 2006, p 228

Comme nous le montre la figure 5, le processus de production de la pomme est composé de plusieurs procédés unitaires qu'il faut étudier et inclure dans l'analyse globale. Cependant, pour des raisons de faisabilité techniques et d'accès aux données, **les impacts imputables aux infrastructures construites et à la production des machines ne seront pas étudiés dans ce travail**. Les autres aspects seront quant à eux considérés, à savoir : **le terrain, les différents intrants matières que constituent les engrais et les produits phytosanitaires ainsi que les consommations énergétiques** liées à l'usage des machines seront examinés dans la limite des données disponibles.

Etant donné que le sous-système production de pomme comprend un grand nombre de procédés à considérer, nous réaliserons une *cradle to gate analysis* qui suivra également la structure méthodologique classique de la réalisation d'une ACV afin de clarifier l'étude de ce sous-procédé et de faciliter l'évaluation critique des résultats intermédiaires. L'analyse sera effectuée jusqu'au niveau d'inventaire des émissions et des extractions en unité équivalente, sur base de laquelle nous pourrons déjà tirer des conclusions intermédiaires.

Pour rappel, notre étude se base sur une généralisation des pratiques agricoles courantes dans les vergers de pommiers en Belgique. Ces pratiques et les caractérisations du système belge ont longuement été développées dans le cadre du chapitre 3. La compréhension et l'étude de celles-ci nous permettent de définir les éléments essentiels à la production arboricole et qui peuvent ainsi faire l'objet d'un inventaire de production.

1.1. Champ de l'étude du sous-système production de pomme

Rappelons que le champ de l'étude doit, selon la norme ISO, préciser la fonction du produit, l'unité fonctionnelle, le système et ses frontières, les hypothèses ainsi que les limitations.

Comme nous l'avons déjà explicité, la fonction première de l'arboriculture est de mettre des fruits frais à disposition sur le marché. En effet, la production de pommes destinées à l'industrie de transformation n'est qu'une fonction secondaire possible grâce à la présence des coproduits. Il s'agit, dans le cadre de cette étude, d'une question clé puisque notre hypothèse de départ suppose que la production de compote home-made se réalise à partir de pommes achetées en supermarché, c'est-à-dire des pommes initialement destinées au marché du frais et non celles destinées à la

transformation. Dès lors, l'inventaire des émissions et des extractions sera rapporté au flux de référence et défini sur base d'une **règle d'allocation que nous définirons plus loin dans ce mémoire.**

A partir de la fonction principale, c'est-à-dire la production de pommes destinée au marché du frais, l'unité fonctionnelle peut en être déduite. Dans ce cas-ci, nous considérons donc que **l'U.F. est 1 kg de pommes produites et commercialisables sur le marché du frais.** L'inventaire des émissions et des extractions sera ensuite ramené au flux de référence pour la production d'une unité de compte de pomme en accompagnement d'un repas pour deux personnes.

Afin de pouvoir réaliser notre inventaire de production, il est important de connaître les rendements moyens à l'hectare. Les quantités de matières utilisées, souvent exprimées en termes de l ou kg par ha, doivent donc être ramenées à un volume de production. Comme souvent en agriculture, le rendement à l'hectare de la production varie en fonction du système agricole. La Jonagold est une variété à haut rendement. Dans le cas de la production en **verger intégré, celui-ci se situe entre 40 et 70 T/ha.** Comme nous le verrons par la suite dans l'un des scénarios alternatifs, cette question du rendement est fondamentale pour déterminer les impacts imputables aux pommes Cat.I. Dès lors, le choix de qualifier et de quantifier l'impact sur base de l'unité kg plutôt qu'ha, si elle est cohérente avec l'objectif de ce travail, n'est pas sans conséquence sur les résultats. Remarquons également, que ce rendement moyen inclut toutes les catégories de pommes précédemment présentées. **Les rendements obtenus dans les catégories de pommes destinées au marché du frais représentent environ 80 % du rendement global soit 32 à 56 T/ha.**

Bien que la période de cueillettes à proprement parler soit relativement courte (de 4 à 6 semaines environ), l'activité de production se déroule sur une période de 12 mois durant laquelle diverses opérations se succèdent (cfr Supra) engendrant chacune des intrants et des sortants.

En ce qui concerne les hypothèses générales de travail et les limites du système, nous pensons les avoir clairement exposés dans les points précédents et dans le chapitre 3.

1.2. Inventaire des émissions et extractions

Afin de clarifier notre propos, nous diviserons cette section en deux parties. Premièrement, nous réaliserons l'inventaire de production c'est-à-dire la quantification des flux de matières et d'énergie entrant dans le système. Sur base de ce bilan, nous pourrions dans une seconde étape présenter les scores de caractérisations intermédiaires.

1.2.1 Bilan matière et énergie

> Le terrain

Le terrain est le premier élément indispensable à la conduite d'une activité agricole. Celle-ci est liée aux capacités du sol à fournir les nutriments essentiels au développement des plantes cultivées. Du point de vue de l'agriculteur, le sol est souvent vu comme une ressource inépuisable qui lui permet d'assurer une production croissante. Du point de vue environnemental par contre, le sol doit être considéré comme une ressource non-renouvelable. En effet, les processus de formation des sols sont très lents engendrant un épuisement de la ressource dans le cas où ils ne seraient pas gérés avec

parcimonie. Le sol peut être affecté par des dégradations physiques, chimiques et biologiques en partie provoquée par les activités intensives. Des pratiques extrêmes peuvent entraîner une stérilisation quasi définitive des parcelles [Vidal C, 1999].

Au vu de ce qui vient d'être dit, nous devons considérer l'occupation du terrain au même titre que les autres paramètres du processus qui mit ensemble permettront la production de la pomme. La quantification est ici assez simple. Etant donné que par la suite nous nous référerons aux quantités de produits et d'énergie utilisées par ha, cette variable correspond à **1 ha de terrain** agricole destiné à la conduite d'un verger de pommiers.

> Intrants matières

A. PESTICIDES⁷

En raison des diverses affections qui touchent la culture des pommiers, et de façon générale les fruits à pépins, l'arboriculture est un secteur historiquement très intensif en termes d'utilisation de produits phytosanitaires (voir tableau 4). *"(...) La protection phytosanitaire joue un rôle prédominant en arboriculture fruitière. En prenant comme référence arbitraire la quantité totale de matières actives des produits phytopharmaceutiques appliqués en moyenne par hectare et par an, on constate que, parmi les principales cultures agricoles, l'arboriculture fruitière est celle qui en utilise le plus."* [LATEUR M., 2002]

Tableau 4 : Apports moyens annuels de pesticides en Belgique par culture (kg/ha)

CULTURE	1995	2000	2003
Pomme	47,12	46,53	47,46
Pomme de terre	26,00	29,50	22,58
Froment	2,75	2,17	2,02
Maïs grain	2,08	1,63	0,88
Prairies	0,30	0,32	0,38

Source : CERVA/CODA/VAR, rapport final 2005

Des données plus récentes concernant les quantités moyennes de pesticides n'ont pu être obtenues. Cependant, sur base des diverses initiatives politiques prises au cours des années 2000 en matière d'utilisation de pesticides et du nombre croissant d'arboriculteurs suivant le cahier des charges de la lutte intégrée, nous estimons qu'une réduction de 10 % de cette quantité est à ce jour réaliste. Ce qui signifie un **apport moyen en 2011 de 42,3 kg/ha**.

Il existe un Programme fédéral de réduction des pesticides à usage agricole et des biocides en Belgique (PRPB). Celui-ci fût envisagé dès 1998 dans la loi du 21 décembre 1998 relative aux normes produits ayant pour but la promotion de modes de production et de consommation durables et la protection de l'environnement et de la santé. En effet, cette loi prévoit l'instauration d'un programme fédéral de réduction devant être actualisé tous les deux ans. Le premier de ces programmes est effectif depuis 2005. Depuis lors deux actualisations ont été faites, précisant

⁷ La quantification des flux considérés dans le cadre de ce travail ne représente pas des pratiques absolues à suivre inconditionnellement. Il s'agit plutôt d'un exemple de gestion-type qui est conforme aux doses maximales applicables annuellement et aux réalités de terrain.

certaines lacunes du 1^{er} programme et le prolongeant jusqu'en 2012. L'objectif principal du PRPB est de diminuer de 25% l'impact sur l'environnement des pesticides. Cependant, ce dernier ne se mesure pas qu'à l'aide d'un simple indicateur de quantité. En effet, *"une réduction pure et simple des quantités utilisées ne tient pas compte des caractéristiques spécifiques des produits et des matières actives. Il est dès lors nécessaire d'évaluer leur impact sur la santé et l'environnement en appliquant un indicateur d'impact tel que le POCER ou PRIBEL et non un indicateur de pression visant à réduire les quantités ou les fréquences d'application"* [Le Conseil de la consommation, 2004]. Dans ce contexte, une réflexion concernant l'emploi raisonné des produits de protection des plantes est essentiel. La culture en lutte intégrée rejoint cette vision des choses. C'est pourquoi elle est promue par le programme qui soutient ce système via des primes et des aides techniques. A terme l'objectif est d'atteindre une production intégrée de 90 %, les 10 % restant étant dédié à la culture biologique.

Différents textes législatifs cadrent les pratiques autorisées pour la méthode de production intégrée de la culture de pommes. Les documents de référence étaient l'arrêté royal du 22 janvier 1996 relatif à l'agrément de la méthode de production intégrée pour fruits à pépins et des producteurs qui la pratiquent (modifié par l'arrêté royal du 19 décembre 2001) et l'arrêté ministériel datant du 25 mars 1996 fixant le cahier des charges et le cahier parcellaire concernant la méthode de production intégrée des fruits à pépins (dernière modification datant du 20 décembre 2001). Suite au transfert de diverses compétences aux régions, notamment en matière agricole, conformément à la loi spéciale du 13 juillet 2001, chacune des régions s'est dotée de sa propre législation : l'arrêté du Gouvernement flamand du 26 mars 2004 et l'arrêté du Gouvernement wallon du 29 avril 2004. Ceux-ci abrogent les textes de référence tout en étant fortement inspiré. Dès lors, les deux arrêtés diffèrent très peu dans la pratique. C'est pourquoi, nous nous baserons sur le **texte wallon qui dans son annexe 1 précise les pratiques acceptées et les produits autorisés dans le cadre de la production intégrée.**

Bien que des efforts important aient été consentis en termes d'utilisation de produits phytosanitaires notamment du point de vue de la toxicité des produits autorisés, la pression en termes de quantité et du nombre de traitements reste importante en arboriculture fruitière. Les produits phytopharmaceutiques peuvent être subdivisés en quatre grandes catégories : les fongicides, les insecticides, les herbicides et les régulateurs de croissances.

En arboriculture, 60 % des pesticides appliqués se situent dans la famille des fongicides. Comme nous l'avons déjà signalé c'est surtout la tavelure qui représente une véritable menace pour les horticulteurs. Ainsi, les traitements contre la tavelure constituent pratiquement 80 % des traitements fongicides totaux ou encore 50 % de l'ensemble des applications de pesticides. Les insecticides représentent quant à eux environ 20 % tandis que les herbicides et les régulateurs de croissance concernent respectivement 10 % des applications [WARNIER O., 2011, *pers. comm*].

En Belgique, pour qu'un produit phytosanitaire puisse être utilisé, il doit préalablement avoir été agréé par le ministre de la Santé publique. Les conditions auxquelles doit satisfaire le produit sont fixées dans l'acte d'agrément sur avis du comité d'agrément. Les conditions incluent entre autre de notifier :

- 🍏 Le nom du produit
- 🍏 Le numéro d'agréation
- 🍏 La composition du produit
- 🍏 L'étiquette (catégorie de danger, classe, phase de risque)
- 🍏 Les cultures et les organismes à combattre
- 🍏 Les conditions d'application (dose, moment d'application, délais avant la récolte, etc.)

Le site fytoweb.be indique les différents produits agr es en Belgique ainsi que les doses d'application autorisées. Il est important de noter qu'en arboriculture fruitière, **la grande majorité des traitements est réalisée à la dose homologuée sur l'ensemble de la superficie du verger** [INRA, 2009, p.11].

Nous nous baserons donc sur les doses d'application renseignées afin de déterminer les quantités d'intrants de matières actives dans le verger. La plupart des doses d'emploi sont exprimées en l ou kg par ha de haie végétale. Cette unité est valable pour les cultures à développement vertical dans lesquelles on se déplace entre rangs, elle s'applique donc aux cultures fruitières. Cependant, dans le cadre de notre étude, nous souhaitons connaitre les quantités de matières actives autorisées par ha de verger. La formule qui permet de transposer cette expression en ha de verger est la suivante :

$$\frac{(2 * H * D * C)}{L} = Q$$

Avec

2 : Pour prendre en compte les deux côtés de la haie

H : la hauteur moyenne des plantes (m)

D : la dose d'utilisation mentionnée par l'agréation (l/ha de haie ou kg/ha de haie)

L : la largeur de l'interligne (m)

C : facteur de correction ; 1 pour des rangs simples, 1,2 pour des rangs jumelés, 1,3 pour des rangs triples

Q : la quantité de produit à utiliser (en l/ha de verger ou kg/ha de verger)

Dans notre cas d'étude, sur base des informations informelles obtenues auprès du Centre fruitier Wallon, nous estimons que la hauteur moyenne des vergers de Jonagold est de l'ordre de 2,5 m, que l'interligne est généralement de 3,3 m et la plupart des vergers sont conduit sur des rangs simples. Dès lors, la formule applicable dans notre cas est la suivante :

$$\frac{(5 * D)}{3,3} = Q$$

Sur base de la législation wallonne de 2004 et de la dernière modification de l'annexe 1 du 21 mars 2011, ainsi que des informations fournies sur le site fytoweb.be, nous pouvons à présent déterminer les quantités et les types de substances actives appliquées sur les vergers. Par ailleurs notons, que les scénarios d'utilisation de pesticides qui seront utilisés se basent sur les informations fournies de manière informelle lors de l'interview réalisée auprès du Centre fruitier wallon.

Selon l'art 10§1 de l'arrêté du 29 avril 2004, "*les interventions contre les organismes nuisibles sont décidées après estimation du risque réel qu'ils représentent*". Ce risque est évalué par la mise en œuvre de méthode d'observation et de surveillance des niveaux de population des ravageurs. Si la lutte est nécessaire, elle doit s'effectuer de préférence et en premier lieu via des méthodes culturales et naturelles adaptées. Si cela n'est pas suffisant, les pesticides peuvent être utilisés dans la limite des substances actives autorisées par l'arrêté et selon les doses prescrites par l'acte d'agrément.

Malgré cette réglementation, **le nombre de traitements annuels reste important, de l'ordre de vingt**. Bien entendu, le nombre de traitements appliqués chaque année dépend fortement des conditions extérieures, principalement météorologique ainsi que de la gravité des attaques de l'année précédente et de l'année en cours. C'est pourquoi, pour tenter de modéliser une approche plus fine de la réalité, nous envisagerons **deux scénarios** : un niveau d'attaque modéré (**Sf**) et un autre niveau considéré comme grave (**SF**). Le niveau d'attaque déterminant les quantités et les types de produits utilisés. Cependant, afin de ne pas alourdir notre propos avec trop de nouvelles d'hypothèses, cette différenciation dans les scénarios ne sera effectuée que **dans le cadre de la lutte contre la tavelure**. Contrairement à l'agriculture biologique qui possède moins de flexibilité en la matière (cfr Infra), la culture intégrée laisse une certaine marge d'appréciation quant aux pratiques à réaliser. Dès lors, nous estimons que dans le cadre de l'agriculture intégrée, il n'existe pas de variation de rendement de la production entre les deux scénarios d'attaque.

a. Fongicides

Comme nous l'avons déjà évoqué, les traitements fongicides captent la majorité des traitements phytosanitaires appliqués en pomiculture. En réalité, les traitements préventifs et curatifs contre la tavelure représentent 50 % de l'ensemble des traitements apportés sur la parcelle. Dès lors, nous considérons que dix applications de matières actives contre ce champignon sont apportées chaque année.

Il existe un grand nombre de souches de tavelure qui réagissent différemment aux différents produits utilisés. Par ailleurs, si certains produits sont efficaces pour l'ensemble des souches de tavelure, on évite de n'appliquer qu'une seule matière active afin de limiter l'émergence de résistance au sein des différentes souches. La tavelure étant l'ennemi numéro 1 des vergers, les arboriculteurs ne peuvent se permettre de prendre le risque de perdre l'usage d'une substance active particulière. Dès lors, les différents traitements alternent les produits, et les applications se font généralement en cocktail.

Les produits les plus couramment usités en matière de lutte contre la tavelure sont : le captane, le difenoconazole, le dithianon, la dodine, le kresoxim-méthyl, et le pyrimethanil. Au total, quinze substances actives sont autorisées en agriculture intégrée. Le tableau 5 détaille l'ensemble de ces produits et les doses autorisées.

Tableau 5 : Les fongicides autorisés en arboriculture de pomme et les doses prescrites

Nom	Applications/an maximum	Lutte contre	Période	Dose par application
Captane	10	Tavelure et pourriture amère	Jusque mi-juin	1,8 kg/ha
			Après mi-juin	1,45 kg/ha
Cuivre (sous forme oxychlorure de Cu et hydroxyde de Cu)	3	Tavelure	Préventif	3,03 kg/ha
Cyprodinil	3	Tavelure	Fin de floraison	0,45 kg/ha
Difenoconazole	4	Tavelure et Oïdium	Préventif ou traitement stop	0,025 kg/ha
Dithianon	4	Tavelure	Préventif	0,525 kg/ha
	10	Tavelure	Avant, pendant et après floraison	0,245 kg/ha
Dodine	3	Tavelure	Avant floraison	0,9 kg/ha
Fluquinconazole	3	Tavelure et Oïdium	Tout le cycle de production	0,075 kg/ha
Kresoxim-methyl	4	Tavelure et Oïdium	Préventif	0,1 kg/ha
Metiram	2	Tavelure	Avant floraison	2,12 kg/ha
	2	Tavelure	Pendant et après floraison	1,65 kg/ha
Myclobutanil	Intervalle de 7 jours	Tavelure	Préventif	0,04 kg/ha
	Jusqu'à 96 h après infection	Tavelure	Curatif	0,06 kg/ha
Pyraclostrobine	4	Tavelure et Oïdium	Maturation des fruits	0,70 kg/ha
Pyrimethanil	4	Tavelure	Fin de floraison	0,45 kg/ha
Soufre	Pas de restriction	Tavelure et Oïdium	Jusque mi-juin	2,40 à 4,80 kg/ha
Thirame	ND	Tavelure	Préventif	1,33 à 2,06 kg/ha
	1	Tavelure	Avant floraison	3,33 kg/ha
	4	Tavelure	Pendant et après floraison	2,06 kg/ha
Trifloxystrobine	4	Tavelure et Oïdium	ND	0,076 kg/ha

Source : Phytoweb.be, dose par application = calcul propre

Rappelons que pour la tavelure, il existe deux niveaux de contamination : primaire et secondaire. Les contaminations primaires peuvent être évitées au moyen de traitements préventifs. Il s'agit en réalité de la partie la plus importante. En effet, si les contaminations primaires ont pu être limitées à un niveau acceptable, les risques concernant les contaminations secondaires sont quasiment inexistantes. Dès lors, tout est une question de mesure afin de mettre suffisamment de produits préventifs pour éviter l'apparition de la tavelure, tout en échappant aux surdosages inutiles. Cependant, contrairement à l'agriculture biologique qui ne dispose pratiquement que de moyens préventifs contre ce ravageur, si la contamination secondaire venait toutefois à se présenter, de nouveaux traitements peuvent être appliqués. C'est donc sur ce point que nous ferons une différence entre les attaques faibles et graves. Nous supposons que dans les deux scénarios la quantité de produits préventifs est identique. Par après, une attaque légère induit une quantité plus

faible de produits curatifs tandis qu'une attaque forte engendre une plus grande quantité de produit utilisé afin de maintenir le rendement dans des proportions similaires.

Dans le cadre de la lutte contre la tavelure, on utilisera, au cours de la campagne préventive, pour un ha de verger **13,3 kg de matières actives** fongicides réparties entre :

- 🍏 3,6 kg de Captane,
- 🍏 3,03 kg d'Oxychlorure de cuivre,
- 🍏 0,1 kg de Difenoconazole,
- 🍏 1,575 kg de Dithianon,
- 🍏 0,4 kg de Kresoxim-methyl,
- 🍏 0,16 kg de Myclobutanil,
- 🍏 2,4 kg de Soufre
- 🍏 2,06 kg de Thirame

Dans le scénario d'attaque faible, nous estimons que la quantité de fongicide utilisée dans une deuxième campagne de lutte est de **4,75 kg/ha** répartie en :

- 🍏 1,8 kg de Captane
- 🍏 1,8 kg de Dodine,
- 🍏 0,70 kg de Pyraclostrobine
- 🍏 0,45 kg de Pyriméthanil

Par contre dans le scénario alternatif d'attaque forte, les quantités estimées sont plus importantes, **10,69 kg/ha** composé de :

- 🍏 3,6 de Captane
- 🍏 1,35 kg de Cyprodinil
- 🍏 0,98 kg de Dithianon
- 🍏 2,7 kg de Dodine
- 🍏 2,06 kg de Thirame

Par ailleurs, ce que nous venons de décrire ne représente que les traitements en vue de la lutte contre la tavelure (et éventuellement l'oïdium lorsque la substance active est également efficace contre ce dernier). En réalité, les traitements contre les autres types de champignons représentent une quantité de fongicides d'environ **5kg/ha** quel que soit le niveau d'attaque du point de vue de la tavelure. Le tableau 6 suivant résume les quantités utilisées :

Tableau 6 : Quantité de substances fongicides utilisées en arboriculture intégrée

SUBSTANCE ACTIVE	SCÉNARIO FAIBLE	SCÉNARIO FORT
Captane	5,40 kg	7,20 kg
Cuivre (oxychlorure de)	3,03 kg	3,03 kg
Cyprodinil	/	1,35 kg
Difenoconazole	0,10 kg	0,10 kg
Dithianon	1,575 kg	2,55 kg
Dodine	1,80 kg	2,70 kg
Kresoxim-methyl	0,40 kg	0,40 kg
Myclobutanil	0,16 kg	0,16 kg
Pyraclostrobine	0,70 kg	/
Pyriméthanil	0,45 kg	/
Soufre	2,40 kg	2,40 kg
Thirame	2,06 kg	4,12 kg
Autres	5,00 kg	5,00 kg
TOTAL	23,075 kg	29,01 kg

La base de données Ecoinvent nous renseigne sur l'inventaire des émissions et des extractions de certaines substances fongicides. Cependant, **dans notre cas seul le captane est référencé individuellement**. En effet, d'autres substances fongicides telles que le maneb ou le mancozebe qui sont efficaces dans la lutte contre la tavelure possèdent un écoprofil, mais sont interdites d'utilisation dans le cadre de la production intégrée. Dès lors, seul le captane fera l'objet d'une inventurisation précise. **Les autres substances seront regroupées et nous nous référerons alors à l'écoprofil général d'un fongicide type**. Notons déjà que cette façon de procéder nous amènera certainement à une surestimation de l'impact. En effet, les substances admissibles en culture intégrée sont réputées moins nocives pour l'environnement et la santé. Or, l'écoprofil type se réfère à une moyenne de l'ensemble de produits référencés qui sont par définition plus dangereux.

b. Insecticides

Contrairement aux champignons, il n'existe pas une catégorie d'insectes particulièrement néfastes et actifs dans les vergers de pomme. Les populations de ravageurs sont plus hétérogènes et leur nombre et les dégâts occasionnés sont très variables. La lutte intégrée prévoit d'effectuer des contrôles et des surveillances des populations de ravageurs. Les décisions quant aux moyens de lutte à utiliser doivent tenir compte des seuils de tolérance et des niveaux d'attaques par parcelles. Dans un premier temps la lutte via des techniques culturales, la lutte biologique telle que l'introduction de prédateur ou des hormones de confusion sexuelle doit être favorisée. Si l'utilisation d'insecticides est indispensable alors, elle doit tout comme les traitements fongicides, se situer dans la limite des produits autorisés et des doses prescrites.

En moyenne, **8,50 kg d'insecticides divers** sont épandus chaque année sur chaque ha de verger. Cependant, au vue des différences qui surviennent chaque année, il semble difficile d'établir un

modèle type d'utilisation par catégorie de substances actives. Dès lors, nous nous baserons sur la quantité moyenne et l'écoprofil d'un insecticide standard pour réaliser l'inventaire des émissions et des extractions de cet aspect.

c. Herbicides

La présence d'adventices ne pose pas de problème fondamental en culture de pomme. Comme nous l'avons déjà évoqué (cfr Supra), une partie du désherbage se réalise de façon mécanique. Dès lors, 2 à 3 traitements contenant des substances herbicides sont suffisants pour assurer un bon désherbage des parcelles. En moyenne, **5,00 kg d'herbicides divers** sont épandus chaque année par ha de verger. Les substances utilisées varient d'années en années et sont généralement appliquées en cocktail. Dès lors, nous nous baserons sur la quantité moyenne et l'écoprofil d'un herbicide type pour réaliser l'inventaire des émissions et des extractions de ce paramètre.

d. Régulateurs de croissance et autres

Dans cette dernière partie concernant les pesticides nous aborderons la question de l'éclaircissage chimique. Comme nous l'avons déjà évoqué (cfr Supra), l'éclaircissage manuel et/ou mécanique est l'option la plus souvent choisie. Cependant, dans la limite des produits autorisés, l'éclaircissage chimique est également pratiqué en appui à la première option. Concrètement, la quantité de produit utilisé est de l'ordre de **1,46 kg par ha** de verger. Les deux produits utilisés en lutte intégrée et dans les mêmes proportions sont l'acide naphtylacétique et le naphtylacétamide. Cependant, la base de données Ecoinvent ne contient pas d'information sur l'écoprofil de ces substances. Nous nous référerons dès lors à l'écoprofil type des régulateurs de croissance.

B. ENGRAIS⁸

L'arboriculture n'est pas très intensive en usage d'engrais qu'ils soient naturels ou chimiques. L'arrêté du Gouvernement wallon détermine les normes et apports maximaux autorisés par an et par ha. Cependant, dans la pratique, les agriculteurs ont rarement besoin d'épandre les quantités maximum autorisées. Pour cette raison, nous ne détaillerons pas la législation en la matière.

L'apport en nutriment est censé compenser les prélèvements totaux annuels qui comprennent les minéraux exportés par les fruits et les minéraux prélevés par les charpentes et les racines. Cependant une partie des minéraux absorbés vont également être restitués au sol via la matière organique des feuilles, du bois de taille et des fruits laissés sur champ. Dès lors, il est nécessaire de calculer un bilan afin de ne pas dépasser l'apport des quantités nécessaires. Bien entendu, les quantités prélevées varient en fonction des cultivars, des types de porte-greffes, de l'âge, de la densité et de la composition initiale du sol. Globalement, on préconise les apports suivants, en kg d'unités fertilisantes par tonne de fruits produits : 2 de N, de 0,4 à 0,8 kg de P₂O₅ et 1,5 à 3 kg de K₂O. [LARRIEU J-F., 2008, p.3]

⁸ La quantification des flux considérés dans le cadre de ce travail ne représente pas des pratiques absolues à suivre inconditionnellement. Il s'agit plutôt d'un exemple de gestion-type qui est conforme aux doses maximales applicables annuellement et aux réalités de terrains.

Ces quantités issues de la littérature scientifique sont supérieures à la pratique courante en Belgique. Toutefois, les mêmes proportions sont conservées. En effet, **les quantités moyennes apportées annuellement et par ha sont de l'ordre de 40 unités de N, de 30 unités de K et de 25 unités de P.**

Les apports d'engrais sont divisés en deux grandes périodes : les épandages à l'automne, dans le cadre d'une gestion globale de la lutte préventive contre la tavelure, et les épandages de printemps en vue de favoriser la production notamment à la période de la nouaison⁹. Comme nous l'avons expliqué dans le chapitre 3 se ne sont pas les mêmes produits qui sont généralement utilisés dans ces deux périodes.

a. A l'automne

Environ deux tiers des contributions annuelles sont apportées à cette période. Les apports sont classiquement sous forme de compost de fumier et d'urée.

Différents types de composts de fumiers peuvent être utilisés en agriculture. Ceux-ci présentent des propriétés et des concentrations différentes en nutriments essentiels. Dans le cadre de ce travail nous considérerons du compost de fumier de volaille qui est un engrais de fond riche en nutriments. En effet, une tonne de produit brut à 60 % de matière sèche fournit environ 20 à 30 kg de N, 20 à 30 kg de P₂O₅ et 13 à 29 kg de K₂O¹⁰.

L'urée est, quant à elle, principalement utile pour ses propriétés en matière de lutte préventive contre la tavelure. Elle permet de favoriser la décomposition des feuilles et dès lors la diminution de l'inoculum du champignon. L'urée est un engrais organique qui peut facilement être synthétisé. Il possède la plus forte teneur en N de tous les engrais azotés. Puisqu'un kg d'urée commercialisée classique contient généralement 46 % d'azote et 0 % des deux autres nutriments.

Sur base des concentrations de chaque engrais en nutriments et des contributions automnales prédéfinies, nous estimons que la quantité de **compost de fumier de volaille** apporté chaque année par ha doit être de l'ordre de **600 kg** de produit brut séché à 90 %. **L'urée** est quant à elle épandue à raison de **13 kg par ha et par an.**

b. Au printemps

La deuxième grande période d'épandage d'engrais se situe au printemps. Le tiers restant est apporté à cette période. Il existe différents types d'engrais simples ou composés couramment utilisés sur le marché. Il semble qu'aucun type d'engrais spécifique ne soit d'usage courant en arboriculture. Il dépend de la gestion propre de chaque exploitation, des caractéristiques du sol, etc. Dès lors, nous émettons l'hypothèse suivante : **les arboriculteurs utilisent les engrais minéraux simples les plus couramment consommés en agriculture à savoir du nitrate d'ammonium (ou ammonitrate, AN), du superphosphate triple (TSP) et du chlorure de potassium.** Sachant qu'ils contiennent respectivement, 35% de N, 48 % de P exprimé sous forme de P₂O₅ et 60% de K exprimé sous forme

⁹ La nouaison est la phase initiale de formation du fruit. Il s'agit du moment où l'ovaire de la fleur se transforme en fruit après la fécondation. [Wikipedia : Nouaison consulté le 9/08/2011]

¹⁰ http://www.mayenne.chambagri.fr/iso_album/compost_cuma.pdf consulté le 9/08/2011

de K₂O, les quantités annuelles apportées sont alors de l'ordre de **37 kg d'AN par ha, 21 kg de TSP par ha et 11 kg de KCl**.

La base de données Ecoinvent renseigne sur les émissions et extractions de l'ensemble de ces produits, ils feront donc tous l'objet d'une analyse spécifique.

> L'énergie

L'énergie que nous considérerons dans le cadre de ce travail est restreinte à la seule consommation énergétique directe des machines de production. Cette restriction ne devrait *a priori* pas affecter considérablement nos résultats. En effet, une étude sur quinze exploitations arboricoles réalisée en France a démontré que *"dans la plupart des cas, les consommations d'énergie sont essentiellement liées aux consommations de produits pétroliers et d'électricité"* [BORDET A-C. et al, 2010]. Cette observation a également été confirmée par une ACV réalisée sur des exploitations de pommes en Nouvelle-Zélande ; *"la consommation énergétique directe des opérations sur le terrain est la principale cause de consommation énergétique, de l'ordre de 64 à 71 % de la consommation énergétique totale"*[MILA i CANALS et al, 2006]. Dans les deux études, les systèmes d'irrigation ont été retenus et la consommation électrique en découlant a été comptabilisée. Pour notre propos, nous ne retiendrons que la consommation énergétique induite par **la consommation de fioul et autres produits pétroliers**. Bien que l'arboriculture reste peu mécanisée, les équipements que l'on retrouve généralement dans une exploitation sont les suivants :

- Tracteur fruitier étroit qui permet de se déplacer entre les lignes.
- Un pulvérisateur qui permet une projection au niveau des arbres. Celui-ci est remorqué par le tracteur et son moteur est activé par ce dernier.
- Un pulvérisateur à herbicides qui permet de pulvériser au niveau du sol. L'utilisation de cet équipement se réalise de la même manière que pour le précédent.
- Une tondeuse.
- Un broyeur pour le bois de taille.
- Une passerelle automotrice pour effectuer la taille et la cueillette dans les parties supérieures des arbres.

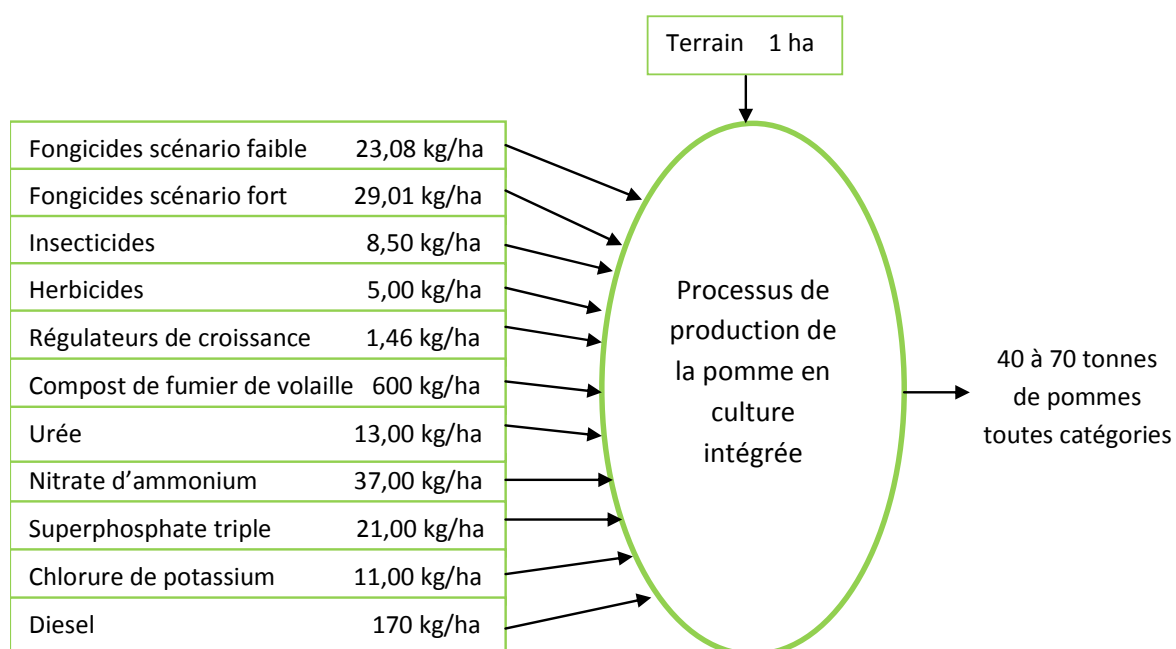
L'évaluation des consommations directes d'énergie se fait généralement par une méthode empirique ou théorique en fonction des données disponibles. En effet, *"si les données de consommation sont accessibles directement auprès des acteurs, il est possible d'avoir les consommations réelles, différenciées selon le type d'énergie. Sinon, un calcul théorique permet d'évaluer ces consommations. Dans ce cas, il faut prendre en compte toutes les opérations consommatrices d'énergie, et évaluer leurs consommations à partir des consommations unitaires établies"* [FESCHET P. et al, 2008, p.10]. Ayant pu obtenir des informations de consommation auprès de personnes actives dans le secteur, nous nous baserons donc sur la première méthode. **La consommation moyenne de diesel est de 200 l/ha/an**. Cette consommation correspond à l'ensemble des activités mécanisées qui se déroulent sur champ. En tenant compte du pouvoir calorifique inférieur du diesel, nous calculons que les intrants énergétiques directs représentent **170 kg de fioul par ha soit 7616 MJ**.

Ecoinvent ne contient pas d'information sur les impacts environnementaux de l'utilisation du diesel par la combustion dans des moteurs d'engins agricoles. Dès lors, nous nous baserons sur l'écoprofil de la combustion du diesel dans une voiture normale. Pour ce faire, nous émettons **l'hypothèse que le rendement des moteurs à explosion des deux modes de transport est équivalent.**

> Inventaire de production : résumé

Avant de poursuivre notre analyse, la figure 6 suivante nous permettra de visualiser d'un seul coup d'œil les différents flux qui ont fait l'objet d'une quantification et qui seront considérés et inventoriés dans la suite de l'étude.

Figure 6 : Inventaire de production, résumé



1.2.2 Résultat d'inventaire des émissions et extractions

Sur base des éléments mis en avant dans le point ci-dessus, nous pouvons à présent réaliser l'inventaire des émissions et des extractions des différentes matières et énergie qui entrent dans le système de production agricole. Cependant, **pour des raisons de concision et de clarté, nous ne détaillerons pas les émissions et extractions de chacun des flux intermédiaires.** La base de données nous renseigne en moyenne sur 1200 types d'émissions et d'extractions réparties dans les différents milieux récepteurs de la biosphère. Etant donné que les calculs d'impacts, qui permettent de relier les données d'inventaire à des catégories d'impact sur les différents milieux récepteurs, ont déjà été réalisés et sont disponibles dans Ecoinvent, nous nous baserons sur ceux-ci pour établir nos inventaires. Ceux-ci seront donc exprimés en termes d'unité équivalente. Notons que nous avons préalablement choisi de nous référer à la méthode Impact 2002+, c'est donc sur celle-ci que se baseront nos calculs et résultats.

Pour améliorer la pertinence de nos conclusions intermédiaires, ce point sera divisé en trois parties. Tout d'abord, nous présenterons la problématique de l'allocation des émissions et des extractions rapportée à notre UF de la production de pomme. Ensuite, nous présenterons les scores de

caractérisation intermédiaires des différents intrants par catégorie à savoir pesticides, engrais et énergie afin de permettre une comparaison entre les différents produits utilisés. Enfin, nous agrégerons les résultats afin de permettre une comparaison entre les grandes catégories d'intrants. Dans cette dernière partie, nous précisons également les limites de nos conclusions intermédiaires au regard de la fiabilité des données, des hypothèses posées et des paramètres exclus de l'étude.

> Les allocations

Ecoinvent contient des informations sur les inventaires et les analyses de différents produits en prenant généralement comme référence unitaire 1 kg de matière. La quantification préalable de nos intrants nous permet ainsi de les rapporter à l'ha. Cependant, ces inventaires et impacts à l'ha doivent encore être **ramenés à notre UF de départ, à savoir la production d'1 kg de pommes de catégories supérieures**. Etant donné que nous savons que le rendement, toute catégorie de pommes confondue, se situe entre 40 et 70 T/ha, nous pouvons *a priori* aisément transposer nos résultats à notre UF. Afin d'effectuer nos calculs, nous avons décidé de fixer la valeur moyenne du rendement global à **de 50 T/ha**.

Il nous reste cependant une grande question à considérer : **quelle sera la portion d'impact imputable aux catégories de pommes destinées au marché du frais ?** En effet, comme nous l'avons expliqué précédemment, les vergers sont conduits dans le but principal de fournir des pommes Cat.I, les autres constituants dès lors des coproduits. Sur base de cette réflexion, il pourrait être émis comme hypothèse d'allocation d'imputer l'ensemble des impacts aux premières catégories. Néanmoins, pour des raisons d'objectivité, cette option ne sera pas retenue. En effet, la gestion globale du verger tient compte d'une optimisation efficace entre les deux grands types de catégories afin d'assurer le revenu le plus important. Etant donné que les pommes de catégories inférieures rentrent également dans la réflexion sur les pratiques, nous ne pouvons les négliger. Il nous faut dès lors définir une **règle d'allocation**. Comme nous l'avons présenté dans la partie théorique, il existe plusieurs grandes méthodes d'allocation possibles. Dans notre cas, seules deux d'entre elles nous paraissent raisonnables. La première se base sur des rendements de production moyens de chacune des deux catégories tandis que la deuxième se base sur des considérations économiques.

- 🍏 La règle d'allocation physique induit de diviser les résultats obtenus par ha par un facteur 40.000. En effet, en production classique les rendements de pommes de premières catégories représentent 80 % du rendement total moyen, soit 40 T/ha. [WARNIER O., *pers. comm.*]
- 🍏 La règle d'allocation économique induit quant à elle de diviser les résultats obtenus par ha par un facteur 45.000. En effet, la vente des pommes de catégories supérieures assurent le plus grand revenu au producteur soit environ 90 % de son revenu total. Dès lors, 45 T assurent 90 % du revenu. [WARNIER O., *pers. comm.*]

Ces deux règles d'allocations nous fourniront des résultats relativement similaires. Pour notre propos nous avons décidé de retenir **le critère d'allocation physique** car il est celui que la méthode ACV privilégie.

> Score de caractérisation intermédiaire des intrants du sous-système pomme

A. TERRAIN

Lorsque l'on considère simplement le terrain, sans travail et sans apports de matières ou d'énergie, on ne peut dresser un inventaire des émissions et des extractions car elles n'existent pas. Par contre, le fait d'occuper le sol pour une utilisation α exclu toute autre utilisation possible. Dès lors, le terrain peut être considéré en termes de m^2 de terre arable qui ne sont plus disponibles. Dans notre cas, **un kg de pommes Cat.I équivaut à une occupation du sol de 0,16 m^2** . A ce niveau, nous pourrions ajouter que le sol en qualité de puits de CO_2 permet de diminuer la pression d'impact en termes d'émission de gaz à effet de serre. Il pourrait donc apparaître en bilan négatif, c'est-à-dire des émissions négatives de CO_2 . Cependant, cet aspect de la question ne sera pas étudié dans le cadre de ce mémoire.

B. PESTICIDES

La base de données Ecoinvent nous renseigne sur les émissions dans l'air, l'eau et le sol liées aux pesticides jusqu'à leur stockage dans un centre de distribution régional. A ceci, nous devrions encore rajouter le transport jusqu'au champ des différents produits ainsi que les impacts liés à leur utilisation. Ces deux aspects ne seront pourtant pas étudiés dans ce mémoire car nous n'avons pas pu obtenir de données suffisantes pour assurer l'intégration correcte de ces deux paramètres dans notre étude. Par ailleurs, le dernier aspect concernant **les émissions liées à l'usage des pesticides représente une grande complexité que nous ne pouvons appréhender par manque de connaissances et de compétences dans le domaine**. Les scores de caractérisation des différents produits considérés incluent donc uniquement les procédés suivants : le matériel, les utilisations d'énergie, les infrastructures et les émissions liées à la production des matières. Il s'agit d'une limitation forte qui nous forcera à rester prudent quant aux conclusions intermédiaires que nous pouvons en tirer. Le tableau 7 (page 61) nous montre les scores de caractérisation intermédiaire des pesticides par kg de pomme de catégories supérieures.

Quelques commentaires peuvent être faits à partir du tableau 7. Tout d'abord, les résultats intermédiaires ne semblent pas montrer de profondes différences entre les deux scénarios d'utilisation des fongicides. Assez logiquement, le scénario fort (SF) présente systématiquement des valeurs supérieures mais d'un écart relativement peu important. Cependant, étant donné que la Jonagold est particulièrement sensible à la tavelure, nous préférons retenir le scénario fort dans la suite de nos propos.

Par ailleurs, quelque soit la catégorie, ce sont les fongicides qui tirent les résultats à la hausse. Les plus grands résultats se retrouvent au niveau de l'écotoxicité aquatique et terrestre, des radiations ionisantes ainsi que du changement climatique. Notons toutefois que ces résultats ne paraissent pas surprenants étant donné les méthodologies de calculs sous-jacentes. En effet, en ce qui concerne l'écotoxicité, les équivalences sont mesurées sur base d'un produit non toxique, les scores de caractérisations intermédiaires ont dès lors tendance à être tirés à la hausse. En ce qui concerne les radiations ionisantes et le changement climatique, ce sont principalement les éléments considérés dans le calcul qui influencent le résultat. En effet, la part d'émissions la plus importante est mesurée dans notre cas sur base de la production industrielle des pesticides. Il n'est donc pas étonnant que ce soit les résultats en relation avec l'énergie qui présentent des résultats importants.

Tableau 7 : Scores de caractérisation intermédiaire des différents pesticides par kg de pomme Cat.I

NOM ¹¹	UNITÉ DE MESURE (EN ÉQUIVALENT)	HERBICIDES	INSECTICIDES	RÉGULATEURS DE CROISSANCE	FONGICIDES SF	CAPTANE SF	FONGICIDES SF	CAPTAN SF	TOTAL SF	TOTAL SF
1	Kg chlorure de vinyle	4,24E-05	1,04E-04	7,29E-05	1,98E-04	1,50E-05	2,45E-04	2,00E-05	4,32E-04	4,84E-04
2	Kg PM _{2,5}	1,10E-06	1,98E-06	1,29E-07	2,08E-06	2,71E-07	2,57E-06	3,61E-07	5,57E-06	6,15E-06
3	Bq Carbone-14	2,92E-02	1,02E-01	7,33E-03	8,97E-02	1,18E-02	1,11E-01	1,58E-02	2,40E-01	2,65E-01
4	Kg CFC-11	2,61E-09	3,54E-10	7,45E-11	1,77E-09	1,15E-10	2,18E-09	1,54E-10	4,92E-09	5,37E-09
5	Kg éthylène	4,08E-07	9,10E-07	8,84E-08	1,34E-06	1,46E-07	1,65E-06	1,95E-07	2,89E-06	3,25E-06
6	Kg tri éthylène glycol	1,33E-01	3,90E-01	4,78E-02	1,04E+00	4,86E-02	1,29E+00	6,48E-02	1,66E+00	1,92E+00
7	Kg tri éthylène glycol	2,04E-02	7,67E-02	7,58E-03	8,23E-02	7,95E-03	1,02E-01	1,06E-02	1,95E-01	2,17E-01
8	Kg SO ₂	2,07E-05	3,51E-05	2,28E-06	3,99E-05	4,78E-06	4,92E-05	6,37E-06	1,03E-04	1,14E-04
9	m ² terre arable organique	4,86E-06	1,33E-05	1,40E-06	1,67E-05	1,98E-06	2,07E-05	2,64E-06	3,82E-05	4,28E-05
10	Kg CO ₂	7,53E-04	2,15E-03	1,70E-04	2,74E-03	3,26E-04	3,38E-03	4,34E-04	6,13E-03	6,88E-03
11	Kg Fe	7,13E-04	1,25E-03	1,60E-04	2,23E-03	2,94E-04	2,76E-03	3,91E-04	4,65E-03	5,27E-03
12	Kg pétrole brut	3,50E-04	9,82E-04	8,40E-05	1,21E-03	1,65E-04	1,49E-03	2,20E-04	2,79E-03	3,13E-03
13	Kg SO ₂	9,12E-06	1,43E-05	7,85E-07	1,41E-05	1,93E-06	1,74E-05	2,57E-06	4,02E-05	4,41E-05
14	Kg PO ₄	2,38E-07	4,28E-06	6,83E-06	2,14E-06	5,83E-08	2,65E-06	7,77E-08	1,36E-05	1,41E-05

¹¹ Les numéros correspondent aux dénominations suivantes : 1- Toxicité humaine (cancérogène et non-cancérogène), 2- Effets respiratoires, 3- Radiations ionisantes, 4- Destruction de la couche d'ozone, 5- Formation de photo-oxydants, 6- Ecotoxicité aquatique, 7- Ecotoxicité terrestre, 8- Acidification/Eutrophisation terrestre, 9- Occupation des sols, 10- Changement climatique, 11- Extraction de minerais, 12- Energie non renouvelable, 13- Acidification aquatique, 14- Eutrophisation aquatique

C. ENGRAIS

Comme pour les produits phytosanitaires, Ecoinvent nous renseigne sur les émissions et extractions des différents produits depuis leur production jusqu'au centre de stockage régional. Dès lors, pour obtenir un tableau complet des impacts engendrés par les engrais, il nous faudrait également tenir compte du transport des produits jusqu'au champ ainsi que de la phase d'utilisation de ceux-ci. Cependant, nous ne pourrions appréhender ces aspects dans le cadre de ce mémoire pour les mêmes raisons invoquées dans le point concernant les pesticides.

Cependant, s'il s'agit d'un important manquement dans l'étude du problème au niveau des pesticides, celui-ci nous paraît moins grave à ce niveau d'analyse. En effet, l'usage d'engrais en arboriculture restant relativement marginal les risques de lessivage vers les nappes souterraines ou les eaux de surface semblent limités. Par ailleurs, les engrais sont généralement épandus au pied des arbres facilitant ainsi le transfert des nutriments vers les racines.

La même méthodologie que celle appliquée pour les produits phytosanitaires sera employée ici. Le tableau 8 ci-après nous donne les scores de caractérisations intermédiaires des engrais par kg de pomme Cat.I.

Tableau 8 : Scores de caractérisation intermédiaire des différents engrais par kg de pomme Cat.I

Nom ¹²	Unité de mesure (en kg, Bq ou m ² équivalent)	NA	KCl	TSP	Compost de fumier	Urée	Total
1	Kg chlorure de vinyle	3,34E-05	3,46E-06	1,89E-05	7,93E-05	1,15E-05	1,46E-04
2	Kg PM _{2,5}	1,01E-06	6,58E-08	3,84E-07	1,02E-06	2,78E-07	2,75E-06
3	Bq Carbone-14	5,67E-03	1,16E-03	5,56E-03	9,43E-02	3,06E-03	1,10E-01
4	Kg CFC-11	1,02E-10	1,20E-11	1,62E-11	1,59E-10	5,23E-11	3,41E-10
5	Kg éthylène	1,84E-07	3,62E-08	5,10E-08	5,40E-07	8,51E-08	8,97E-07
6	Kg tri éthylène glycol	4,50E-02	7,95E-03	4,27E-02	1,13E+00	1,83E-02	1,24E+00
7	Kg tri éthylène glycol	1,15E-02	1,79E-03	3,68E-02	3,44E-02	4,09E-03	8,86E-02
8	Kg SO ₂	3,75E-05	1,51E-06	5,41E-06	3,79E-05	7,49E-06	8,99E-05
9	m ² terre arable organique	4,68E-06	3,91E-06	2,72E-06	1,64E-05	1,30E-06	2,90E-05
10	Kg CO ₂	1,20E-03	7,42E-05	1,57E-04	1,01E-03	3,03E-04	2,74E-03
11	Kg Fe	9,95E-04	2,00E-04	2,04E-04	5,58E-04	2,58E-04	2,22E-03
12	Kg pétrole brut	2,67E-04	3,11E-05	5,62E-05	4,94E-04	1,40E-04	9,89E-04
13	Kg SO ₂	5,77E-06	3,01E-07	2,64E-06	6,23E-06	1,29E-06	1,62E-05
14	Kg PO ₄	4,28E-08	2,50E-09	3,70E-07	8,77E-08	1,50E-08	5,18E-07

¹² Les numéros correspondent aux dénominations suivantes : 1- Toxicité humaine (cancérogène et non-cancérogène), 2- Effets respiratoires, 3- Radiations ionisantes, 4- Destruction de la couche d'ozone, 5- Formation de photo-oxydants, 6- Ecotoxicité aquatique, 7- Ecotoxicité terrestre, 8- Acidification/Eutrophisation terrestre, 9- Occupation des sols, 10- Changement climatique, 11- Extraction de minerais, 12- Energie non renouvelable, 13- Acidification aquatique, 14- Eutrophisation aquatique

Les résultats obtenus pour les différentes catégories sont relativement similaires. De manière globale, les émissions équivalentes les plus importantes se situent dans les catégories nitrate d'ammonium et compost de fumier. Etant donné que nous ne considérons que la production de ces engrais, il est logique que l'influence de la quantité apportée au champ joue un rôle prédominant dans les résultats finaux. Pour le reste, les mêmes remarques que dans le cas des pesticides peuvent être soulevées.

D. ÉNERGIE

Comme nous l'avons précisé plus haut, l'inventaire des émissions et des extractions liés à la consommation de fioul par des engins agricoles n'a pas été réalisé dans Ecoinvent. Dès lors, nous avons considéré l'écoprofil des véhicules personnels et posé l'hypothèse que **les rendements de conversion énergétique des moteurs sont similaires**. L'écoprofil que nous avons choisi est le suivant : "*passenger car, diesel, fleet average, RER, [vkm]*". Celui-ci se base sur des données de 2005 qui comprennent différentes technologies d'émissions. Des données plus récentes étaient disponibles mais étant donné la durée de vie des tracteurs, nous avons estimé que des valeurs trop récentes diminueraient sensiblement l'impact réel. Les résultats intermédiaires sont présentés dans le tableau 9 ci-dessous :

Tableau 9 : Scores de caractérisation intermédiaire de l'énergie directe par kg de pomme Cat.I

Nom ¹³	Unité de mesure (en kg, Bq ou m ² équivalent)	Energie
1	Kg chlorure de vinyle	9,56E-05
2	Kg PM _{2,5}	9,25E-06
3	Bq Carbone-14	2,10E-02
4	Kg CFC-11	1,69E-09
5	Kg éthylène	4,78E-06
6	Kg tri éthylène glycol	5,38E-01
7	Kg tri éthylène glycol	1,80E-01
8	Kg SO ₂	2,18E-04
9	m ² terre arable organique	1,27E-05
10	Kg CO ₂	1,02E-02
11	Kg Fe	2,22E-04
12	Kg pétrole brut	3,23E-03
13	Kg SO ₂	3,53E-05
14	Kg PO ₄	1,02E-06

A nouveau, le même type de conclusions intermédiaires que pour les engrais et pesticides peuvent être tirées. La pression de mécanisation étant peu importante dans les vergers, l'aspect consommation énergétique directe ne ressort pas comme un poste particulièrement important. Cependant étant donné que nous considérons l'énergie il apparaît logique que les critères y correspondant ressortent plus intensément.

¹³ Les numéros correspondent aux dénominations suivantes : 1- Toxicité humaine (cancérogène et non-cancérogène), 2- Effets respiratoires, 3- Radiations ionisantes, 4- Destruction de la couche d'ozone, 5- Formation de photo-oxydants, 6- Ecotoxicité aquatique, 7- Ecotoxicité terrestre, 8- Acidification/Eutrophisation terrestre, 9- Occupation des sols, 10- Changement climatique, 11- Extraction de minerais, 12- Energie non renouvelable, 13- Acidification aquatique, 14- Eutrophisation aquatique

E. CONFRONTATION DES RÉSULTATS

Les tableaux (tableaux 7, 8 et 9) présentés ci-dessus nous fournissaient des résultats en valeurs équivalentes pour chaque élément du processus de production de la pomme. A présent, ceux-ci peuvent être comparés et additionnés afin de pouvoir mettre en évidence les éléments qui sont susceptibles d'être significativement influant sur les résultats d'impacts (voir tableau 10).

Tableau 10 : Scores de caractérisation intermédiaire de la production de pomme, kg de Cat.I

Nom ¹⁴	Unité de mesure (en kg, Bq ou m ² équivalent)	Terrain	Pesticides	Engrais	Energie	Total
1	Kg chlorure de vinyle	/	4,84E-04	1,46E-04	9,56E-05	7,26E-04
2	Kg PM _{2,5}	/	6,15E-06	2,75E-06	9,25E-06	1,81E-05
3	Bq Carbone-14	/	2,65E-01	1,10E-01	2,10E-02	3,95E-01
4	Kg CFC-11	/	5,37E-09	3,41E-10	1,69E-09	7,40E-09
5	Kg éthylène	/	3,25E-06	8,97E-07	4,78E-06	8,93E-06
6	Kg tri éthylène glycol	/	1,92E+00	1,24E+00	5,38E-01	3,70E+00
7	Kg tri éthylène glycol	/	2,17E-01	8,86E-02	1,80E-01	4,85E-01
8	Kg SO ₂	/	1,14E-04	8,99E-05	2,18E-04	4,22E-04
9	m ² terre arable organique	0,16	4,28E-05	2,90E-05	1,27E-05	1,60E-01
10	Kg CO ₂	N.D. ¹⁵	6,88E-03	2,74E-03	1,02E-02	1,98E-02
11	Kg Fe	/	5,27E-03	2,22E-03	2,22E-04	7,71E-03
12	Kg pétrole brut	/	3,13E-03	9,89E-04	3,23E-03	7,35E-03
13	Kg SO ₂	/	4,41E-05	1,62E-05	3,53E-05	9,57E-05
14	Kg PO ₄	/	1,41E-05	5,18E-07	1,02E-06	1,56E-05

Divers éléments récapitulatifs peuvent être tirés du tableau 10. Tout d'abord, on constate que les valeurs atteintes par les différents processus sont relativement équivalentes pour chaque catégorie d'impact. Néanmoins, ce sont les pesticides qui, globalement atteignent les scores les plus élevés. Cela s'explique en grande partie par l'intensité d'usage de chacun des types d'intrants. En effet, comme nous l'avons montré tout au long de ce travail, l'arboriculture fruitière est particulièrement intensive en termes d'utilisation des produits phytosanitaires. Dès lors, il n'est pas étonnant que ceux-ci prennent une place importante dans l'inventaire et *a fortiori* en termes d'impact.

Bien qu'à ce stade les différents compartiments ne puissent être comparés entre eux étant donné qu'ils ne se réfèrent pas à la même unité de mesure, il semblerait que les impacts que nous allons pouvoir mettre en évidence se situent plutôt dans les catégories liées à la consommation

¹⁴ Les numéros correspondent aux dénominations suivantes : 1- Toxicité humaine (cancérogène et non-cancérogène), 2- Effets respiratoires, 3- Radiations ionisantes, 4- Destruction de la couche d'ozone, 5- Formation de photo-oxydants, 6- Ecotoxicité aquatique, 7- Ecotoxicité terrestre, 8- Acidification/Eutrophisation terrestre, 9- Occupation des sols, 10- Changement climatique, 11- Extraction de minerais, 12- Energie non renouvelable, 13- Acidification aquatique, 14- Eutrophisation aquatique

¹⁵ Non-défini dans le cadre de ce mémoire

énergétique directe et indirecte. Cela semble assez pertinent étant donné que les aspects liés à l'utilisation effective des pesticides et engrais sur le champ n'ont pas été étudiés. C'est pourquoi afin de ne pas tirer de conclusions hasardeuses quant aux impacts sur la qualité des écosystèmes, l'eutrophisation, etc., nous nous pencherons surtout sur les résultats liés à l'énergie. En effet, les émissions de gaz à effet de serre ne sont pas fortement influencées par le manque de données concernant l'utilisation des pesticides et engrais.

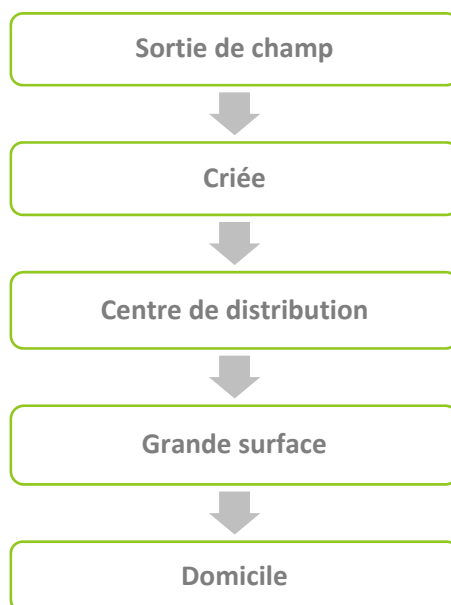
La production d'un kilogramme de pomme équivaut à l'émission de 19,8 g de CO₂. Cette valeur peut paraître faible mais est cependant loin d'être négligeable. Sachant qu'entre 2003 et 2009 la production annuelle moyenne de pommes était, en Belgique, de 340.000 tonnes [Faostat], cela représente donc plus de 6.000 tonnes de CO₂ émis chaque année. 50 % des émissions de CO₂ sont attribuables à la consommation énergétique directe des machines agricoles. Comme nous l'avons déjà dit, la mécanisation est peu développée dans cette culture comparée à d'autres, par conséquent, des améliorations dans ce domaine paraissent assez peu réalistes.

Un dernier point que nous souhaitons aborder suite à ces résultats concerne l'usage de la terre. En effet, comme nous l'indique le tableau X, les valeurs rapportées à l'occupation du sol sont très faibles pour les différents intrants au regard de celle induite par l'usage même du terrain. Dès lors, les variations de rendements jouent un rôle-clé dans la détermination de cette valeur et donc dans l'impact total.

2. PROCÉDÉS DE TRANSPORT

Le secteur des fruits et légumes est particulièrement hétérogène au regard des procédés de transport. Traditionnellement, le secteur était marqué par une séparation des différentes fonctions tout au long du trajet depuis le lieu de production jusqu'au consommateur. On avait le producteur, l'expéditeur, le grossiste et le détaillant. Actuellement, les fonctions s'interfèrent et on ne distingue plus les métiers de façon nette, c'est pourquoi on retrouve régulièrement des producteurs/expéditeurs, des expéditeurs/grossistes ou encore des grossistes/détaillants. En réalité l'importance du développement des technologies, notamment la gestion du froid, a eu des conséquences sur le schéma logistique classique [RASTOIN F., 1992]. Dès lors, les aspects liés aux questions de transport qui peuvent à priori paraître simples sont en réalité particulièrement malaisés à quantifier du point de vue environnemental lorsqu'il s'agit de les ramener à l'unité fonctionnelle. Dans les limites des informations à notre disposition, nous ne pouvons résoudre l'ensemble des problèmes liés à la problématique du transport. C'est pourquoi nous émettrons un certain nombre d'hypothèses concernant l'ensemble des flux de transport occasionnés par la production de pomme. Comme nous l'avons déjà évoqué à plusieurs reprises, nous travaillons dans un cadre géographique stricte, à savoir la Belgique, et tentons d'effectuer une approche globale de l'aspect logistique du transport des pommes dans le réseau de distribution typique des grands magasins. Nous simplifierons donc la réalité de l'ensemble des réseaux de distribution et de transport de la manière suivante :

Figure 7 : Schéma du Réseau de distribution



Comme cette figure (figure 7) nous le montre, l'acheminement des pommes du champ vers le consommateur final se déroule en quatre grandes étapes successives dont nous allons déterminer les flux à considérer afin de pouvoir réaliser notre inventaire et l'analyse de celui-ci.

2.1. Inventaire de production

Première étape

Le transport des fruits depuis l'exploitation jusqu'à la criée est probablement l'étape la plus complexe à modéliser. En effet, les moyens de transports à disposition des exploitants sont nombreux et variés. De plus, en fonction de la taille de l'exploitation, la quantité acheminée peut considérablement osciller. Par ailleurs, certains gros exploitants qui possèdent leurs propres installations frigorifiques ou louent des places à d'autres diffèrent l'acheminement des fruits vers les criées pour des raisons principalement économiques liées aux prix du marché.

Dans le cadre de ce travail, nous avons cependant considéré que les fruits étaient directement acheminés vers les criées afin d'y être vendus et stockés. Sur base d'un schéma global, nous estimons que **la quantité acheminée quotidiennement vers les criées en période de récolte est de 30 tonnes**. Cette estimation se base sur un simple calcul incluant les variables suivantes : la superficie moyenne des exploitations, le rendement moyen à l'ha et la durée de la période de cueillette. Par ailleurs, nous considérons que le véhicule ne transporte que des pommes et travaille à chargement maximal.

Il existe différents moyens de transport pour acheminer les fruits depuis le champ jusqu'au centre de stockage de la criée. Dans notre cas, nous retiendrons des **camions 28 tonnes** à 2 essieux. Le poids mentionné correspond au poids total roulant autorisé (PTRA). Sachant que le poids à vide (PV) de ce type de camion est d'environ 10 tonnes, celui-ci peut, en réalité, transporter environ 15 tonnes de marchandises.

Les distances parcourues entre les producteurs et les criées sont relativement faible en Belgique. Comme nous l'avons signalé dans une partie introductive, 90 % de la production de pomme se situe en Flandre et plus particulièrement dans la partie sud de la province du Limbourg. Dès lors, les plus grandes criées aux fruits du pays s'y sont implantées permettant ainsi une meilleure synergie du secteur. Dans notre cas d'étude, nous considérerons comme crieée de référence celle de Saint-Trond. Celle-ci est tenue par la coopérative Belgische Fruitveiling (BFV) qui concentre 50 % du marché des fruits belges. Sur base de ces informations nous avons estimé que la **distance moyenne parcourue est de 20 km** soit une durée de trajet de 17 minutes à une moyenne de 50 km/h.

Nous pouvons dès lors établir l'inventaire de cycle de vie à partir de l'écoprofil adéquat à savoir celui du fonctionnement d'un camion 28 tonnes. Les résultats seront présentés en même temps que les résultats des autres étapes (cfr Infra).

Seconde et troisième étape

Ces deux étapes seront considérées simultanément car elles font appel à des techniques de transport similaires. En effet, de la BFV vers les centres de distribution et ensuite de ceux-ci vers les différents magasins se sont des camions réfrigérés qui sont utilisés, sur base des données disponibles nous considérerons une réfrigération de 4°C.

Comme nous l'avons dit plus haut, la BFV stocke, conditionne et vend les fruits destinés au marché intérieur ou étranger. Les acheteurs des différents distributeurs belges s'ils souhaitent acheter des pommes belges passent donc régulièrement par leurs services. Des ventes à la crieée sont prévues tous les mardis et jeudis afin de répondre aux besoins des distributeurs et des autres grands clients tels que l'industrie de transformation, les grossistes ou les sociétés d'exportation. Dès lors, le passage des fruits par les centres de distribution des chaînes de grands magasins ne constitue qu'un transit avant d'être acheminé vers chaque magasin du pays.

Les différents distributeurs possèdent plusieurs centres de distribution à travers le pays. La distance moyenne parcourue entre la crieée de Saint-Trond et les différents centres est de **100 km**. Après avoir transité par les DC, les fruits sont acheminés vers les supermarchés du pays. Les magasins étant nettement plus nombreux, il apparaît plus complexe de déterminer la distance effectivement parcourue lors de cette étape. Etant donné que la plupart des DC se situent au niveau de la frontière entre la Flandre et la Wallonie, nous poserons l'hypothèse d'une **distance moyenne parcourue de 100 km**. Dans les deux cas, nous considérons une **durée moyenne de temps de parcours de 75 minutes** qui correspond à 80 % du trajet sur autoroute à vitesse moyenne de 90 km/h et 20 % du trajet hors-autoroute à vitesse de 50 km/h.

En ce qui concerne les véhicules utilisés, nous posons l'hypothèse qu'il s'agit du même type de camion que ceux décrits dans la première étape. Par conséquent, ils sont susceptibles de transporter des quantités similaires de produits. La différence se situe au niveau du système de réfrigération. Le déplacement du véhicule et la fonction frigorifique sont effectués par deux moteurs indépendants l'un de l'autre. La réfrigération à elle seule consomme en moyenne 5 litres de diesel par heure de

trajet. [DALEZ F., 2010, p.70] Ce qui nous donne alors une consommation, pour chaque étape, de **6,25 litres de diesel** soit une énergie consommée d'environ **200 MJ**.

Comme pour la première étape, les résultats seront rassemblés et présentés plus tard dans cette partie.

Quatrième étape

Du point de vue du transport, la dernière étape à considérer est celle du transport des pommes entre le supermarché et le domicile du consommateur/transformateur. L'étude de cette étape est particulièrement complexe. En effet, afin de déterminer quelle part de l'impact l'utilisation d'un véhicule personnel, d'un transport en commun, ou autre doit être attribuée à nos pommes, il faut définir un grand nombre de règles d'allocations. Ne disposant pas d'assez de renseignements de base valables pour pouvoir considérer cette étape, nous avons décidé de ne pas la retenir dans les calculs d'inventaire. Cette exclusion n'aura, a priori, pas d'effet significatif sur les conclusions finales. En effet, les courses hebdomadaires ou mensuelles se font généralement dans des supermarchés se situant dans un rayon d'une dizaine de kilomètre du domicile. De plus, la part des émissions attribuables à 500 g de pommes sur l'ensemble des courses sera très certainement peu significative.

2.2. Inventaire des émissions et des extractions

Nous nous baserons sur la même méthodologie que celle employée dans la partie production de pomme pour réaliser notre inventaire et l'analyse d'impact. Par ailleurs, l'ensemble des impacts des différentes étapes de transport sera considéré simultanément et ramené à l'unité de référence en matière de pomme, soit 1 kg de pommes Cat.I

Les résultats que nous avons obtenus grâce aux différents écoprofiles et analyses d'impacts d'Ecoinvent sont présentés dans le tableau 11.

Ce sont surtout les postes liés à la combustion de gazole dans le moteur du véhicule qui prennent une place importante dans les scores liés au transport. Par ailleurs, il est intéressant de remarquer que bien que systématiquement inférieurs, les impacts liés à la réfrigération sont toutefois non négligeables. Ils représentent en moyenne 10 % du score total pour chaque catégorie d'impact. Or, étant donné que les fruits parcourent des distances relativement courtes au sein de notre pays, on peut s'interroger sur la nécessité de les transporter en camion réfrigéré au regard des impacts qu'il est susceptible de générer.

Tableau 11 : Scores de caractérisation intermédiaire du transport de pomme, kg

Nom ¹⁶	Unité de mesure (en kg, Bq ou m ² équivalent)	Transport camion 28 T	Réfrigération	Total
1	Kg chlorure de vinyle	4,05E-04	1,91E-05	4,24E-04
2	Kg PM _{2,5}	4,39E-05	1,07E-05	5,46E-05
3	Bq Carbone-14	5,92E-02	4,80E-03	6,40E-02
4	Kg CFC-11	4,77E-09	3,14E-10	5,08E-09
5	Kg éthylène	1,69E-05	2,19E-06	1,91E-05
6	Kg tri éthylène glycol	1,64E+00	1,14E-01	1,75E+00
7	Kg tri éthylène glycol	8,95E-01	2,24E-02	9,18E-01
8	Kg SO ₂	1,39E-03	2,13E-04	1,60E-03
9	m ² terre arable organique	3,59E-05	3,06E-06	3,90E-05
10	Kg CO ₂	2,86E-02	2,31E-03	3,09E-02
11	Kg Fe	6,27E-04	1,17E-04	7,44E-04
12	Kg pétrole brut	9,13E-03	7,36E-04	9,86E-03
13	Kg SO ₂	1,99E-04	3,09E-05	2,30E-04
14	Kg PO ₄	2,87E-06	3,61E-07	3,24E-06

3. PROCÉDÉS DE STOCKAGE

Le stockage des fruits peut survenir à différentes étapes du cycle de vie : chez le producteur, chez les expéditeurs, dans les centre de distribution ou encore dans les supermarchés. Cependant, ne disposant pas d'information suffisante concernant l'ensemble de ces étapes de stockage, nous avons décidé de ne considérer que le stockage de long terme. *"Afin de proposer des pommes et des poires belges extra-fraîches toute l'année, les criées conservent les fruits récoltés en automne dans des chambres réfrigérées spéciales. Les fruits ne sortent de celles-ci que pour être livrées aux centres de distribution."* [Colruyt Reportage, 2006] Ainsi des fruits de qualité peuvent être proposés toute l'année. En effet, avec les technologies appropriées, les pommes peuvent être conservée jusqu'à 12 mois sans perdre l'essentiel de leurs caractéristiques. Cependant, dans le cadre de notre travail, nous ne considèrerons qu'une certaine technologie qui permet de stocker les pommes environ 4 mois à savoir le stockage en frigo à 1-2°C. Ce type de stockage se fait généralement soit chez le producteur si celui possède les infrastructures nécessaires, soit dans les coopératives ou les criées telles que BFV.

¹⁶ Les numéros correspondent aux dénominations suivantes : 1- Toxicité humaine (cancérogène et non-cancérogène), 2- Effets respiratoires, 3- Radiations ionisantes, 4- Destruction de la couche d'ozone, 5- Formation de photo-oxydants, 6- Ecotoxicité aquatique, 7- Ecotoxicité terrestre, 8- Acidification/Eutrophisation terrestre, 9- Occupation des sols, 10- Changement climatique, 11- Extraction de minerais, 12- Energie non renouvelable, 13- Acidification aquatique, 14- Eutrophisation aquatique

3.1. Inventaire de production

Le procédé de stockage est conceptuellement assez simple puisqu'il ne présente que deux types de flux intermédiaires entrants : les fruits à réfrigérer et l'électricité. La difficulté se situe surtout au niveau de l'allocation des émissions et des extractions à un kg de pomme. La seule méthode d'allocation qui nous paraît applicable dans le cas présent est la méthode de causalité physique avec comme paramètre retenu : le volume. La **consommation électrique sera donc rapportée au volume occupé par kg de fruit** dans le réfrigérateur. Pour pouvoir effectuer nos calculs, il nous faut également déterminer le temps de séjour moyen des pommes dans les installations frigorifiques. Ne disposant pas d'information à ce sujet, nous avons posé l'hypothèse d'un temps de séjour moyen de **2 mois** soit 60 jours complets.

La BFV dispose de plusieurs types de chambres froides de capacités différentes, cependant nous n'avons pu obtenir des informations concernant leur consommation énergétique. La littérature nous a fourni principalement des données relatives à des groupes de froids de plus ou moins petites capacités que l'on peut retrouver dans les restaurants, les cuisines collectives, les supermarchés, etc. Les installations de la BFV totalement conçues pour optimiser les différents aspects du stockage sont certainement plus performantes que les groupes de froids de faible capacité. La seule source d'informations fiables à nos yeux que nous avons pu trouver concernant les stockages de grandes capacités nous indique que "*la consommation d'énergie électrique des entrepôts frigorifiques existants est de 30 à 50 kWh/m³/an pour l'entreposage.*" [DUIVEN J.E., BINARD P., 2002, p.4] Il s'agit là d'une consommation moyenne estimée. En effet, celle-ci est dépendante d'un grand nombre de variables telles que la qualité des locaux, la taille des chambres, la vitesse de rotation des stocks, de la température des produits entrants, etc. Afin de ne pas sous-estimer l'impact lié au stockage et à la conservation des fruits, nous avons décidé de nous baser sur une **moyenne de 50 kWh/m³/an** ou encore **137 Wh/m³/ 24 h**.

Afin de déterminer l'énergie nécessaire au stockage et à la conservation d'un kg de pomme, nous devons déterminer les deux variables suivantes : le temps moyen de résidence des pommes dans la chambre et la quantité de pommes stockables dans 1 m³. Comme nous l'avons déjà dit dans ce point, le temps de résidence considéré est de 60 jours. En ce qui concerne la quantité de pomme par m³, nous nous baserons sur la relation suivante : généralement, les pommes sont stockées en chambres froides dans des pallox en bois ou en plastique d'une dimension de 1,2 X 1,2 X 1,2 m. Un pallox contient environ 500 kg de pommes. Dès lors, **290 kg de pommes peuvent être conservées dans 1 m³**.

Sur base de ces différentes informations, nous pouvons à présent calculer la consommation énergétique imputable à un kg de pomme.

$$\frac{137 * 60}{290} = 28,34 Wh$$

3.2. Inventaire des émissions et des extractions

Encore une fois, sur base des données de production et de la méthodologie poursuivie jusqu'à présent, nous pouvons présenter l'inventaire des émissions et des extractions imputables à la conservation de moyen terme des pommes exprimées selon les catégories d'impact de la méthode Impact 2002+ et en unité équivalente.

Sur base du tableau 12 (page suivante), nous pouvons constater que les scores atteints pour les procédés de conservation sont loin d'être négligeables. Pour certaines catégories, il atteint des scores équivalents aux autres processus unitaires de notre analyse de cycle de vie. Or, l'hypothèse de stockage retenue a certainement tendance à minimiser l'impact réel de cette étape. En effet, si l'on considère une production de compote de pomme à tout moment de l'année, cela signifie qu'il faut tenir compte de temps de résidence moyens plus importants. Par ailleurs, la conservation long terme implique d'autre technologie qui se superposent au principe de la chambre froide augmentant ainsi l'impact total.

Tableau 12 : Scores de caractérisation intermédiaire de la conservation de pomme, kg

Nom ¹⁷	Unité de mesure (en kg, Bq ou m ² équivalent)	Stockage en chambre froide
1	Kg chlorure de vinyle	1,17E-03
2	Kg PM _{2,5}	5,44E-06
3	Bq Carbone-14	2,07E+00
4	Kg CFC-11	7,34E-10
5	Kg éthylène	1,46E-06
6	Kg tri éthylène glycol	6,54E+00
7	Kg tri éthylène glycol	3,04E-01
8	Kg SO ₂	1,06E-04
9	m ² terre arable organique	3,51E-05
10	Kg CO ₂	9,17E-03
11	Kg Fe	7,12E-04
12	Kg pétrole brut	6,94E-03
13	Kg SO ₂	2,85E-05
14	Kg PO ₄	1,36E-07

¹⁷ Les numéros correspondent aux dénominations suivantes : 1- Toxicité humaine (cancérogène et non-cancérogène), 2- Effets respiratoires, 3- Radiations ionisantes, 4- Destruction de la couche d'ozone, 5- Formation de photo-oxydants, 6- Ecotoxicité aquatique, 7- Ecotoxicité terrestre, 8- Acidification/Eutrophisation terrestre, 9- Occupation des sols, 10- Changement climatique, 11- Extraction de minerais, 12- Energie non renouvelable, 13- Acidification aquatique, 14- Eutrophisation aquatique

4. PROCÉDÉ DE TRANSFORMATION DE LA POMME EN COMPOTE

Le deuxième aspect essentiel que nous souhaitons aborder dans le cadre de ce mémoire se situe au niveau des processus de transformation. En effet, comme nous l'avons déjà évoqué dans les premiers chapitres, la vision d'une alimentation durable par les consommateurs est rarement synonyme d'aliments préparés industriellement. C'est pourquoi parmi les changements des comportements des consommateurs ces dernières années, on retrouve un certain goût pour les préparations maisons. Cependant, du point de vue environnemental cette méthode ne semble pas nécessairement être celle à préférer. En effet, de nombreux facteurs jouent *a priori* en faveur des industries : valorisation des coproduits, meilleure gestion des processus de production entraînant un meilleur management énergétique, recyclage des déchets organiques, etc. Dès lors, le point suivant aura pour but d'objectiver les performances environnementales du système de production home-made.

Avant de débiter l'étude des différents procédés, il est important de noter que les méthodes de transformation seront étudiées indépendamment des types de pommes.

4.1. Inventaire de production

La démarche d'inventaire consiste en une qualification et quantification de l'ensemble des flux de matières et d'énergie rapportée à une unité fonctionnelle. Il nous faut donc établir un inventaire de l'ensemble des flux entrants et sortants de la transformation domestique de pommes en compote.

La réalisation de la compote de pomme maison se base sur une recette simple. Classiquement, selon la recette la plus simple qui existe, on fait cuire à feu doux une certaine quantité de pommes coupées en dés dans un fond d'eau. Le matériel nécessaire pour la préparation se compose donc d'un couteau, d'un éplucheur pomme de terre et d'une casserole avec couvercle. En fonction du type d'installation de cuisson des ménages, l'énergie nécessaire à la préparation sera du gaz ou de l'électricité.

4.1.1 Intrants matières

La pomme est l'ingrédient principal qui entre dans la préparation de la compote. Celle-ci doit être équeutée, dénoyautée et épluchée ce qui entraîne des pertes sous forme de déchets organiques en sortie. En fonction de l'attention portée à la minimisation des pertes lors de cette étape, celles-ci peuvent s'avérer plus ou moins importantes. L'eau est utilisée en faible quantité dans la préparation, elle permet d'éviter que les pommes ne brûlent dans le fond de la casserole tant qu'elles n'ont pas libéré leur jus. L'eau est également utilisée pour laver préalablement les pommes et par la suite laver les ustensiles de cuisine utilisés dans la préparation.

L'eau possède donc deux fonctions dans le cadre de ce procédé¹⁸ :

1. Comme intrant dans la préparation à raison de 2 dl d'eau
2. En sortie via les eaux de rinçages à raison de 7,5 dl

¹⁸ Les volumes considérés ont été estimés sur base de nos 40 expérimentations de réalisation de compote.

De ce fait, la production d'eau potable et son acheminement jusqu'aux ménages doit être considérée dans l'étude du cycle de vie. Nous supposons que l'eau utilisée provient uniquement du réseau urbain des eaux, c'est-à-dire via le robinet. La base de données contient cet écoprofil. En ce qui concerne le traitement, seules les eaux usées, c'est-à-dire chargée en matières organiques résiduelles, liées au lavage initial des pommes seront considérées.

Afin de pouvoir réaliser l'inventaire de l'alternative de transformation home-made, nous devons déterminer quelle quantité de pommes de départ nous fournit 370 g de produit fini. Comme nous l'avons déjà dit, le paramètre clé se situe principalement au niveau des pertes de matières organiques lors de la préparation des pommes en vue de leur cuisson. Cependant, des pertes de masse surviennent également durant la cuisson à cause de l'évaporation de l'eau contenue dans le jus.

Il n'existe pas de littérature concernant les pertes de matières et de masse au cours de la préparation de compote. Dès lors, **nous avons effectué 40 fois la préparation** afin de mesurer les différents paramètres décrits ci-dessous :

1. Le poids initial des pommes utilisées
2. Le poids des pommes épluchées
3. Le poids de compote obtenue après cuisson

Ces mesures sont simplement obtenues par pesée sur une balance précise au gramme près. Pour cette étape les quatre variables à prendre en considération sont donc:

- 🍏 P_p : Poids initial des pommes (g)
- 🍏 P_e : Poids des pommes épluchées (g)
- 🍏 P_c : Poids de la compote (g)
- 🍏 α : La quantité d'eau (l)

Avec comme relation:

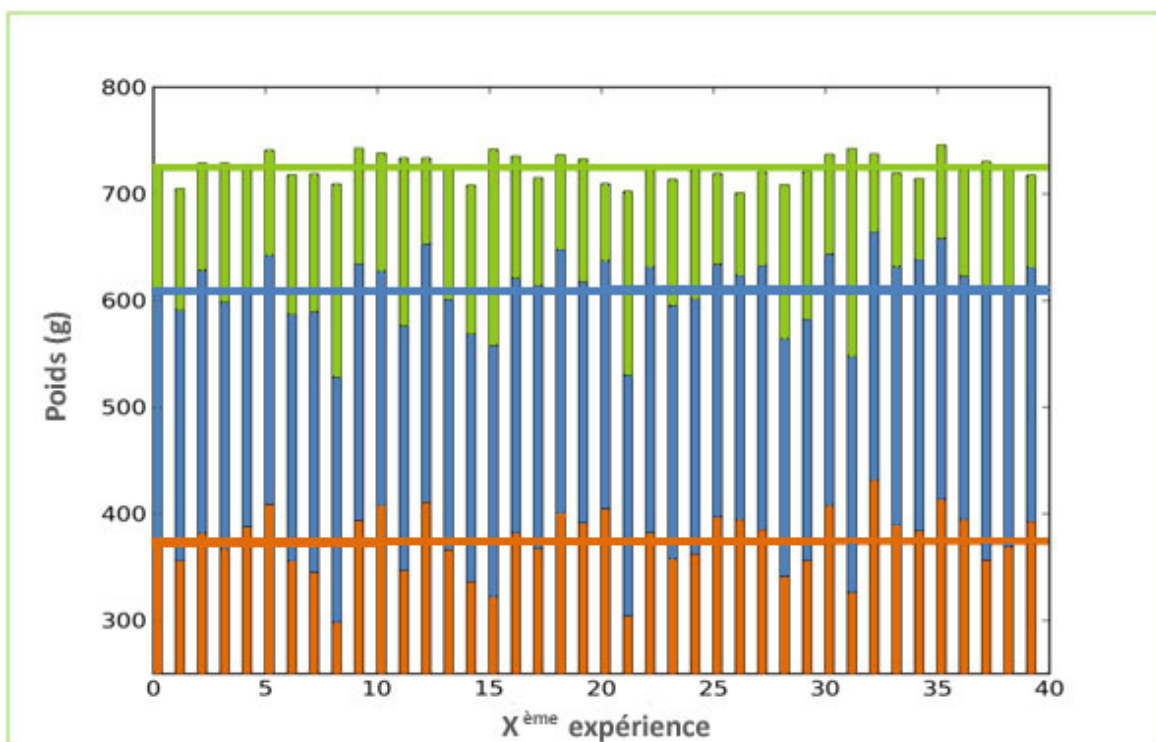
$$\textit{Pertes totales (épluchures, trognons, vapeur d'eau)} = P_p - P_c$$

$$\textit{Pertes organiques} = P_p - P_e$$

$$\alpha = 0,2$$

Les résultats obtenus par nos différentes expérimentations sont présentées via l'histogramme de la figure 8 de la page suivante.

Figure 8 : Mesure en poids des différentes étapes de la préparation de la compote faite maison



Résultats des 40 expériences effectuées afin de déterminer le poids moyen de pommes au départ (725g) –pour obtenir 370g de compote en moyenne. En vert : Le poids des pommes baignant dans 200ml d'eau ; en bleu : le poids des pommes épluchées baignant dans 200ml d'eau ; en rouge : le poids de compote obtenue après cuisson des pommes. Les lignes horizontales représentent les poids moyens des 3 différents groupes.

Nos différentes expérimentations nous ont permis de constater les points suivants :

- 🍏 Pour obtenir 370 g de produit final, il faut en moyenne **525 g de pommes de départ**.
- 🍏 De la quantité de départ, en moyenne **121 g de déchets organiques** sont perdus lors de l'étape d'épluchage-érogne. Ce qui représente **une perte d'environ 23 % des pommes de départ**.
- 🍏 Dès lors, afin d'obtenir une compote de 370 g, il faut faire cuire en moyenne 404 g de pommes épluchées et découpées avec 0,2 l d'eau soit, 200 g. Au cours de cette dernière étape, les pertes se situent au niveau des pertes en vapeur d'eau, qui entraîne probablement quelques molécules organiques, et **représentent environ 234 g, soit 39 % de pertes lors de la cuisson**.

Etant donné que nous travaillons dans le cadre d'une production domestique, nous supposons que les pertes de matières organiques solides seront considérées comme des déchets ménagers non-recyclables. C'est-à-dire que 121 g de déchets seront portés à l'incinération. Etant donné que nous disposons de l'écoprofil de l'incinération de déchets ménagers standards, ceux-ci seront pris en considération dans notre inventaire d'émission.

4.1.2 Intrant énergie

On suppose que l'ensemble des tâches utiles à la préparation des ingrédients se fait manuellement. Dès lors, l'énergie employée ne se situe qu'au niveau de la cuisson en tant que telle. Les ménages belges possèdent différents types d'appareils de cuisson, offrant des rendements variés et basés sur différentes sources d'énergie initiale, principalement le gaz et l'électricité. Dans le cadre du scénario de référence, nous ne tiendrons compte que d'une production via une technologie électrique. Pour cet aspect de la phase de transformation, les calculs d'inventaires seront basés sur le profil énergétique belge, ce qui est cohérent avec notre contexte de travail étant donné que nous plaçons la production de compote dans le cadre de la Belgique.

Selon une étude de 2009 réalisée par le CRIOC, les ménages belges ne possèdent, en moyenne, qu'une seule taque de cuisson qu'ils utilisent quotidiennement. Parmi la consommation énergétique due à l'utilisation d'appareils électriques, c'est la cuisinière qui consomme annuellement le plus soit 515 kWh. En supposant une utilisation quotidienne sur 330 jours afin de tenir compte des périodes de vacances et des sorties, cela revient à une consommation énergétique quotidienne pour la cuisson (sauf micro-onde) de 1560 Wh. [VANDERCAMMEN M., 2009] Cette étude précise également que deux ménages sur trois possèdent une cuisinière électrique. Comme nous l'avons expliqué dans le point consacré à la description du scénario de référence, nous nous baserons donc sur la consommation énergétique moyenne pondérée sur base des différentes technologies de cuisinières électrique de la manière suivante :

- 🍏 Technologie électrique classique (fonte) : 50 %
- 🍏 Technologie vitrocéramique : 25 %
- 🍏 Technologie à induction : 25 %

Afin de déterminer la consommation énergétique induite par la transformation de pomme en compote, différents paramètres doivent être identifiés :

- 🍏 T_C : Le temps de cuisson (min)
- 🍏 P_C : La puissance consommée (W)
- 🍏 E_C : La consommation énergétique (Wh)

A. TEMPS DE CUISSON

Pour la réalisation de 370 g de compote, il convient de cuire les pommes durant **15 minutes à feux doux**. Cependant, il ne s'agit que d'une appréciation sujette à une grande variabilité en fonction du type de pommes utilisées, de la puissance de la taque de cuisson, de la taille initiale des morceaux de pommes ainsi que de la qualité de la compote désirée (plus ou moins liquide, avec plus ou moins de morceaux, etc.). En effet, contrairement à une méthode industrielle automatisée, la compote home made n'est pas toujours réalisée et préparée de la même manière.

Lors de nos différents essais, nous avons toujours respecté une période de cuisson de 15 min. Celle-ci correspond à une bonne pratique en matière de production de compote au regard de la quantité de pommes de départ. En effet, à deux exceptions près, que nous lions à d'autres variables, ce temps de

cuisson nous a permis de réaliser à chaque essai une compote possédant les qualités de base requise du point de vue de la viscosité et du nombre de morceaux restant. Cependant, afin d’attester notre hypothèse et de réduire la fenêtre de cuisson possible, nous avons cherché à comparer le temps de cuisson de différentes recettes que l’on peut trouver dans des livres de recettes et sur Internet (voir Tableau 13). Les recettes proposées sont en général annoncées pour 4 personnes, soit 1 kg. Si on considère que le temps de cuisson est linéaire au poids, alors le temps moyen recommandé par ces recettes rapporté à notre UF est de 11,38 minutes. Cependant, la linéarité est une hypothèse simplificatrice. C’est pourquoi, notre temps moyen de 15 minutes nous paraît cohérente et correspondre à la réalité.

Tableau 13 : Temps de cuisson de la compote de pomme

POIDS DE POMMES DE DÉPART	TEMPS DE CUISSON	TEMPS DE CUISSON RAPPORTÉ À P _p
1,5 kg	20 minutes	7 minutes
5 à 6 pommes environ 1 kg	25 minutes	13,25 minutes
Non-défini	20 minutes	/
1 kg	15 minutes	8 minutes
1 kg	20 minutes	10,6 minutes
1,5 kg	30 minutes	10,6 minutes
1 kg	30 minutes	15,9 minutes
8 pommes soit environ 1,5 kg	30 minutes	10,6 minutes
1 kg	30 minutes	15,9 minutes
1kg	20 minutes	10,6 minutes

B. PUISSANCE TOTALE CONSOMMÉE

Seule une part de l’énergie totale consommée est nécessaire à la cuisson de la compote. L’autre part est utilisée pour le chauffage et le maintien de la température durant la cuisson. Dès lors, l’énergie utile, c’est-à-dire restituée à la compote, ne représente pas la réalité de consommation totale. Le rapport entre l’énergie utile absorbée par la charge et l’énergie totale consommée, soit le rendement, nous permet à partir de la puissance utile de déterminer les puissances consommées. La formule du rendement est donc : [DALEZ F., 2010, p. 80]

$$\eta = \frac{\text{Puissance utile}}{\text{Puissance absorbée}}$$

pu disposer d’instruments de mesures de la puissance, nous nous sommes référés au calcul de l’énergie utile restituée à l’eau. Afin de réaliser notre expérience, nous nous sommes placés dans les mêmes conditions que lors de la préparation de compote. C’est-à-dire que nous avons rempli la même casserole avec un litre d’eau non salée, que nous avons placé sur la taque de cuisson électrique moyenne à feux doux.

Sachant que l'énergie utile restituée à l'eau peut se calculer selon la formule suivante :

$$Q = cm. \Delta T$$

Avec

Q = quantité d'énergie [J]

c = capacité calorifique de l'eau [$J \text{ kg}^{-1} \text{ C}^{\circ-1}$]

m = masse d'eau [g]

ΔT = différence de température [C°]

Notre test, nous a fourni les valeurs suivantes :

$$Q = 4,18 * 1000 * (100 - 25)$$

Soit **313.500 Joules pour une durée de 576 secondes**. Dès lors, si nous rapportons ce résultat au temps de cuisson de 900 secondes considéré pour la production de compote, on estime que celle-ci, hors pertes sous forme de vapeur, aura absorbé, durant le temps de cuisson, **489.844 J soit 136 Wh**.

En tenant compte des différents rendements des technologies, nous pouvons calculer l'énergie totale consommée. Sachant que les rendements approximatifs des appareils de cuisson sont de 60 % pour l'électrique classique, de 75 % pour la vitrocéramique et 90 % pour l'induction¹⁹. Nous pouvons selon la formule ci-dessus, calculé que l'énergie consommée est de (voir Tableau 14):

Tableau 14 : Consommation énergétique des différents modes de cuisson

TECHNOLOGIE	ENERGIE UTILE (WH)	RENDEMENT (H)	ENERGIE TOTALE CONSOMMÉE (KWH)
Induction	136	0,9	0,151
Vitrocéramique	136	0,75	0,181
Electrique classique	136	0,6	0,227

Comme nous l'avons dit précédemment, afin de garder une certaine représentativité de l'usage effectif des technologies en Belgique, la consommation énergétique moyenne sera pondérée selon les pourcentages de technologies disponibles dans les ménages. Dès lors, la consommation énergétique moyenne pour la préparation de 370 g de compote de pomme est de **0,1965 kWh**.

¹⁹Les différents rendements sont issus de la page internet suivante : http://www.energieplus-lesite.be/energieplus/page_11390.htm consulté le 28/07/2011

4.1.3 Bilan matière et énergie

Les deux points précédents nous ont permis de mesurer les quantités de matières et d'énergie en entrée et sortie du système. Le tableau 15 ci-après résume les différents éléments qui feront par après l'objet d'un inventaire des émissions et des extractions sur base des écoprofiles référencés dans Ecoinvent.

Tableau 15 : Bilan matière et énergie de la compote home-made

DÉNOMINATION	INPUT	OUTPUT
Pommes entières	525 g	
Eau de préparation	0,2 l ou 200 g	
Eau de lavage	0,75 l	
Traitement des eaux usées		0,75 l
Vapeur d'eau		234 g
Déchets solides		121 g
Energie de cuisson	196,5 Wh	
Produit fini		370 g

L'inventaire des émissions imputable à l'input "pommes entières" se référera quant à lui aux résultats d'inventaire obtenus dans le point 5.2.1. *La production de pomme*. Les résultats obtenus dans cette partie étaient exprimés en kg. Dès lors, les différents éléments seront divisés d'un facteur 0,525 afin d'être ramenés au flux de référence à savoir 525 g de pommes. Par ailleurs, rappelons que dans le cadre de la production home made, seul la production de pommes destinées au marché du frais est considéré puisque nous avons posé l'hypothèse que les ménages se fournissent en pomme dans leur supermarché habituel.

4.2. Inventaire des émissions et des extractions

Sur base du bilan matière et énergie, nous pouvons à présent établir l'inventaire des émissions et des extractions exprimé en unité-équivalente (voir tableau 16). L'inventaire lié à l'intrant pomme se fera sur base de l'étude que nous avons préalablement effectué dans ce chapitre. Les autres postes seront inventoriés grâce aux écoprofiles disponibles dans Ecoinvent.

Tableau 16 : Scores de caractérisation intermédiaire de la transformation de pomme en compote, UF

Num ²⁰	Unité de mesure (en équivalent)	Eau (préparation et lavage)	Pommes (production, transport et stockage)	Incinération des déchets organiques solides	Traitement des eaux usées	Energie	TOTAL
1	Kg chlorure de vinyle	2,50E-05	1,22E-03	1,64E-02	2,16E-05	8,10E-03	2,58E-02
2	Kg PM _{2,5}	2,48E-07	4,10E-05	9,31E-06	1,95E-07	3,77E-05	8,85E-05
3	Bq Carbone-14	2,03E-02	1,33E+00	5,53E-02	4,75E-03	1,44E+01	1,58E+01
4	Kg CFC-11	1,66E-11	6,94E-09	4,23E-10	1,10E-11	5,09E-09	1,25E-08
5	Kg éthylène	6,72E-08	1,55E-05	6,80E-06	9,42E-08	1,01E-05	3,26E-05
6	Kg tri éthylène glycol	4,49E+01	6,30E+00	1,40E+00	6,71E-02	4,54E+01	9,81E+01
7	Kg tri éthylène glycol	7,74E-03	8,96E-01	2,21E-01	5,16E-03	2,11E+00	3,24E+00
8	Kg SO ₂	4,17E-06	1,12E-03	3,00E-04	3,26E-06	7,32E-04	2,16E-03
9	m ² terre arable organique	1,31E-06	8,41E-02	5,31E-05	4,47E-06	2,43E-04	3,85E-04
10	Kg CO ₂	2,90E-04	3,14E-02	3,45E-03	2,40E-04	6,36E-02	9,90E-02
11	Kg Fe	1,45E-04	4,81E-03	1,34E-03	7,77E-04	4,94E-03	1,20E-02
12	Kg pétrole brut	1,14E-04	1,27E-02	1,06E-03	6,12E-05	4,81E-02	6,20E-02
13	Kg SO ₂	1,29E-06	1,86E-04	4,24E-05	6,72E-07	1,98E-04	4,28E-04
14	Kg PO ₄	5,94E-09	9,96E-06	5,28E-07	5,15E-09	9,41E-07	1,14E-05

Ce qui ressort de façon assez évidente du tableau 6 est la faible influence des variables liées à l'eau. En effet, que ce soit pour l'eau de préparation, l'eau de lavage ou le traitement des eaux usées leur influence dans chaque catégorie dépasse rarement les 1 % du total. Les trois autres éléments que sont la pomme, l'incinération et l'énergie se partagent donc la part du gâteau. Aucun des trois ne domine les autres sur tous les aspects. Néanmoins, l'impact de la pomme semble prendre une part importante des totaux étant donné que dans 8 cas sur 14 il constitue 50 % ou plus du total de la catégorie.

Nous ne détaillerons pas plus les résultats à ce stade. En effet, nous préférons baser nos conclusions sur les scores d'impact calculés selon la méthode Impact 2002+ qui fera l'objet du point suivant.

²⁰ Les numéros correspondent aux dénominations suivantes : 1- Toxicité humaine (cancérogène et non-cancérogène), 2- Effets respiratoires, 3- Radiations ionisantes, 4- Destruction de la couche d'ozone, 5- Formation de photo-oxydants, 6- Ecotoxicité aquatique, 7- Ecotoxicité terrestre, 8- Acidification/Eutrophisation terrestre, 9- Occupation des sols, 10- Changement climatique, 11- Extraction de minerais, 12- Energie non renouvelable, 13- Acidification aquatique, 14- Eutrophisation aquatique

III. ANALYSE DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL

L'analyse de l'impact environnemental constitue la troisième phase de l'ACV et a pour but de relier les données d'inventaire à leur impact sur le milieu et sur les différents sujets à protéger. Rappelons que différentes méthodes d'analyse de l'impact permettent cette évaluation. Dans notre étude, nous avons choisi de nous référer à la méthode Impact 2002+. A cette étape, les résultats ne seront pas encore interprétés et discutés. L'objectif est ici de mettre en évidence les dommages causés par l'étude du cycle de vie du produit considéré.

A partir des résultats intermédiaires de caractérisation que nous avons présentés dans le dernier paragraphe du point précédent, nous pouvons procéder à la caractérisation des dommages. Cette étape permet de répartir les impacts intermédiaires dans quatre grandes catégories de dommages : la santé humaine, la qualité des écosystèmes, le changement climatique et les ressources. Nous calculons les équivalences à partir des facteurs de caractérisation des dommages présentés dans le tableau 1 de la partie théorique.

Le tableau 17 (page suivante) nous fournit les résultats finaux en termes de dommage par UF de compote de pomme.

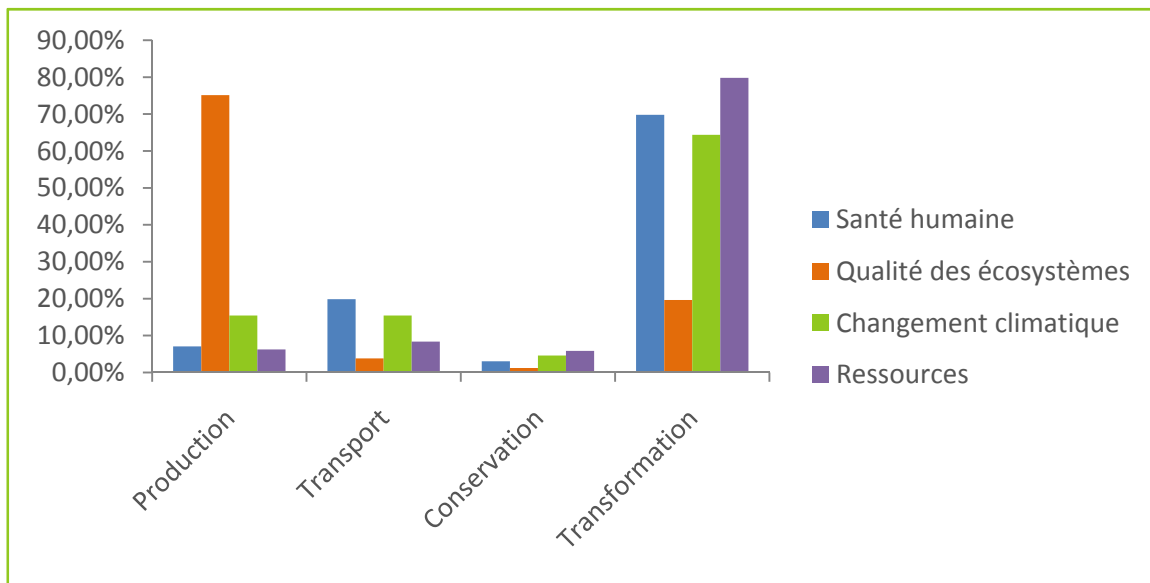
Une première observation des résultats nous apprend que se sont surtout les impacts liés à la qualité des écosystèmes, du changement climatique et des ressources qui posent problèmes. En effet, les dommages sur la santé humaine sont relativement peu significatifs puisqu'ils présentent une valeur totale très faible. Ainsi, une unité fonctionnelle de compote de pomme, considérée sur l'ensemble de son cycle de vie cause la perte de $1,03E-07$ d'année d'espérance de vie pour une personne en bonne santé. Ce qui équivaut donc à la perte de 3,4 secondes sur l'espérance de vie totale d'une personne. Les trois autres catégories présentent chacune des résultats relativement importants. En effet, la production de compote de pomme implique des émissions de 105 g de CO₂ équivalent. En ce qui concerne la qualité des écosystèmes, nos résultats nous apprennent qu'une unité fonctionnelle de notre produit induit la disparition potentielle d'espèces sur 0,125 m² pendant un an. En d'autres termes, cela signifie une perte de biodiversité pendant un an sur une surface équivalente.

Tableau 17 : Scores de caractérisation des dommages de la compote de pomme, UF

Catégorie de dommages	Facteurs intermédiaires	Production	Transport	Conservation	Transformation				Total
					Eau	Energie	Incinération	Traitement de l'eau	
Santé humaine (DALY)	Toxicité humaine	5,52E-10	3,23E-10	8,89E-10	3,62E-11	1,17E-08	2,38E-08	3,13E-11	1,03E-07
	Effets respiratoires	6,67E-09	2,01E-08	2,00E-09	1,74E-10	2,64E-08	6,52E-09	1,37E-10	
	Radiations ionisantes	4,36E-11	7,06E-12	2,28E-10	4,27E-12	3,02E-09	1,16E-11	9,97E-13	
	Destruction de la couche d'ozone	4,08E-12	2,80E-12	4,05E-13	1,74E-14	5,34E-12	4,45E-13	1,15E-14	
	Formation de photo-oxydants	9,99E-12	2,14E-11	1,64E-12	1,43E-13	2,16E-11	1,45E-11	2,01E-13	
Qualité des écosystèmes (PDF.m ² .an)	Ecotoxicité aquatique	9,76E-05	4,62E-05	1,72E-04	2,25E-03	2,28E-03	7,03E-05	3,37E-06	1,25E-01
	Ecotoxicité terrestre	2,01E-03	3,81E-03	1,26E-03	6,12E-05	1,67E-02	1,75E-03	4,08E-05	
	Acidification/Eutrophisation terrestre	2,30E-04	8,75E-04	5,76E-05	4,33E-06	7,61E-04	3,12E-04	3,40E-06	
	Occupation des sols	9,16E-02	2,23E-05	2,01E-05	1,42E-06	2,65E-04	5,79E-05	4,87E-06	
Changement climatique (kg éq. CO ₂)	Changement climatique	1,62E-02	1,62E-02	4,81E-03	2,90E-04	6,36E-02	3,45E-03	2,40E-04	1,05E-01
Ressources (MJ)	Extraction de minerais	2,06E-04	1,99E-05	1,91E-05	7,39E-06	2,52E-04	6,86E-05	3,96E-05	2,88E+00
	Energie non-renouvelable	1,79E-01	2,41E-01	1,69E-01	5,32E-03	2,24E+00	4,95E-02	2,85E-03	

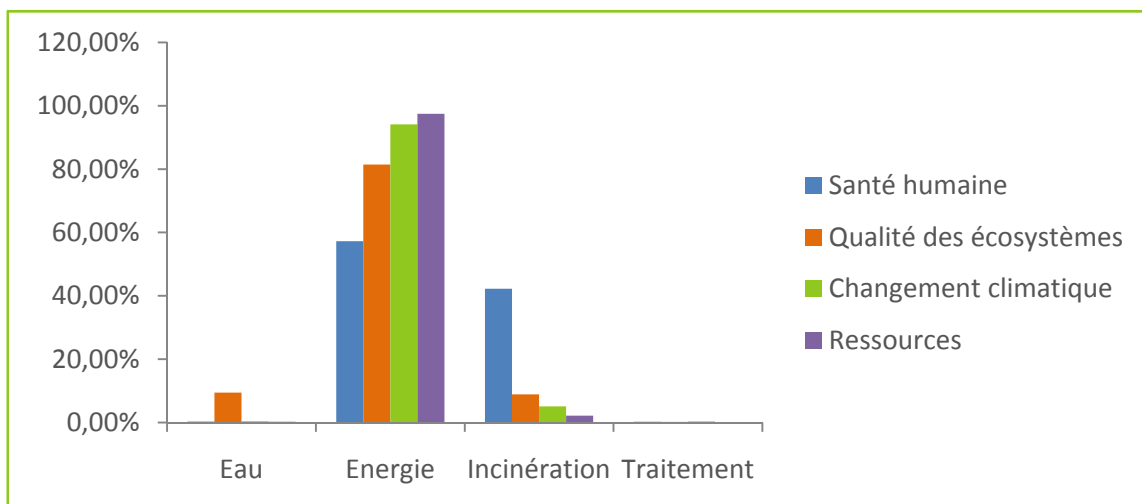
Lorsque l'on regarde un peu plus en détail les résultats d'autres éléments peuvent être mis en avant. La comparaison des différentes étapes du cycle de vie de la compote de pomme maison (Figure 9) nous montre que ce sont principalement les phases de production de la pomme et de la transformation en compote qui offrent les moins bonnes performances environnementales. La phase de production étant particulièrement significative dans le résultat de la qualité des écosystèmes puisqu'elle représente 75 % du total. La phase de transformation est quant à elle dominante dans les trois autres catégories où elle représente à chaque fois plus de 65 % du total.

Figure 9 : Comparaison des impacts des différentes grandes étapes du cycle de vie



Etant donné l'importance de la phase de transformation dans le résultat final, nous allons regarder celle-ci en détail. La figure 10 ci-dessous nous indique que dans la part imputable à la transformation ce sont surtout les procédés de cuisson (consommation énergétique) qui influencent le résultat et dans une moindre mesure, l'incinération des déchets organiques.

Figure 10 : Comparaison des sous-processus liés à la transformation de la pomme en compote



IV. INTERPRÉTATION DE L'ACV DE LA COMPOTE DE POMME

L'interprétation constitue la quatrième et dernière phase de l'ACV. "*Cette étape a pour but d'identifier les étapes du cycle de vie sur lesquelles il faut intervenir pour réduire judicieusement l'impact environnemental du système ou produit étudié et d'analyser en détail les incertitudes.*" [JOLLIET et al, 2005, p.107] Cette étape permet donc de mettre en relation les résultats et les conclusions intermédiaires obtenues dans la phase précédente avec les informations sur la qualité des données, les choix méthodologiques et les hypothèses posées tout au long de l'analyse. Elle permet ainsi d'apporter des informations claires et utiles pour l'aide à la décision.

Comme nous l'avons présenté dans la partie introductive de cette analyse, l'étude se basait sur la modélisation d'un système global que nous avons considéré comme standard. De ce fait, à chaque étape, des éléments ont dû être exclus et certaines généralisations ont dû être réalisées. Malgré cela nous estimons que notre modélisation est bien le reflet de la réalité et constitue le modèle type le plus souvent rencontré en Belgique. En effet, notre système global est basé sur les informations fournies par un expert dans le domaine de la pomme, ce qui nous permet de confirmer avec plus de certitude notre affirmation. Par ailleurs, l'étude d'un système standard s'inscrit parfaitement dans l'objectif ultime de notre étude. En effet, les choix alternatifs de consommation/production que peuvent poser les consommateurs doivent pouvoir être confrontés à leurs habitudes quotidiennes de consommation. De plus, il est ainsi possible de mettre en évidence les éléments et procédés unitaires du schéma standard qui constituent déjà les meilleures options du point de vue environnemental.

Au cours de l'analyse, trois grands ensembles ont été exclus de l'étude à savoir les infrastructures et les équipements agricoles, les effets du transport et de l'utilisation des intrants matières dans l'exploitation et enfin les procédés de transport depuis le supermarché jusqu'au consommateur final. De ces trois points, seul le deuxième est susceptible de modifier significativement les résultats. Ceux-ci nous indiquent que les impacts de la production de pomme dans les différentes catégories de dommage sont relativement peu importantes au regard des impacts générés par leur transformation. Or la littérature semble indiquer que les proportions sont généralement inversées. Dès lors, nous pouvons dire avec certitude que les dommages liés à la production de pomme sont sous-estimés.

Nous estimons que les différentes hypothèses posées tout au long de ce travail ont été clairement mises en avant et justifiées. Parmi celles-ci, aucune ne nous semble être de nature à modifier profondément les résultats obtenus. Néanmoins une étude de sensibilité sur certaines d'entre elles pourrait être utile afin de s'en assurer. La seule grande hypothèse de travail que nous n'avons pas encore réellement discutée dans les points précédents et qui pourrait influencer nos résultats et conclusions est la suivante : *la transformation des pommes en compote se réalise à base d'une recette simple ne considérant que l'eau comme entrée supplémentaire.* Or dans la pratique, les compotes sont souvent préparées avec l'ajout d'autres ingrédients tels que le sucre, le citron ou

encore la cannelle. Nous avons intentionnellement décidé d'exclure ces éléments de notre analyse pour la raison que ceux-ci ne possèdent pas, tout comme la pomme, d'écoprofiles déjà réalisés. Dès lors, l'étude approfondie de différentes matières premières agricoles dépassaient le cadre de la réalisation d'un mémoire. Cette simplification du modèle a pour conséquence probable de minimiser les scores de dommages imputables aux procédés de la production et de transport. En effet, les ingrédients précités sont des matières premières agricoles qui comme la pomme engendreront des impacts non négligeables. L'impact total des procédés de transport a également été probablement sous-estimé puisque certains d'entre eux constituent des produits qui ne sont pas directement disponible en Belgique et font dès lors l'objet de transport longue distance.

Sur base des différents éléments que nous venons de préciser voici les conclusions finales que nous pouvons tirer de notre analyse du scénario de référence :

Les dommages liés à la production de la matière première principale ont été sous-estimés et devraient dès lors faire l'objet d'une étude particulière plus approfondie afin de pouvoir inclure les parties de procédés qui n'ont pu être considérées. Sur base de ce constat, il nous paraît indispensable d'adresser les questions liées aux choix de consommation des types de pommes achetées en grande surface. Ces aspects seront dès lors adressés dans le cadre des deux premiers scénarios alternatifs de la seconde partie de ce chapitre.

Au regard de la réalité, les dommages causés par les procédés de transport ont également été sous-estimé. Néanmoins, au regard des hypothèses de travail, les résultats semblent cohérents. Par ailleurs, les possibilités d'actions des consommateurs sur les procédés de transport semblent faibles étant donné que l'on considère dans notre scénario de référence des pommes issues de la production belge.

Enfin, l'étude qualitative du système ne nous avait pas permis de présupposer des dommages imputables à l'étape de transformation. L'influence de notre hypothèse relative au mode de cuisson apparaît comme un point essentiel de cette étape. Rappelons, nous nous sommes basés sur un mix de technologies électriques représentant la situation belge. Bien qu'au niveau des ménages l'achat d'une cuisinière représente un investissement conséquent, il est néanmoins envisageable d'en changer afin de tenter de minimiser l'impact global de la production de compote.

En résumé, la deuxième partie de notre analyse sera dédiée à l'analyse des deux scénarios de références que nous avons proposé sur base de l'analyse qualitative ainsi qu'à l'étude d'une troisième alternative, à savoir la comparaison des modes de cuisson, issue de l'analyse et de l'interprétation de notre ACV de référence.

➔ PARTIE 2 : ACV DES SCÉNARIOS ALTERNATIFS

L'étude approfondie du scénario de référence, nous a permis de mettre en évidence qu'elles étaient les étapes du cycle de vie et les procédés qui apparaissent significativement dans le résultat final. Sur base de ceux-ci nous avons étudié dans quelle mesure il était possible de considérer des alternatives qui permettraient de diminuer l'impact global de la production de compote maison. Ces différentes alternatives seront présentées ci-dessous. L'objectif de cette deuxième partie n'est pas de refaire une analyse de cycle de vie dans son ensemble mais de confronter deux alternatives possibles au sein des sous-procédés.

I. ALTERNATIVE 1 : LA PRODUCTION BIOLOGIQUE

La première alternative que nous souhaitons présenter concerne le mode de production de la pomme. Le système de production intégré que l'on retrouve en Belgique constitue un excellent premier pas vers une alimentation durable. Cependant, certains dirait que cette approche n'est pas suffisante et que l'on doit pousser plus loin la logique afin de parvenir à atteindre un système optimal du point de vue environnemental. De nos jours, ce système est souvent considéré être celui de l'agriculture biologique. Comme nous l'avons déjà brièvement présenté dans le chapitre 3 de ce mémoire, l'agriculture biologique (AB) est plus qu'une simple agriculture conduite sans produit de synthèses. Elle comprend également des pratiques culturales soucieuses du respect des équilibres naturels, elle a le souci de développer ou du moins de maintenir la biodiversité. L'objectif du biologique n'est alors pas de produire au maximum mais à l'optimum des équilibres de long termes.

Nous souhaitons **donc étudier dans quelle mesure ce mode de production alternatif permettrait de diminuer l'impact global de la compote de pomme sur tout son cycle de vie**. Afin de permettre une comparaison, nous souhaitons toutefois préciser que cette alternative sera envisagée pour la production de variétés commerciales telles que considérées dans l'étude de référence. En effet, comme nous l'avons expliqué tout au long de ce travail, les pratiques sont fortement conditionnées au type de cultivar. De ce fait, une comparaison objective ne peut être réalisée que sur base de pratiques entourant des variétés comparables.

1. LE SYSTÈME ARBORICOLE BIOLOGIQUE

Dans l'ensemble, les pratiques de l'AB sont relativement proches de celles exercées en agriculture intégrée. Les différences fondamentales se situant au niveau des produits utilisés dans la lutte contre les ravageurs et maladies, le type d'engrais utilisé ainsi qu'au niveau des techniques de désherbage.

1.1. La lutte contre les maladies et les ravageurs

Comme nous l'avons vu, la production fruitière de pomme requiert actuellement une haute technicité et exige un nombre important de traitements phytopharmaceutiques principalement que dans le cadre de la lutte contre la tavelure. Dès lors, la conversion de ce type de culture vers des modes de production biologique reste une étape très délicate à franchir. Plusieurs raisons expliquent cela : [JAMAR L., LATEUR M., 2005]

- 🍏 L'utilisation de variétés commerciales le plus souvent très sensibles aux maladies ;
- 🍏 La multitude de maladies et de ravageurs présents dans les vergers de nos régions ;
- 🍏 Le nombre très limité de substances actives agréées en Belgique.

"Parmi la très petite quantité de matières actives utilisables en AB, le soufre et le cuivre représentent actuellement les deux principales substances fongicides couramment utilisées pour lutter contre les maladies et contre la tavelure en particulier." [JAMAR L., LATEUR M., 2005, p.70]
Ces deux substances simples se trouvent aisément à l'état naturel, ce qui en fait des produits de premiers choix pour l'AB. Néanmoins, bien que naturelles, ces substances ne garantissent pas pour autant un impact neutre sur l'environnement. *"Le soufre constitue un agent de contrôle chimique contre la tavelure très utilisé par les producteurs bio étant donné sa toxicité négligeable vis-à-vis des animaux et sa très faible toxicité pour les plantes. Par contre le cuivre qui jusque il y a peu était largement utilisé en AB, est actuellement très controversé étant donné le risque d'accumulation dans le sol et son profil éco-toxicologique défavorable pour la faune aquatique."* [JAMAR L., LATEUR M., 2005, p.72-73]

Les deux substances peuvent être utilisées séparément ou en mélange.

Le cuivre est un fongicide généraliste très efficace. Dans sa version simple, on l'utilise le plus souvent sous forme d'hydroxyde mais il peut également être employé sous forme de sulfate, d'oxychlorure et autres oxydes cuivreux. Le mélange cuprique le plus utilisé est la bouillie bordelaise. Ce fongicide est composé à 20 % de sulfate de cuivre additionné à de la chaux. [WARNIER O., *pers.comm.*]

Le soufre peut également être utilisé sous forme simple ou en mélange. Le produit le plus courant est la bouillie sulfocalcique encore appelée bouillie nantaise. On l'obtient par le chauffage d'un mélange de lait de chaux et de soufre. Cette dernière à l'avantage, contrairement aux autres substances simples ou en mélange, de présenter des vertus curatives. Cependant, la bouillie nantaise, bien qu'admise au cahier des charges européen concernant le mode de production biologique, ne fait pas partie de la liste des produits agréés en Belgique. Dès lors, *"suivant les législations spécifiques en cours dans chacun des états membres, les normes de productions peuvent être variables et donner lieu à des discordances de compétitivité sur le plan commercial."* [JAMAR L., LATEUR M., 2005, p.70]

Comme expliqué plus haut, des deux substances c'est surtout le cuivre qui pose problème d'un point de vue environnemental. Le cuivre est appliqué par pulvérisateur sur les arbres et agit par

voie foliaire, c'est-à-dire via le feuillage. Il se retrouve alors dans l'environnement soit par volatilisation au moment du traitement ou après le traitement par dissolution dans le sol et lessivage vers les eaux de surfaces et souterraines. Néanmoins, le milieu environnemental le plus exposé au cuivre est le sol, 97 % du cuivre libéré dans l'environnement s'y retrouve. [PICHARD A., 2005] Le comportement du cuivre dans le sol dépend de nombreux facteurs : le pH du sol, son potentiel d'oxydoréduction, le type et la distribution des matières organiques, le type de végétation présente, le climat, etc. Globalement, *"La phytotoxicité du cuivre est surtout observée sur sols acides et elle se manifeste lorsque le pH est inférieur à 6 dans des sols dont la capacité d'échange de cations est faible. Par ailleurs, ces sols contaminés peuvent être des sources de cuivre qui peut parvenir aux milieux aquatiques par transport via des phénomènes de ruissellement par exemple"*. [INRA, 2005, chap.3 p.23]. Le plus gros problème concernant le cuivre est l'accumulation de celui-ci dans le sol pouvant entraîner des effets phytotoxiques à l'égard des jeunes plantations, des perturbations de la microflore et de la faune lombricienne. [INRA, 2005, chap.4 p.87] Cette accumulation pose alors *"la question du risque environnemental à long terme, notamment dans le cas d'une réallocation des terres agricoles à d'autres usages."* [INRA, 2005, chap.3 p.23]

Etant donné les risques liés à l'usage du cuivre, les normes européennes se sont resserrées en ce qui concerne les quantités maximales épandables. Depuis 2006, les quantités maximales autorisées sont de 6 kg de cuivre métal/ha/an. Des recherches ont été effectuées afin de permettre la diminution de l'usage du cuivre. Cependant, le cuivre et le soufre reste à l'heure actuelle les deux seules substances réellement efficace en termes de prévention contre la tavelure et sont donc encore fréquemment utilisées dans le cadre de la production biologique. Comme nous venons de l'évoquer, le cuivre et le soufre agissent de manière préventive c'est-à-dire qu'ils limitent les risques des contaminations primaires de tavelure. Cependant, si la contamination primaire est avérée et que le cycle de contamination secondaire est entamé, l'arboriculteur bio ne dispose plus de moyen de lutte curatif efficace. Cette limitation entraine régulièrement une pratique néfaste à savoir le fait de réaliser les pulvérisations au maximum des doses autorisées et parfois dans des conditions défavorables comme en période de pluie par exemple. Le nombre de traitements contre la tavelure, en agriculture biologique, est donc proche voir même plus important qu'en agriculture intégrée avec 10 à 20 traitements par an.

1.2. L'usage des engrais

En arboriculture biologique, la matière organique du sol provient à la fois des déchets végétaux issus des arbres (feuilles, bois de taille, etc.) et de l'apport supplémentaire du producteur sous forme de compost, d'engrais organiques naturels, etc. En agriculture biologique, dans la majorité des cas, c'est le compost qui constitue la fumure principale [GRAB, 2005, p. 29-32]. Le lisier et le fumier sont peu utilisés et ce pour deux raisons. Tout d'abord, ils sont riches en potasse alors que comme nous l'avons déjà dit, le pommier en demande peu. Ensuite, les lisiers et les fumiers sont souvent très riches en azote. Cependant, l'apport d'azote doit généralement être d'action rapide afin de libérer ses vertus à certaines périodes clé de la culture ce qui n'est pas le cas de ce type

d'engrais organique. L'effet de l'azote arrive alors trop tard en saison. On constate dès lors un manque d'azote à la floraison et un excès en juillet entraînant une croissance excessive des arbres [WARNIER O., *pers. comm.*]. En complément des engrais organiques, des apports d'engrais minéraux peuvent être effectués. Dès lors une politique d'entretien organique et de préservation biologique du sol d'un verger comprend les éléments suivants [GRAB, 2005, p. 33] :

- Apporter de la matière organique sous forme de fumier de ferme et/ou de compost qui donnent de l'humus stable ;
- Compléter cet apport de fond par un engrais azoté rapidement minéralisable pour répondre au besoin d'azote des arbres fruitiers au printemps ;
- Stimuler l'activité microbienne par la tonte de la strate herbacée, le semis d'engrais vert ;
- Favoriser l'aération du sol par griffage, pour permettre à l'oxygène d'activer tous les processus du sol ;
- Ajuster les pratiques par l'observation de la végétation cultivée et spontanée et la réalisation régulière de petits profils de sols.

1.3. La consommation énergétique

Tout comme l'arboriculture intégrée, l'AB est peu mécanisée. Dès lors, du point de vue de la consommation énergétique directe les deux types d'agriculture restent très similaires. En effet, comme nous l'avons évoqué à plusieurs reprises, les pratiques agricoles dans les vergers restent principalement manuelles comparées à d'autres cultures et aucune différence notable n'est à signaler entre les deux systèmes. Par ailleurs, comme nous venons de l'évoquer dans le point précédent le nombre de traitements effectués en agriculture intégrée et biologique sont relativement similaires. Dès lors, **la consommation énergétique directe des pulvérisateurs et des épandeurs est comparable**. La seule différence remarquable en termes d'utilisation énergétique directe se situe au niveau du désherbage. En effet, en AB celui-ci est le fruit d'une opération principalement mécanique alors qu'il est réalisé dans une plus large mesure grâce à des produits chimiques en agriculture intégrée. Par ailleurs, notons que même s'ils ont été exclus de l'analyse du SR, les consommations énergétiques indirectes liées aux infrastructures et équipements sont également similaires. Cela est principalement dû au fait que la taille moyenne des exploitations bio belges, bien que plus faible, reste dans les mêmes ordres de grandeur, de 10 à 15 ha. Dès lors, ce sont les mêmes machines et types de bâtiments qui sont utilisés dans les deux modes de production.

Une étude réalisée sur des exploitations de vergers dans l'état de Washington fin de années 90' appuie ces affirmations (voir tableau 18).

Tableau 18 : Estimation de l'énergie cumulée

	CONVENTIONNEL	INTÉGRÉE	BIOLOGIQUE
Travail (h ha ⁻¹)	2,008	2,147	2,921
Travail (MJ ha ⁻¹)	1,607	1,718	2,337
Machines (MJ ha ⁻¹)	73,56	73,56	73,974
Carburant (MJ ha ⁻¹)	182,919	182,919	173,400
Electricité (MJ ha ⁻¹)	10,794	10,794	10,794
Engrais (MJ ha ⁻¹)	16,255	8,901	311
Insecticide (MJ ha ⁻¹)	42,313	40,375	22,159
Fongicide (MJ ha ⁻¹)	12,922	12,855	18,023
Contrôle des adventices (MJ ha ⁻¹)	31,931	13,35	141
Infrastructure (MJ ha ⁻¹)	144,188	144,188	144,188

Source: adapté de Reganold J., 2001, Sustainability of three apple production systems, Nature 410: 926 – 929

2. L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DE L'ARBORICULTURE BIOLOGIQUE

Les résultats de l'impact environnemental de la production biologique sont conditionnés aux éléments que nous venons de préciser.

En ce qui concerne l'usage des produits de lutte contre les maladies et les ravageurs, et en particulier la tavelure, nous ne pourrions aller plus loin dans notre analyse. En effet, les produits utilisés en AB ne possèdent pas d'écoprofiles dans la base de données Ecoinvent et nous ne pouvons dès lors pas les étudier.

L'analyse de l'usage des engrais ne pourra également pas être effectuée car nous n'avons pu obtenir suffisamment d'information concernant les formes d'engrais utilisés et dans quelles quantités.

Une comparaison au niveau de la consommation énergétique directe peut néanmoins être réalisée. En effet, comme nous venons de le montrer celle-ci est comparable entre les deux systèmes de production. La situation d'impact peut néanmoins être différente en fonction de l'UF sur laquelle est réalisée l'analyse. Si l'on considère que l'UF est l'ha alors la situation sera relativement semblable entre les deux alternatives. Par contre, si l'UF est la quantité de pommes produites alors les deux modes de production divergent. En effet, le rendement moyen, toutes catégories de pommes confondues, à l'ha est nettement plus faible en bio soit de l'ordre de 20 à 40 tonnes à l'ha contre 40 à 70 tonnes en production intégrée. De plus si on considère la proportion de pommes de Cat.I produites par les vergers bio, la situation lui est également défavorable puisque seulement 50 % de la production totale peut être mise sous cette catégorie contre 80 % en agriculture intégrée. En conclusion, si on rapporte les scores de caractérisation intermédiaire de la consommation énergétique directe pour 1 ha à la même unité fonctionnelle

que celle considérée dans notre SR à savoir 1 kg de pommes de Cat.I, la situation devient défavorable pour la production biologique. Ceci implique, comme nous le montre le tableau 19, que du point de vue de la consommation énergétique directe, l'AB est une solution moins optimale que l'arboriculture intégrée. Notons cependant que cette conclusion est valable dans le cadre des hypothèses qui ont été posées.

Tableau 19 : Scores de caractérisation intermédiaire de la consommation énergétique directe par kg de pomme Cat.I, comparaison entre arboriculture intégrée et biologique.

NOM ²¹	UNITÉ DE MESURE (EN KG, BQ OU M ² ÉQUIVALENT)	INTÉGRÉE	BIOLOGIQUE
1	Kg chlorure de vinyle	9,56E-05	1,59E-04
2	Kg PM _{2,5}	9,25E-06	1,54E-05
3	Bq Carbone-14	2,10E-02	3,50E-02
4	Kg CFC-11	1,69E-09	2,82E-09
5	Kg éthylène	4,78E-06	7,97E-06
6	Kg tri éthylène glycol	5,38E-01	8,96E-01
7	Kg tri éthylène glycol	1,80E-01	2,99E-01
8	Kg SO ₂	2,18E-04	3,64E-04
9	m ² terre arable organique	1,27E-05	2,12E-05
10	Kg CO ₂	1,02E-02	1,69E-02
11	Kg Fe	2,22E-04	3,70E-04
12	Kg pétrole brut	3,23E-03	5,39E-03
13	Kg SO ₂	3,53E-05	5,89E-05
14	Kg PO ₄	1,02E-06	1,70E-06

Les conclusions intermédiaires que nous tirons de ce bref aperçu de la confrontation entre la consommation énergétique de la culture biologique et intégrée semblent avoir été confirmées par d'autres études. Un rapport de 2010 sur l'empreinte carbone et potentiel de réchauffement planétaire de l'agriculture biologique présenté par Lynch D. du Centre d'agriculture du Canada reprend les conclusions de différentes études concernant la culture biologique de pomme :

"Selon les conclusions de Scialabba et Hattam (2002), l'utilisation d'énergie de la pomiculture biologique est de 90 % celle de la production conventionnelle en GJ/ha, mais de 123 % celle-ci en GJ/tonne de produit. Reganold et al. (2001), dans un essai à long terme dans l'Etat de Washington, ont quant à eux noté que l'utilisation d'énergie de la pomiculture biologique était de 14 % inférieure par hectare, surtout en raison de l'utilisation réduite d'engrais et de pesticides de

²¹ Les numéros correspondent aux dénominations suivantes : 1- Toxicité humaine (cancérogène et non-cancérogène), 2- Effets respiratoires, 3- Radiations ionisantes, 4- Destruction de la couche d'ozone, 5- Formation de photo-oxydants, 6- Ecotoxicité aquatique, 7- Ecotoxicité terrestre, 8- Acidification/Eutrophisation terrestre, 9- Occupation des sols, 10- Changement climatique, 11- Extraction de minerais, 12- Energie non renouvelable, 13- Acidification aquatique, 14- Eutrophisation aquatique

synthèses, mais de 7 % supérieure par unité de produit. Enfin, en Europe, Geier et al. (dans Gomiero et al., 2008) ont constaté que l'utilisation d'énergie de la production biologique était encore supérieure (23 %) par unité de produit, mais comparable par unité de surface." [LYNCH D. et al, 2010, p.34-35]

3. CONCLUSION

A ce stade d'analyse et au vue des informations à notre disposition, nous ne pouvons pas affirmer avec certitude laquelle des deux options de production est la plus favorable d'un point de vue environnemental. Néanmoins, nous pouvons tirer des conclusions intermédiaires.

Selon nous deux paramètres clés jouent dans la balance.

Tout d'abord, le rendement moyen à l'hectare et le rendement moyen par catégorie de pommes. En effet, contrairement à d'autres types de cultures pour lesquelles l'agriculture biologique approche des rendements que l'on retrouve dans le conventionnel ou l'intégré, l'arboriculture fruitière biologique est en reste. La cause principale de ces scores faibles est le manque de moyen d'action efficace contre le champignon le plus problématique dans les vergers de pommiers. Cette différence de rendement entraine un désavantage pour l'AB dans toutes les pratiques qui sont identiques ou équivalente entre les différents systèmes. Par ailleurs, notons que cette différence de rendement jouera un rôle très important dans le cadre de l'impact de la seule occupation du terrain. En effet, comme nous l'avons vu dans les résultats d'analyse du SR, l'impact de l'occupation du sol est prépondérant dans la catégorie de la qualité des écosystèmes. Dès lors, toute chose étant égale par ailleurs, l'impact de cette variable pour le biologique sera encore plus important une fois ramené au volume de fruits produits. Notons toutefois, que cette remarque ne tient pas compte des éventuels effets bénéfiques de l'agriculture biologique sur la biodiversité au travers de ses pratiques.

Deuxièmement, l'impact de l'utilisation des produits de lutte contre les ravageurs et les maladies devraient être étudié avec attention. Dans le cadre de ce mémoire, nous n'avons pu aborder ces aspects. Il semble pourtant qu'il s'agisse là d'un point clé permettant de faire pencher la balance vers un mode de production plutôt qu'un autre. En effet, bien que l'agriculture biologique n'utilise pas de produits de synthèses, elle emploie néanmoins des produits qui demandent d'être préparés et conditionnés industriellement entrainant donc des consommations énergétiques et des émissions diverses. De plus, comme nous l'avons vu, ces produits ne sont pas neutres d'un point de vue environnemental.

Au regard de ce que nous avons analysé et des hypothèses de travail posées, le choix de consommation valorisant la pomme biologique n'est pas, à notre sens, à favoriser inconditionnellement.

II. ALTERNATIVE 2 : LES POMMES DESTINÉES À LA TRANSFORMATION

Nous avons longuement appuyé sur le fait que l'étude du SR de basait sur l'hypothèse d'utilisation de pommes achetées en supermarché et dès lors initialement destinées à la consommation en tant que produit frais. Comme nous l'avons vu cette hypothèse de départ nous conduit à étudier la production de variétés commerciales qui répondront à toute une série de critères commerciaux plus ou moins formels. Dès lors, les pratiques culturales sont fortement influencées par ceux-ci. Par ailleurs, les résultats de notre modèle sont conditionnés par ce choix de scénario notamment via la règle d'allocation des impacts environnementaux aux catégories de pommes supérieures que le consommateur retrouve en grande surface.

Jusqu'à présent, les pommes à transformer ne sont pas directement disponibles pour les consommateurs puisque celles-ci sont vendues à l'industrie soit par un contrat direct entre producteurs et industries, soit via les criées. Le consommateur qui souhaite obtenir ce type de pommes n'a d'autre solution que de se rendre directement auprès du producteur. Néanmoins, au regard de l'étude que nous avons réalisée nous estimons que cette catégorisation des fruits commercialisables est néfaste dans notre cas d'étude. Dès lors, **afin d'étudier la sensibilité de cette hypothèse et d'estimer dans quelle mesure il serait bienvenu de fournir les catégories de pommes inférieures via des circuits classiques de consommation**, nous étudierons deux variantes de l'alternative pommes destinées à la transformation :

- 🍏 D'une part, nous considérons des pratiques culturales identiques au SR mais pour lesquelles nous analyserons les résultats sur base d'une unité fonctionnelle définie comme un kg de pomme de Cat.II ;
- 🍏 D'autre part, nous tenterons d'approcher la variation des résultats si l'on considère une production entièrement destinée à la transformation et dès lors conduite dans cette perspective.

1. POMMES À TRANSFORMER, SCÉNARIO I

Dans cette première alternative, nous partons du principe que la conduite du verger est effectuée de la même façon que dans le cadre de notre SR. Ce qui implique que l'usage des produits phytosanitaires et engrais ainsi que la consommation énergétique directe soit équivalente. La différence se situe au niveau de l'allocation des émissions et des extractions et dès lors des impacts imputables aux différents coproduits. Dans le cadre du scénario de référence, nous avons défini une règle d'allocation sur base du volume de pommes produites dans chaque catégorie à savoir respectivement 80 % et 20 %. De ce fait, si nous souhaitons ramener nos scores de caractérisation intermédiaires à un kg de pommes Cat.II plutôt que de Cat.I, les scores exprimés par ha doivent être multiplié par un facteur $4,00 \cdot 10^{-6}$ au lieu d'un facteur $1,60 \cdot 10^{-5}$. Ce qui toute chose étant égale par ailleurs, nous donne les résultats suivants (tableau 20):

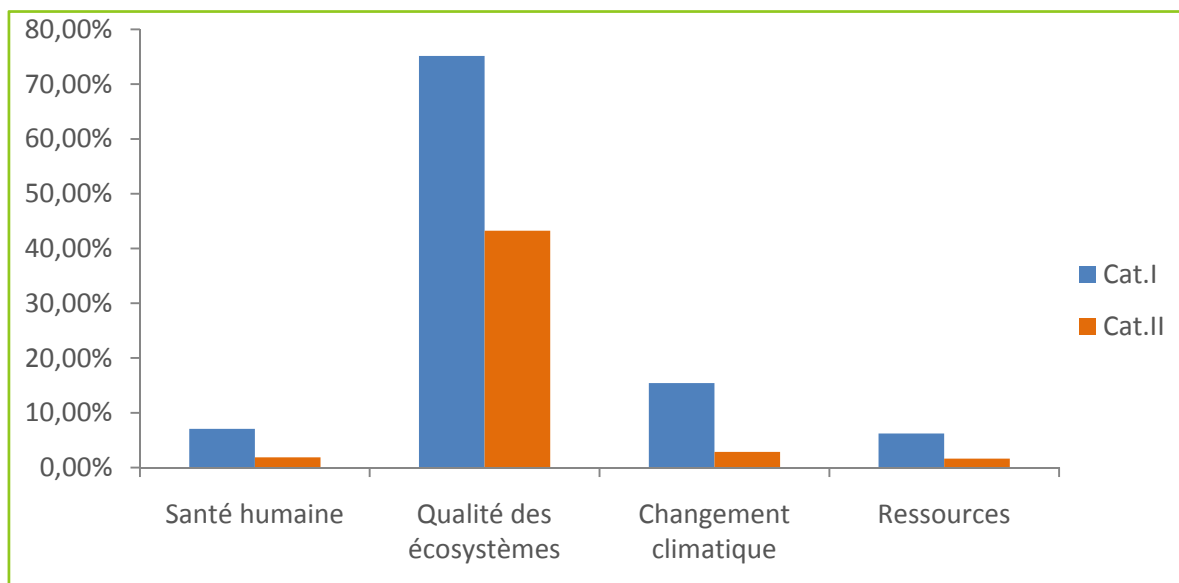
Tableau 20 : Scores de caractérisation intermédiaires de la production de pomme, par kg

NOM ²²	UNITÉ DE MESURE (EN KG, BQ OU M ² ÉQUIVALENT)	CAT.I	CAT.II
1	Kg chlorure de vinyle	7,26E-04	1,81E-04
2	Kg PM _{2,5}	1,81E-05	4,54E-06
3	Bq Carbone-14	3,95E-01	9,89E-02
4	Kg CFC-11	7,40E-09	1,85E-09
5	Kg éthylène	8,93E-06	2,23E-06
6	Kg tri éthylène glycol	3,70E+00	9,26E-01
7	Kg tri éthylène glycol	4,85E-01	1,21E-01
8	Kg SO ₂	4,22E-04	1,05E-04
9	m ² terre arable organique	1,60E-01	4,00E-02
10	Kg CO ₂	1,98E-02	4,95E-03
11	Kg Fe	7,71E-03	1,93E-03
12	Kg pétrole brut	7,35E-03	1,84E-03
13	Kg SO ₂	9,57E-05	2,39E-05
14	Kg PO ₄	1,56E-05	3,90E-06

Ce scénario permet de réduire les scores de caractérisation intermédiaire de 25 % pour chaque sous-catégorie d'impact. Cependant, ce qui nous intéresse vraiment, afin de comparer les deux alternatives, est de voir dans quelle proportion les résultats finaux d'impact seront modifiés. L'analyse de cette alternative n'entraîne de modification que sur les résultats de production. En effet, comme nous avons posé l'hypothèse que les pommes de Cat.II peuvent également être achetées en supermarché, les autres étapes du cycle de vie sont considérées identiques. Dans ces conditions, on constate que la part de la production dans les résultats finaux de chaque catégorie est moins importante pour notre alternative que dans le cas du SR (voir figure 11). En particulier pour la catégorie qualité des écosystèmes qui ne représente plus que 43 % de l'impact total.

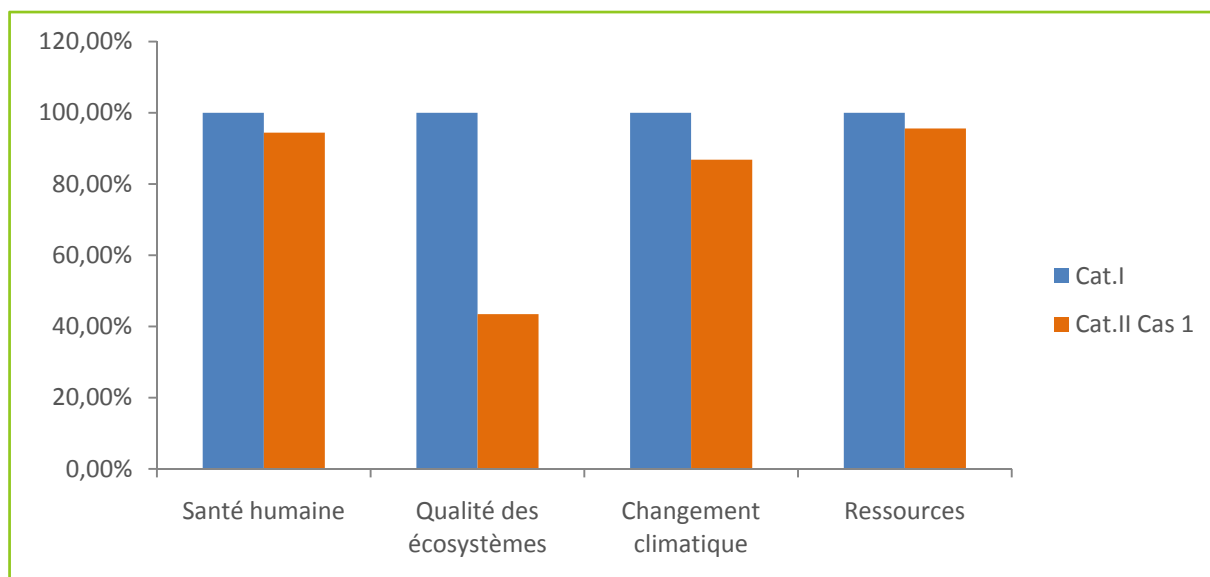
²² Les numéros correspondent aux dénominations suivantes : 1- Toxicité humaine (cancérogène et non-cancérogène), 2- Effets respiratoires, 3- Radiations ionisantes, 4- Destruction de la couche d'ozone, 5- Formation de photo-oxydants, 6- Ecotoxicité aquatique, 7- Ecotoxicité terrestre, 8- Acidification/Eutrophisation terrestre, 9- Occupation des sols, 10- Changement climatique, 11- Extraction de minerais, 12- Energie non renouvelable, 13- Acidification aquatique, 14- Eutrophisation aquatique

Figure 11: Part de la production dans l'impact total : comparaison des deux alternatives



De ce fait, la production de compote de pomme maison à partir de pommes destinées à la transformation est globalement moins dommageables sur l'ensemble de son cycle de vie et ce pour les quatre catégories d'impacts considérés. Encore une fois la différence la plus notable se situe au niveau de la qualité des écosystèmes avec une diminution de 56 % de l'impact en valeur absolue du SR (voir figure 12).

Figure 12 : Comparaison des résultats d'impact sur tout le cycle de vie des deux alternatives



2. POMMES À TRANSFORMER, SCÉNARIO II

Les vergers de pommes entièrement destinés à la transformation industrielle sont rares. Comme nous l'avons déjà évoqué, deux raisons poussent les producteurs à choisir ce type de production. La première concerne la production de pommes à cidre. En effet, les variétés de pommes à cidre sont très différentes de celles destinées à la consommation en tant que produit frais ou à la transformation du type compote. Ce type de culture se retrouve principalement dans certaines régions, notamment en France, qui ont une longue tradition dans la production de cette boisson. L'autre raison concerne des préoccupations de santé. En effet, les industries actives dans le secteur de la transformation des aliments pour nourrissons et jeunes enfants exigent parfois des concentrations de résidus de pesticides plus faibles que les doses maximales autorisées par les textes européens afin de répondre à une inquiétude croissante des parents vis-à-vis de l'alimentation de leurs enfants. Les industries agissent alors sur base des pressions exercées par les consommateurs.

En dehors de ces deux cas, peu d'agriculteurs se tournent vers la conduite de verger de pommes de transformation car ce marché n'est globalement pas économiquement rentable. Cependant, il est intéressant de noter que si de telles cultures étaient pratiquées, l'usage des pesticides pourraient être réduit de l'ordre de 30 à 50 %, en particulier dans les traitements fongicides de lutte contre la tavelure étant donné que l'aspect visuel de la pomme n'a plus d'importance et ce sans par ailleurs diminuer le rendement moyen soit 50 tonnes/ha. [WARNIER O., *pers. comm.*]

Sur base de ce constat, nous souhaiterions refaire notre calcul d'impact de la production de pomme. Pour ce faire nous tiendrons compte des éléments suivants :

- 🍏 La quantité de Captane et autres fongicides est réduite de 40 % (sur base du scénario fort que nous avons retenu dans notre SR)
- 🍏 La quantité d'insecticides est réduite de 10 %
- 🍏 Les autres variables restent identiques

Par ailleurs, cette fois aucune règle d'allocation ne devra être définie étant donné que nous supposons que l'entièreté de la production sera destinée à la transformation. Cette nouvelle hypothèse de travail, nous donne les résultats suivants (voir tableau 21) :

Tableau 21 : Scores de caractérisation intermédiaire de la production de pommes à transformer, kg

NOM ²³	UNITÉ DE MESURE (EN KG, BQ OU M ² ÉQUIVALENT)	TERRAIN	PESTICIDES	ENGRAIS	ENERGIE	TOTAL
1	Kg chlorure de vinyle	/	4,59E-04	1,83E-04	1,20E-04	7,62E-04
2	Kg PM _{2,5}	/	5,97E-06	3,44E-06	1,16E-05	2,10E-05
3	Bq Carbone-14	/	2,55E-01	1,37E-01	2,62E-02	4,18E-01
4	Kg CFC-11	/	5,51E-09	4,26E-10	2,11E-09	8,04E-09
5	Kg éthylène	/	3,03E-06	1,12E-06	5,98E-06	1,01E-05
6	Kg tri éthylène glycol	/	1,68E+00	1,55E+00	6,72E-01	3,90E+00
7	Kg tri éthylène glycol	/	2,05E-01	1,11E-01	2,25E-01	5,41E-01
8	Kg SO ₂	/	1,10E-04	1,12E-04	2,73E-04	4,95E-04
9	m ² terre arable organique	0,20	4,02E-05	3,62E-05	1,59E-05	2,00E-01
10	Kg CO ₂	N.D. ²⁴	6,43E-03	3,43E-03	1,27E-02	2,26E-02
11	Kg Fe	/	4,86E-03	2,77E-03	2,78E-04	7,91E-03
12	Kg pétrole brut	/	2,93E-03	1,24E-03	4,04E-03	8,21E-03
13	Kg SO ₂	/	4,34E-05	2,03E-05	4,42E-05	1,08E-04
14	Kg PO ₄	/	1,57E-05	6,48E-07	1,27E-06	1,76E-05

Tout comme pour l'étude du cas I, ce qui nous intéresse ici est de comparer cette alternative hypothétique avec notre scénario de référence. Contrairement au cas I, les conclusions sont moins évidentes à tirer sur base de ce tableau. En effet, les différentes valeurs n'ont pas toutes diminué dans la même proportion. Le tableau 22 (page suivante) nous indique les scores de caractérisation des dommages pour les deux scénarios comparés.

De l'étude de ce tableau, il ressort que l'alternative de production de pomme à transformer est globalement plus intéressante que le mode de production considéré dans le scénario de référence. Néanmoins, on constate que les différences se situent principalement au niveau des dommages sur la santé humaine et de la qualité des écosystèmes. Cela semble assez pertinent étant donné que les éléments qui ont changé concernent les pesticides et que ceux-ci influencent particulièrement ces catégories.

²³ Les numéros correspondent aux dénominations suivantes : 1- Toxicité humaine (cancérogène et non-cancérogène), 2- Effets respiratoires, 3- Radiations ionisantes, 4- Destruction de la couche d'ozone, 5- Formation de photo-oxydants, 6- Ecotoxicité aquatique, 7- Ecotoxicité terrestre, 8- Acidification/Eutrophisation terrestre, 9- Occupation des sols, 10- Changement climatique, 11- Extraction de minerais, 12- Energie non renouvelable, 13- Acidification aquatique, 14- Eutrophisation aquatique

²⁴ Non-défini dans le cadre de ce mémoire

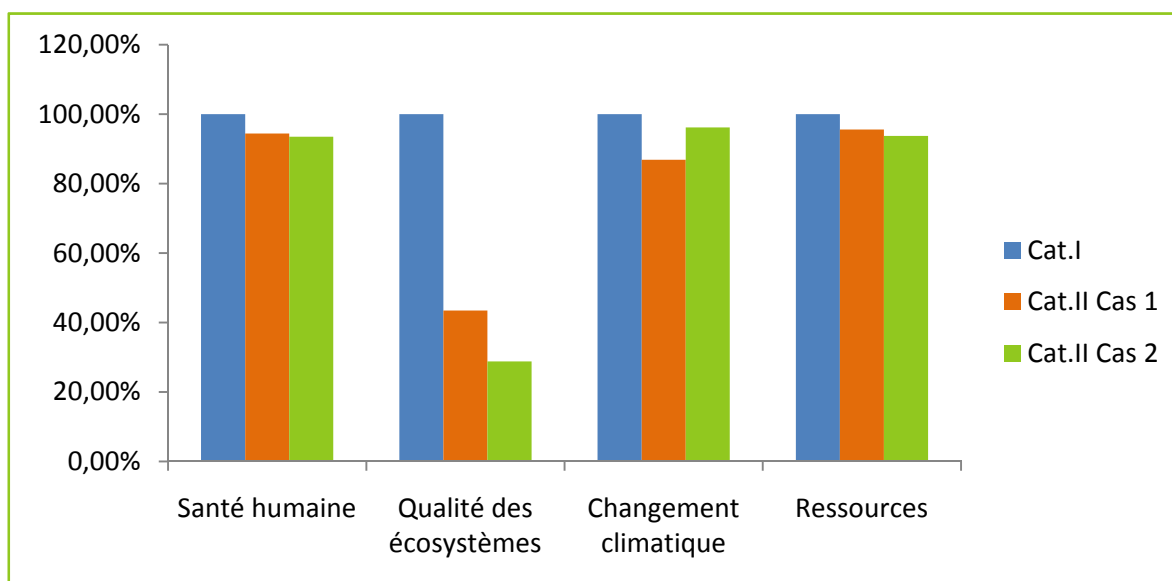
Tableau 22 : score de caractérisation de dommages comparatifs du SR et de la pomme à transformer ST

CATÉGORIE DE DOMMAGES	FACTEURS INTERMÉDIAIRES	PRODUCTION		TRANSPORT	CONSERVATION	TRANSFORMATION	TOTAL SR	TOTAL ST
		SR	ST					
Santé humaine (DALY)	Toxicité humaine	5,52E-10	5,80E-10	3,23E-10	8,89E-10	3,56E-08	1,03E-07	9,63E-08
	Effets respiratoires	6,67E-09	3,50E-14	2,01E-08	2,00E-09	3,32E-08		
	Radiations ionisantes	4,36E-11	4,56E-12	7,06E-12	2,28E-10	3,04E-09		
	Destruction de la couche d'ozone	4,08E-12	8,20E-21	2,80E-12	4,05E-13	5,81E-12		
	Formation de photo-oxydants	9,99E-12	2,52E-17	2,14E-11	1,64E-12	3,64E-11		
Qualité des écosystèmes (PDF.m ² .an)	Ecotoxicité aquatique	9,76E-05	9,52E-05	4,62E-05	1,72E-04	4,60E-03	1,25E-01	3,60E-02
	Ecotoxicité terrestre	2,01E-03	2,72E-04	3,81E-03	1,26E-03	1,86E-02		
	Acidification/ Eutrophisation terrestre	2,30E-04	2,84E-08	8,75E-04	5,76E-05	1,08E-03		
	Occupation des sols	9,16E-02	4,58E-03	2,23E-05	2,01E-05	3,29E-04		
Changement climatique (kg éq. CO ₂)	Changement climatique	1,62E-02	1,19E-02	1,62E-02	4,81E-03	6,73E-02	1,05E-01	1,01E-01
Ressources (MJ)	Extraction de minerais	2,06E-04	4,09E-07	1,99E-05	1,91E-05	3,68E-04	2,88E+00	2,70E+00
	Energie non-renouvelable	1,79E-01	3,69E-04	2,41E-01	1,69E-01	2,30E+00		

3. CONCLUSION

Que l'on considère les pommes à transformer comme des coproduits ou comme produits de destination initiale, elles permettent dans les deux cas de réduire l'impact environnemental global de la production de compote. Des deux cas d'alternative considérés, il apparaît que la conduite de vergers pour des pommes uniquement destinées à la transformation est une meilleure alternative dans tous les cas sauf en regard du changement climatique (voir figure 13).

Figure 13 : Comparaison de l'impact environnemental sur tout le cycle de vie des 3 alternatives



Notons néanmoins que bien que l'alternative verger de pommes à transformer semble la meilleure option du point de vue de notre ACV, il est peu probable que l'on puisse développer ce type de culture. En effet, comme nous l'avons déjà dit, les pommes destinées à la transformation se vendent moins cher sur le marché assurant dès lors un revenu moindre au producteur. Cette diminution est peu susceptible d'être compensée par la réduction des coûts liée à l'utilisation moins intensive de produits phytosanitaires. En effet, les dépenses liées aux pesticides et engrais représentent environ 9 % des frais d'exploitation totaux. Dès lors même une diminution de 40 % des frais de produits chimiques ne représenterait qu'une diminution de 0,5 % sur les frais totaux. Alors que dans le même temps, les revenus auraient été divisés de moitié. [Calculs propres sur base d'une analyse du secteur fruitier "La rentabilité de la culture de pommiers ces dernières années en Belgique", Le Fruit belge n°515 – 2005]

En conclusion, en regard des niveaux d'impacts et de la réalité économique, **l'alternative I nous semble être celle à poursuivre**. Cependant, on ne trouve pas à l'heure actuelle ce type de coproduit dans nos supermarchés. Cette situation devrait être amenée à changer si les producteurs, conscients d'une opportunité de marché, et les consommateurs, désireux de faire le meilleur choix de consommation possible, faisaient pression sur les autorités afin qu'elles permettent la commercialisation de ce type de produit ainsi que sur les distributeurs afin qu'ils la demandent.

III. ALTERNATIVE 3 : MODE DE CUISSON DES POMMES

La troisième et dernière alternative que nous présenterons concerne l'alternative de mode de cuisson de la compote. Notre scénario de référence se base sur les technologies électriques pour rendre compte de l'impact environnemental lié à la transformation des pommes en compote. Pour rappel, le bilan énergie de cette étape est réalisé sur base d'un mix de technologies électriques représentatif de la situation belge. Notre analyse d'impact nous a permis de mettre en évidence la place importante que prend l'étape de cuisson dans les résultats finaux de notre ACV. Dès lors, **nous souhaitons voir dans quelle mesure la technologie au gaz constitue une meilleure option de transformation**. Cependant, une telle comparaison occulterait le fait que le SR se base sur un mix technologique et non sur la meilleure technologie disponible. Afin de pouvoir confirmer les résultats de l'alternative-gaz et la conclusion de consommation qui en découle, nous avons refait l'exercice de la caractérisation de dommages sur base de la meilleure technologie électrique disponible du point de vue du rendement énergétique à savoir l'induction.

Les trois alternatives comparées seront donc le mix technologique du scénario de référence (SR), la technologie de l'induction (SI) et la taque de cuisson au gaz (SG).

Que ce soit au gaz ou à l'électricité, la quantité d'énergie utile à la transformation des pommes en compote est supposée être la même, à savoir **489.844 J**. Tout comme pour les technologies électriques, le rendement des appareils au gaz n'est pas de 100 %. Il est estimé que celui-ci est de l'ordre de 60 %²⁵. Sur base de la même formule que dans le point consacré à l'énergie de transformation, nous pouvons calculer que l'énergie totale utilisée est de **0,817 MJ**. L'écoprofil de l'approvisionnement en gaz chez le consommateur final belge est disponible dans Ecoinvent, il est donc facile d'en dériver les scores de caractérisation de dommages.

Du tableau 23 (page suivante) qui reprend les scores de dommages pour les différents modes de cuisson, il ressort clairement que **la cuisson au gaz représente une meilleure alternative de mode de transformation**. Celle-ci permet de réduire de respectivement 14 % les dommages sur la santé humaine, la qualité des écosystèmes et le changement climatique et de 8 % les dommages sur les ressources lorsque l'on considère les dommages de la compote de pomme sur son cycle de vie complet. Parmi les technologies électriques, celle de l'induction permet déjà de réduire les impacts globaux sans toutefois atteindre les scores de la cuisson au gaz. Nous estimons donc que la technologie au gaz est celle qui doit être favorisée pour permettre la réduction de l'impact de la production de la compote. Néanmoins, il est évident que les équipements de cuisine constituent des investissements de moyen terme qui ne sont pas aisément transposables et qu'il s'agit donc d'une option de consommation à considérer dans une réflexion globale du consommateur.

²⁵ http://www.energieplus-lesite.be/energieplus/page_11390.htm consulté le 28/07/2011

Tableau 23 : Scores de caractérisation des dommages pour les différents modes de cuisson, UF

CATÉGORIE DE DOMMAGES	FACTEURS INTERMÉDIAIRES	ENERGIE SR	ENERGIE SI	ENERGIE SG
Santé humaine (DALY)	Toxicité humaine	5,52E-10	3,23E-10	8,89E-10
	Effets respiratoires	6,67E-09	2,01E-08	2,00E-09
	Radiations ionisantes	4,36E-11	7,06E-12	2,28E-10
	Destruction de la couche d'ozone	4,08E-12	2,80E-12	4,05E-13
	Formation de photo-oxydants	9,99E-12	2,14E-11	1,64E-12
Qualité des écosystèmes (PDF.m ² .an)	Ecotoxicité aquatique	9,76E-05	4,62E-05	1,72E-04
	Ecotoxicité terrestre	2,01E-03	3,81E-03	1,26E-03
	Acidification/Eutrophisation terrestre	2,30E-04	8,75E-04	5,76E-05
	Occupation des sols	9,16E-02	2,23E-05	2,01E-05
Changement climatique (kg éq. CO ₂)	Changement climatique	1,62E-02	1,62E-02	4,81E-03
Ressources (MJ)	Extraction de minerais	2,06E-04	1,99E-05	1,91E-05
	Energie non-renouvelable	1,79E-01	2,41E-01	1,69E-01

■ CHAPITRE 5 : CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES FUTURES

Le consommateur, en tant que preneur de décisions occupe une place prépondérante dans le cadre de la dynamique de l'alimentation durable. Par son comportement et ces décisions de consommation quotidienne, il a le pouvoir d'influencer les entreprises et les modes de production. Cependant, bien que de nos jours la majorité des consommateurs soient préoccupés par la question environnementales, des efforts suffisants ne sont pas toujours consentis. De plus, les personnes affichant la volonté d'agir ne mesurent pas toujours l'impact de leurs actes quotidiens ou bien ne savent pas sur lesquels agir. Dans cette perspective, l'étude des comportements de consommation grâce à la méthodologie d'analyse de cycle de vie permettent de faire ressortir ces éléments et ainsi d'aider le consommateur dans sa démarche citoyenne.

L'étude d'un bien alimentaire de base nous a permis de mettre en évidence les grandes étapes qui constituent la production domestique de ce bien ainsi que leurs impacts respectifs. Globalement, les dommages environnementaux causés par la production d'une portion de compote de pomme sont relativement peu significatifs si l'on ne considère qu'une unité fonctionnelle. Néanmoins, comme nous l'avons expliqué dans le chapitre 3, la consommation des fruits en Belgique est en hausse. Par ailleurs, les plats accompagnés de compote constituent un type de repas classique fréquemment consommé par les ménages belges. Dès lors, si l'impact unitaire semble peu important, une fois rapporté à des volumes de production annuelle celui-ci est susceptible de devenir relativement conséquent.

Parmi les différentes étapes qui constituent le cycle de vie de la compote de pomme, nous avons pu, grâce à la méthodologie ACV, mettre en évidence les points sensibles pour lesquels des options de consommation étaient envisageables. Il apparaît donc que même dans le cadre de la production d'un bien d'apparence simple de meilleures alternatives semblent toujours pouvoir être proposées. Elles ne constituent pas un critère de décision unique mais permettent, à côté d'autres considérations, de participer à l'élaboration d'un schéma général de consommation s'approchant du concept de durabilité mis en avant dans le premier chapitre.

Les alternatives que nous avons présentées ne comprennent pas l'ensemble des options existantes possibles. En effet, deux grands autres schémas de consommation pourraient être confrontés à notre analyse afin d'affiner nos recommandations et conclusions. Ces deux schémas sont d'une part, l'approvisionnement en fruit via des circuits courts de consommation tels que les achats directs aux producteurs et d'autre part, la transformation industrielle de pomme en compote. Initialement cette alternative aurait dû être envisagée dans une optique comparative des deux systèmes de transformation. Pour des raisons pratiques et techniques ceci n'a pas pu être réalisé. Néanmoins, nos quelques recherches sur le sujet nous poussent à croire que la transformation industrielle possède certains atouts qui permettraient d'envisager celle-ci comme une alternative

potentiellement favorable au regard de l'impact environnemental global. Cependant, seule une étude approfondie de ce scénario pourrait permettre de tirer des conclusions définitives.

L'étude du scénario de référence et les conclusions qui en ont découlées sont à la base des propositions d'alternatives que nous avons abordées. Le scénario biologique semble faire tomber l'idée reçue que ce mode de production agricole est systématiquement plus favorable qu'un autre. Bien entendu, nous ne pouvons ici l'affirmer que dans le cadre de la production arboricole de pommes. Néanmoins, la conclusion que nous tirons de cette comparaison est que le consommateur qui souhaite adopter le meilleur comportement d'achat possible ne doit pas forcément se tourner vers le rayon biologique de son supermarché. De plus, dans ce mémoire nous n'avons pas abordé la question de la provenance géographique des fruits. Or comme nous l'avons mentionné dans le chapitre 3, la production de pommes biologiques est peu développée en Belgique. Dès lors, il arrive souvent qu'à côté des pommes en vrac belges, on retrouve des pommes biologiques issues notamment de la production italienne présentant alors un plus grand impact au regard de l'étape de transport.

Le type de technologie utilisée pour la cuisson peut faire varier l'impact de manière relativement importante (14%). L'impact est principalement dû à l'utilisation de gaz ou d'électricité. Bien sûr, ce constat est dépendant des installations et approvisionnement en électricité de la Belgique. Il ne peut être transposé directement ailleurs.

Enfin l'élément clé qui détermine une grande partie de notre système et de ces impacts est la destination finale des pommes. En effet, les pommes que l'on retrouve en grande surface sont des fruits de qualité qui répondent à divers critères réglementaires et commerciaux. La conduite des vergers est dès lors fortement conditionnée par ces exigences ce qui implique des impacts particuliers. Or les qualités esthétiques des pommes apparaissent comme peu importantes dans le cadre de leur transformation étant donné qu'elles sont pelées puis cuites. Nous avons donc pu mettre en évidence que la conduite de vergers entièrement destinés à la production de pommes à transformer constitue une alternative optimale à la réduction des impacts engendrés par la production de compote maison.

■ BIBLIOGRAPHIE

LIVRES

DECKERS J. et al., 2001, *Chapter: Soil survey as a basis for land evaluation in EOLSS: Land cover and soil sciences*. Vol.II. Land Evaluation.

GRAB (Groupe de Recherche en Agriculture Biologique) Collectif d'auteurs, 2005, *Produire des fruits en agriculture biologique*, 2^{ème} édition, Guide Technique de l'ITAB, Paris, 329 p.

JOLLIET O., SAADE M., CRETZAZ P., 2005, *Analyse de cycle de vie : comprendre et réaliser un écobilan*, 1^{ère} édition, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 242 p.

MATHIEU V., LAVOISIER C., FERRE G., 2011, *L'éclaircissage du pommier*, Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes (Ctifl), 308 p.

RIMSKY-KORSAKOFF J-P., 2003, *Au-delà du bio : la consom'action*, Yves Michel éd., Barret-sur-Méouge, France, 239 p.

VILAIN L., 2003, *La méthode IDEA – Indicateurs de durabilité des exploitations agricoles – Guide d'utilisation*, 2^{ème} édition, Educagri Ed., Dijon, 151 p.

ARTICLES ET PUBLICATIONS

BIOFORUM Wallonie, Juin 2005, *Etude de la filière des fruits et légumes biologiques*, Rapport Final, 54 p.

Direction des études économiques et d'appui aux filières du Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ), 2003, *Monographie de l'industrie pomicole du Québec*, 64 p.

DUFUMIER M., 2010, *Agro-écologie et développement durable*, Innovation and Sustainable Development in Agriculture and Food

DUQUESNE B., MATENDO S., LEBAILLY P., Mai 2006, *Des produits sains et naturels dans l'assiette des jeunes, une utopie ?*, Evolution de la consommation alimentaire en Belgique et en Région wallonne, Gembloux, 16 p.

DUVAL J., Avril 2003, *La tavelure de la pomme*, Publication dans le cadre du Projet pour une agriculture écologique, Université McGill, Montréal, Canada

COPPEE J-L., NOIRET C., 2002, *L'arboriculture fruitière en haute-tige, une voie de diversification agricole en région herbagère*, Les livrets de l'agriculture n°6, Ministère de la Région wallonne Direction générale de l'Agriculture, Jambes, 40 p.

FERRON P., 1999, *Protection intégrée des cultures: évolution du concept et de son application*. In A. Fraval & C. Silvy : *La lutte biologique (II)*. Dossiers de l'Environnement de l'INRA n°19, INRA Éditions, Paris, 274 p. En ligne à www.inra.fr/dpenv/ferpid19.htm

GHEWY X., GREGOIRE P., PASQUIER J-L., ROY A., SAILLEAU N., Mars 2011, *Consommation des ménages et environnement*, Commissariat Général au Développement Durable, Service de l'observation et des statistiques, 56 p.

HOLB I.J., 2006, *Effect of six sanitation treatments on leaf litter density, ascospore production of Venturia inaequalis and scab incidence in integrated and organic apple orchards*, European Journal of Plant Pathology n°115, p. 293-307

INRA -Institut national français de la recherche agronomique, Décembre 2005, *Pesticides, agriculture et environnement – Réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux*, Rapport d'expertise demandé par le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche français

INRA -Institut national français de la recherche agronomique, Janvier 2009, *Ecophyto R&D – Vers des systèmes de culture économes en produits phytosanitaires*, Volet 1, Tome IV: Analyse comparative de différents systèmes en arboriculture fruitière

JAMAR L., LATEUR M., Juin 2005, *Recherche de méthodes alternatives de lutte contre la tavelure du pommier dans le cadre de la production biologique : trois années d'expérimentation au CRA-W*, Bulletin Bimestriel de ligues pomologiques wallonnes et du centre fruitier wallon, Le fruit belge n°515, p.70-76

LARRIEU J-F., 2008, *Expérimentation entretien du sol en arboriculture fruitière biologique – amélioration des pratiques culturales*, Chambre d'agriculture Tarn et Garonne

LATEUR, M., 2002, *Perspectives de lutte contre les maladies des arbres fruitiers à pépins au moyen de substances naturelles inductrices d'une résistance systémique*. Biotechnol. Agron. Soc. Environnement. 6, p. 67–77.

LYNCH D. et al, Juin 2010, *Empreinte carbone et potentiel de réchauffement planétaire de l'agriculture biologique*, Rapport présenté au groupe de travail sur le développement des marchés TRCVPB, Canada

MATHE T., Décembre 2009, *Comment les consommateurs définissent-ils l'alimentation durable ?*, Cahier de recherche n°270, Centre de recherche pour l'étude et l'observation des conditions de vie (CREDOC), 68 p.

MALASSIS L., Juin 1996, *Les trois âges de l'alimentaire*, Agroalimentaria n°2, 5 p.

MILA i CANALS L., BURNIP G.M., COWELL S.J., 2006, *Evaluation of the environmental impacts of apple production using Life Cycle Assessment (LCA): Case study in New Zealand*, Agriculture, Ecosystems and Environment 114, p. 226-238

CRIOC, 2007, *Fruits et Légumes de saison*. Dossier de l'Observatoire Bruxellois de l'alimentation durable, catalogue 376-06, 41 p.

OECD -Organisation de coopération et de développement économique, 2002, *Towards sustainable household consumption ? Trends and policies in OECD countries*, 158 p.

PERVANCHON F., BLOUET A., Février 2002, *Lexique des qualitatifs de l'agriculture*, Le courrier de l'environnement de l'INRA n°45

PISSARD A., VAN BOL V., PINEROS GARCET J.D., HARCZ P., PUSSEMIER L., Août 2005, *Calcul d'indicateurs de risque liés à l'utilisation de produits phytosanitaires. Etude préliminaire : détermination du niveau d'utilisation de pesticides en Région wallonne*, rapport final, Centre d'Etude et de Recherches Vétérinaires et Agrochimiques (CERVA), Tervuren, Belgique

RASTOIN F., 1992, *Evolution de la distribution de fruits et légumes frais dans les pays industriels. Quel modèle ?*, Options Méditerranéennes, Série A n°19 – Les fruits et légumes dans les économies méditerranéennes

REDLINGSHÖFER B., 2006, *Vers une alimentation durable ? Ce que nous apprend la littérature scientifique*. Le Courrier de l'environnement de l'INRA, n°53, 83-102.

REGANOLD J.P., GLOVER J.D., ANDREWS P.K., HINMAN H.R., 2001, *Sustainability of three apple production systems*, Nature Vol. 410, p. 926-929

SPF Economie, 2011, *Chiffres clés de l'agriculture 2011*, L'agriculture en Belgique et en chiffres, Direction générale Statistique et information économique

VANDERCAMMEN M., Février 2009, *Equipements en appareils électriques*, Etude réalisées avec le soutien du SPP Politique scientifique, CRIOC

WIDMER A., GOLLES M., KOCKEROLS K., STADLER W., CHRISTEN D., 2008, *Possibilités et stratégies d'éclaircissage du pommier à l'éthéphon*, Revue Suisse de Viticulture, Arboriculture et Horticulture, Vol.40 (2), p.87-93

WRONA D., 2011, *The influence of nitrogen fertilization on growth, yield and fruit size of Jonagored apple trees*, Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus 10(2), p.3-10

BASE DE DONNÉES ET SITES INTERNET

www.bfv.be, Site internet de la coopérative Belgische Fruitveiling

www.ecoinvent.org, Ecoinvent database, Data V2.2 (2010)

www.energieplus-lesite.be, Informations sur l'énergie dans les bâtiments. Outil développé par la cellule de recherche Architecture et climat, UCL, Belgique

www.fao.org, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

www.fytoweb.be, Banque de données contenant les informations sur les pesticides à usage agricole autorisés en Belgique.

www.mayenne.chambagri.fr/iso_album/compost_cuma.pdf, Informations sur le compostage et la valorisation agronomique

www.statbel.fgov.be, Institut national de statistiques, SPF Economie

AUTRES SOURCES

Arrêté du Gouvernement wallon du 29 avril 2004 relatif à l'agrément de la méthode de production intégrée pour fruits à pépins, des organismes de contrôle ainsi que des producteurs qui pratiquent cette méthode

Arrêté royal du 22 février 2005 relatif au premier programme de réduction des pesticides à usage agricole et des biocides

BORDET A-C., BOCHU J-L., TOUCHEMOULIN O., Références PLANETE 2010, Fiche 9 – *Production "arboriculture"*, SOLAGRO, Toulouse, 8 p.

COLRUYT Reportage, octobre 2006, Disponible par le lien suivant :
http://www.colruyt.be/colruyt/static/1024/assets/infocolruyt/info_okt_p2-3_f.pdf

Conseil de la consommation (le), 2004. Avis sur le programme fédéral de réduction des pesticides à usage agricole et des biocides en Belgique., 12p.

- DALEZ F., 2010, *Analyse de cycle de vie comparative de deux modes de conditionnement et d'emballage d'une purée de pommes de terre*, Mémoire de fin d'étude, ULB, Belgique
- DE SCHUTTER O., Rapporteur spécial des Nations-Unies sur le droit à l'alimentation dans la préface du guide : *L'agro-écologie en pratique*, Agrisud International, Ed. 2010
- DREYFUS J., ROUSSEL M., 2007, *Les Hoplocampes*, Fiche technique du service régional des la protection des végétaux de Haute-Normandie, Ministère de l'agriculture et de la pêche, France. Lien : http://draaf.haute-normandie.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/FT_hoplocampe_cle87ff5e.pdf
- DUIVEN J.E., BINARD P., 2002, *Entreposage frigorifique: nouveaux développements*, Bulletin de l'IIF n°2002-2
- FAO document, 2001, *Les Marchés Mondiaux des Fruits et Légumes Biologiques. Opportunités pour les pays en voie de développement dans la production et l'exportation horticoles biologiques*. Lien : <http://www.fao.org/DOCREP/004/Y1669F/Y1669F00.HTM>
- FESCHET P., TEMPLE L., DE BON H., LOEILLET D., 2008, *Ecobilan énergétique des filières fruits et légumes : innovations méthodologiques en cours*, Colloque international "La problématique du développement durable vingt ans après : nouvelles lectures théoriques, innovations méthodologiques et domaines d'extension" du 20 au 22 novembre 2008, Lille, France, 19 p.
- GODDEN B., 2010-2011, *Agriculture, forêts et environnement*, Syllabus de cours, ULB, Bruxelles
- ISO 14040, 2006, *Environmental management – Life cycle assesment – Requirements and guidelines*, International standard, First edition
- MAZOLLIER J. et al, Juillet 2002, *Conditions de conservation des principales variétés de pommes*, Bulletin d'information Stations Fruitières n°18, Ctifl
- OUDET N., 2009, *Impacts environnementaux de la filière fruits et légumes – analyse de cycle de vie*, présentation dans le cadre des Journées Techniques fruits et légumes biologiques, Institut Technique de l'Agriculture Biologique (ITAB), 8 et 9 décembre 2009, Paris
- PICHARD A., Mars 2005, *Le cuivre et ses dérivés*, Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, Institut National de l'Environnement Industriel et des risques (INERIS)
- Règlement européen CE 1580/2007, 21 décembre 2007, *Modalités d'applications en ce qui concerne les normes de commercialisation des fruits et légumes dans l'Union Européenne*
- SABBE S., 2009, *Consumer perception and behavior towards tropical fruits in Belgium*, PhD thesis, Faculty of Bioscience Engineering, University of Ghent, Ghent
- VIDAL, 1999, Rapport de la Commission Européenne: *Agriculture, Environnement, développement rural: faits et chiffres - Les défis de l'agriculture*. Chapitre : *Du sol au paysage : un patrimoine fondamental de l'Union européenne*, disponible par le lien suivant : http://ec.europa.eu/agriculture/envir/report/fr/sol_fr/report.htm
- WARNIER O., Juillet 2011, Communication personnelle, Interview au Centre fruitier wallon le 12 juillet 2011 et divers contacts téléphoniques

■ RÉSUMÉ

Le système alimentaire est vecteur de nombreuses externalités environnementales négatives. Dès lors, dans une optique de développement durable il est indispensable d'adresser les problèmes que ce système engendre. Au travers du cas d'étude de la compote de pomme faite maison, nous adressons les choix de consommation/production offerts aux consommateurs et qui peuvent influencer favorablement les différents niveaux d'impacts.

Pour réaliser le bilan des impacts des différentes étapes de la fabrication du produit, nous avons utilisé la méthode d'Analyse de Cycle de Vie (ACV). Cette méthode multicritère et structurée, permet de tenir compte de l'ensemble des étapes de vie d'un produit ou d'un système depuis l'extraction jusqu'au traitement des déchets. Nous avons scrupuleusement suivi les quatre étapes de la norme ISO 14 040, afin de faciliter la lecture des résultats.

Dans le cadre de notre étude des compotes de pomme faite maison, nous nous sommes limités au cadre géographique de la Belgique et nous avons défini un scénario de référence représentant la situation la plus courante en arboriculture fruitière, la production intégrée. Les résultats obtenus ont ensuite été confrontés à des scénarios alternatifs afin d'identifier les bénéfices potentiels d'une modification des procédés. Il a pu être mis en évidence qu'une commercialisation de pommes à transformer diminuerait l'impact environnemental du produit. L'utilisation de pommes bio (exception faite des bénéfices de l'agriculture biologique sur la biodiversité) a un impact équivalent à l'hectare mais une production moindre que la culture intégrée, majorant son impact. Au-delà de la production de la pomme, le type de taques de cuisson joue un rôle important, les nouvelles technologies disponibles ayant un rendement plus élevé, économie non-négligeable dans le bilan total. Les taques au gaz sont encore plus « vertes » pour le bilan global.

Ce travail met donc en avant différents niveaux d'action, pour les producteurs comme pour les consommateurs, permettant de diminuer l'impact environnemental de la production de compote de pomme faite maison.

Mots-clés : Analyse de cycle de vie, Arboriculture fruitière, Agriculture intégré, Agriculture biologique, Environnement, Alimentation durable, Consommation.