

Thèse de doctorat

**Pour obtenir le grade de Docteur de l'Université de
VALENCIENNES ET DU HAINAUT-CAMBRESIS**

Discipline, spécialité selon la liste des spécialités pour lesquelles l'Ecole Doctorale est accréditée :
MECANIQUE, GENIE CIVIL, ENERGETIQUE, MATERIAUX

Présentée et soutenue par Marie, DE SAXCE.

Le 04/12/2012, à Roubaix

Ecole doctorale :

Sciences Pour l'Ingénieur (SPI)

Equipe de recherche, Laboratoire :

Laboratoire GENie et Matériaux TEXtiles (GEMTEX)

**Méthodologie d'évaluation des impacts environnementaux des textiles par
l'Analyse du Cycle de Vie**

JURY

Président du jury

- Allaoui, Hamid. Professeur. Université d'Artois.

Rapporteurs

- Jolly Desodt, Anne-Marie. Professeur Emérite. Université d'Orléans.
- Quaranta, Gaetana. Maître de Conférences, HDR. Université de Strasbourg.

Examineurs

- Camargo Pardo, Mauricio. Maître de Conférences. Université de Nancy.
- Quesne, Agnès. Docteur, Consultant confirmé, Bureau Veritas CODDE.

Directeur de thèse

- Perwuelz, Anne. Professeur. ENSAIT, Laboratoire GEMTEX. Roubaix.

Codirecteur de thèse : Rabenasolo, Besoa. Professeur. ENSAIT. Roubaix.

CODDE -BUREAU VERITAS
GEMTEX
UNIVERSITE DE LILLE NORD DE FRANCE

Méthodologie pour l'évaluation de l'impact environnemental des textiles par l'Analyse du Cycle de Vie

Manuscrit de thèse

Marie de Saxcé

04/12/2012

Résumé en anglais

In recent years, the European textile industry and textiles imports have had to comply with an increasing number of environmental policies. Emissions from industrial installations have been subject to EU-wide legislation for over 10 years: the IPPC Directive, the European Pollutant Release and Transfer Register (E-PRTR)... Since 2007, European textile producers also have to comply with a substantial number of obligations under REACH. Furthermore, in France environmental labelling for certain convenience goods (including textile products) might become mandatory in 2020.

In parallel, national awareness appeared on the necessity of designing consumer products with limited use of natural resources and decreased the environmental impacts. Eco-design involves the implementation of new materials and new processes.

Life Cycle Assessment, LCA, is a tool that enables the assessment of environmental impacts. This thesis was initiated by Bureau Veritas CODDE Company and the GEMTEX laboratory, following on the identification of a significant need for the development of LCA data and methods in the textile sector.

This is because the existing methods and tools are not suitable for the environmental impact assessment of textile products since the textile sector presents specific constraining characteristics. These tools should enable designers, manufacturers and retailers to perform LCA on their products.

In the first chapter, the state of the art in the environmental assessment of textiles is presented. This bibliography aims at describing the textile life cycle by reviewing the environmental studies published on the topic. All the sources used to develop the database are not mentioned; but it provides an inventory of the studies that improved the environmental assessment of textiles.

The state of the art showed the lack of representative geographical and technological data on the manufacturing and distribution steps. It also showed that the lack of standardization, for the Life Cycle Inventories (LCI) modelling of the use and end-of-life phases, lead to high discrepancies in results.

In the second chapter, the methodology developed for creating LCI data sets is detailed. Then, we focus on the modelling step to answer some specific related issues. Finally, the documentation format and validation protocols are presented. In this section, the bibliographical sources related to LCA methods are referenced. Then, different yarn spinning unit processes are assessed to illustrate the modelling issues raised previously.

This LCI creation method was developed easing compliance requirements with other LCI databases. The implementation of this method has automated a heavy procedure for the creation of generic data in any field.

The implementation of this method has provided the textile database. This database was created to deal with the difficulties of collecting specific data at some life cycle steps.

In the third chapter, the life cycle modelling method for a textile consumer product is presented. Different tools were implemented to help the completion of textile LCAs by using the

database created. The different textile life cycle modelling tools are presented: the database computer support, the data collection file, and the design software. Then the modelling methods for the four textile life cycle phases are presented: manufacturing, distribution, use and end-of-life. The modelling of several scenarios showed a clear need for specific methods on each life cycle phase. Thus on the manufacturing phase for instance, a change of raw material has consequences on all the manufacturing steps.

In the fourth chapter, the development prospects for the database, the data collection file and the design software are presented. Most of the developments suggested on the three tools aim at simplifying the LCA method implemented. These simplifications should not decrease the representativeness of the product life cycle modelling and should be feasible in short timelines.

All of these methods and tools have allowed the expansion of Bureau Veritas - CODDE's area of expertise to any products including textile parts. The different studies conducted showed the importance of a good geographical representativeness and the influence of the product lifetime on the results. The LCA method developed accounts for the implications of specific manufacturing choices on the other manufacturing steps and on the use and end-of life phases. This aspect is well-known to textile engineers but was not accounted for in textile LCAs so far. The use of these tools and methods will help design representative environmental life cycles of textiles and will allow comparisons between products.

Résumé en français

Ces dernières années, les législations dans le domaine du textile et de l'environnement se sont multipliées. Au niveau européen, les directives IPPC, REACH, ont obligé les industriels Européens à prendre en compte les aspects environnementaux de leurs produits et services. En France, suite au Grenelle de l'environnement, de nouvelles obligations apparaissent concernant les déchets textiles ou l'affichage environnemental (Grenelle environnement 2011).

Parallèlement, une prise de conscience internationale de la nécessité de concevoir des produits limitant l'utilisation de ressources non renouvelables et diminuant leur impact environnemental, est apparue. L'éco conception implique la mise en œuvre de nouvelles matières et de nouveaux procédés.

L'ACV, analyse du cycle de vie est un outil qui permet l'évaluation des impacts environnementaux. Cette thèse a été lancée par Bureau Veritas CODDE et le laboratoire GEMTEX, suite à l'identification d'un besoin significatif de développement de données et méthodologies ACV pour le secteur du textile. En effet, les méthodologies et les outils existants ne sont pas adaptés à l'évaluation de l'impact environnemental des produits textiles car le secteur présente des caractéristiques spécifiques contraignantes. Ces outils doivent permettre autant aux concepteurs, qu'aux fabricants et distributeurs de réaliser des ACV à des niveaux de granulométrie différents.

Dans le premier chapitre, l'état de l'art en matière d'études environnementales sur les textiles est présenté. Cette bibliographie a pour objectif de décrire le cycle de vie des textiles en passant en revue les différentes études environnementales publiées sur le sujet. Il ne s'agit pas de recenser toutes les sources bibliographiques utilisées pour réaliser la base de données ; mais, plutôt, de faire l'inventaire des études environnementales qui ont permis de mieux connaître les impacts environnementaux de différents maillons de la chaîne textile.

L'état de l'art a mis en évidence le manque de données représentatives géographiquement ou technologiquement sur les phases de fabrication et de distribution. Il a montré également que la non-uniformisation des pratiques d'ACV sur la modélisation de la phase d'utilisation ou de fin de vie conduit à de fortes disparités sur les résultats.

Dans le deuxième chapitre, la méthodologie de création des inventaires de cycle de vie développée est expliquée. Ensuite un zoom sur l'étape de modélisation d'un processus élémentaire est effectué pour répondre à certaines problématiques spécifiques. Finalement, le format de documentation et le protocole de validation établis sont présentés. Dans cette partie sont citées les sources purement méthodologiques sur la réalisation d'ACV. Ensuite, différents processus élémentaires de filature sont évalués pour illustrer les problématiques de modélisations soulevées précédemment.

Cette méthode de création d'ICV a été développée tout en respectant les impératifs de conformité avec d'autres bases de données ICV. La mise en place de cette méthode a permis d'automatiser une procédure lourde pour la construction de données génériques applicable à n'importe quel domaine.

L'application de cette méthodologie a permis de constituer la base de données textile ou BDD. Elle a été créée pour pallier aux difficultés de collecte des données spécifiques à certaines étapes du cycle de vie.

Dans le troisième chapitre, la méthode de modélisation du cycle de vie d'un produit de consommation textile est présentée. Différents outils ont été mis en place pour faciliter la réalisation d'ACV textiles en exploitant la BDD créée. Ces différents outils de modélisation du cycle de vie des textiles sont présentés: le support informatique de la base de données, le fichier de collecte, et l'interface de design. Ensuite, les méthodes de modélisation des différentes phases du cycle de vie sont présentées par ordre chronologique : la fabrication, la distribution, l'utilisation et la fin de vie. La modélisation de différents scénarios a nécessité la mise en place de différentes méthodes ou guides de modélisation sur chaque phase du cycle de vie. Ainsi, sur la modélisation de la phase de fabrication par exemple, l'utilisation de différentes matières premières impliquent des circuits de fabrication multi-étapes différents.

Dans le quatrième chapitre, les perspectives de développement de la base de données, du fichier de collecte et de l'interface sont présentées. La plupart des développements sur la base de données, l'interface ou le fichier de collecte visent à simplifier l'utilisation et la méthode ACV mise en place. Ces simplifications ne devront pas remettre en question la représentativité des modélisations et pouvoir être effectuées sous certains délais.

L'ensemble de ces méthodes et outils ont permis d'étendre l'expertise du Bureau Veritas CODDE à tous les produits contenant des textiles. Les différentes études menées démontrent l'importance d'une bonne représentativité géographique et l'influence de la durée de vie sur les résultats. La méthode d'ACV développée prend en considération les implications des choix de technologies de production sur les autres étapes de fabrication et sur les phases d'utilisation et de fin de vie. Ce point est la confirmation d'un fait connu des textiliens mais non mis en évidence dans les ACV textiles à ce jour. L'utilisation de ces outils et méthodes facilitera la réalisation de modélisations représentatives du cycle de vie des textiles et permettra les comparaisons des résultats de différents produits.

Remerciements

Les travaux présentés dans ce mémoire ont été réalisés au sein de Bureau Veritas CODDE et au sein du laboratoire Génie et Matériaux Textile de l'École Nationale Supérieure des Arts et Industries Textiles (GEMTEX-ENSAIT). Je tiens spécialement à remercier :

Bureau Veritas CODDE pour avoir financé ces trois ans de recherche.

L'Agence Nationale de la Recherche et de la Technologie pour les financements CIFRE dont nous avons pu bénéficier.

Madame Anne-Marie JOLLY DESODT, Professeur à l'Université d'Orléans, et Madame Gaetana QUARANTA, Maître de conférences à l'Université de Strasbourg, qui se sont intéressées à mon travail et qui ont accepté d'en être les rapporteurs.

Monsieur Hamid ALLAOUI, Professeur à l'Université d'Artois, et Monsieur Mauricio CAMARGO PARDO, Maître de conférences à l'INPG, pour avoir accepté de faire partie du Jury.

Madame Anne PERWUELZ, Professeur à l'ENSAIT, directrice de ce mémoire, pour sa confiance et sa disponibilité, et pour avoir su me communiquer en partie sa passion pour la recherche.

Madame Agnès QUESNE, tutrice industrielle, pour son écoute, sa présence à tous les congrès, son stoïcisme dans les gestions de crises.

Monsieur Besoa RABENASOLO, Professeur à l'ENSAIT, co-directeur de ce mémoire pour sa rigueur et ses incitations fréquentes à l'approfondissement de mes recherches.

L'équipe de CODDE : Monsieur Etienne LEES PERASSO pour son aide sur le développement des méthodes, Monsieur Damien PRUNEL pour son aide sur le développement des modules, Monsieur Axel ROY pour son efficacité, Monsieur Arnaud LANFRANCONI et Mademoiselle Clarisse GIMAT pour leur aide sur la modélisation de l'agriculture des fibres naturelles, Monsieur Yann FABRE et Monsieur Thomas HUMMEL pour leur aide en informatique, Mademoiselle Julie ORGELET pour son expertise en ACV, Mademoiselle Maud JACQUOT pour ses remarques qui ont permis d'augmenter grandement la fluidité de ce mémoire, Monsieur Béranger HOPPENOT pour avoir su détendre l'atmosphère au quotidien, Madame Claire TOZZI pour son aide dans la gestion des aspects administratifs.

Mademoiselle Sandrine PESNEL, Mademoiselle Lucie DOMINGO et Mademoiselle Vanessa PASQUET pour l'ensemble de nos discussions et travaux qui m'ont permis d'approfondir mes connaissances dans le domaine de l'ACV textile et des études environnementales.

L'équipe des enseignants chercheurs et techniciens du GEMTEX, et plus particulièrement, Monsieur Bernard VERMEULEN, Monsieur Jean-Louis MARTIN, Madame Lova RAZAFIMAHEFA, Monsieur Ludovic KHOËL, Monsieur Hubert OSTYN, Monsieur Nicolas DUMONT, pour m'avoir fait partager leur connaissances sur l'industrie textile.

Table des matières

Glossaire Analyse du Cycle de Vie.....	12
Glossaire textile.....	14
Introduction	18
1 L'état de l'art des études environnementales liées au secteur textile.....	21
1.1 La production des matières premières	22
1.1.1 <i>Fibres synthétiques : polyester, polyamide, polypropylène, acrylique et élasthanne</i>	23
1.1.2 <i>Fibres artificielles : viscose et acétate de cellulose</i>	24
1.1.3 <i>Fibres naturelles végétales : coton, jute et lin.....</i>	25
1.1.4 <i>Fibres naturelles animales : laine et soie</i>	27
1.2 La fabrication des produits textiles.....	28
1.2.1 <i>Fabrication des fils</i>	29
1.2.2 <i>Fabrication de l'étoffe.....</i>	30
1.2.3 <i>Ennoblement</i>	31
1.2.4 <i>Confection</i>	32
1.3 Distribution	33
1.3.1 <i>Les transports.....</i>	33
1.3.2 <i>Les emballages.....</i>	34
1.3.3 <i>Le stockage et invendus</i>	34
1.4 Utilisation.....	35
1.4.1 <i>La fin de vie des emballages.....</i>	35
1.4.2 <i>Durée de vie</i>	35
1.4.3 <i>Entretien des textiles.....</i>	36
1.5 Fin de vie.....	37
1.5.1 <i>Le réemploi des textiles usagés</i>	38
1.5.2 <i>Le recyclage des textiles usagés.....</i>	38
1.5.3 <i>Incinération et mise en décharge des textiles</i>	40
1.6 Une bibliographie riche mais disparate	40
2 Méthodologie de développement d'un set ICV.....	42
2.1 Problématiques liées à la modélisation d'un ICV	45
2.1.1 <i>Différents systèmes modélisés dans le cycle de vie des textiles</i>	45
2.1.2 <i>Diagramme de flux d'un processus élémentaire ou modélisation technologique</i>	47
2.1.3 <i>Modélisation géographique d'un procédé de transformation de matière textile.....</i>	48
2.1.4 <i>Affectation/ allocation / répartition des impacts entre plusieurs coproduits</i>	49
2.1.5 <i>Imperfections des données.....</i>	50
2.2 Présentation des résultats d'impacts, de flux et de conception correspondant à l'ICV	53
2.3 Formats de documentation d'un set ICV	56
2.3.1 <i>Comparaison de différents formats de documentation</i>	57
2.3.2 <i>Nouveau format de documentation.....</i>	59
2.4 Protocole de validation	61
2.5 Cas de la filature.....	62
2.5.1 <i>Variations technologiques.....</i>	62
2.5.2 <i>Variations géographiques</i>	66
2.6 Bénéfices d'une démarche de simplification méthodologique pour la création d'ICV	68

3	Création d'une méthodologie d'ACV adaptée au secteur textile	69
3.1	Les supports de modélisation	71
3.1.1	<i>Le support informatique de la base de données ou BDD</i>	71
3.1.2	<i>Conception et présentation du fichier de collecte</i>	77
3.1.3	<i>Développement d'une interface générique</i>	81
3.2	Modélisation de la fabrication	83
3.2.1	<i>Règles de sélection des modules sur la phase de fabrication</i>	83
3.2.2	<i>Calcul des entrants à la fabrication en tenant compte des pertes</i>	89
3.3	Modélisation des transports et des emballages	90
3.4	Modélisation de la phase d'utilisation	91
3.4.1	<i>Introduction de la phase d'utilisation avec un exemple sur des draps de lit</i>	91
3.4.2	<i>Scénario d'utilisation d'un article textile moyen</i>	92
3.5	Modélisation de la phase de fin de vie	97
3.6	Une méthode qui diminue la complexité de modélisation du secteur textile	99
4	Perspectives d'évolution des outils supports de modélisation	100
4.1	Perspectives d'évolution de la base de données	101
4.1.1	<i>Modification du support informatique de la BDD</i>	101
4.1.2	<i>Modification du contenu de la BDD</i>	104
4.2	Perspectives d'évolution du fichier de collecte	107
4.2.1	<i>Les agrégations géographiques ou technologiques</i>	107
4.2.2	<i>Calcul de la durée de vie d'un article textile</i>	108
4.3	Perspectives d'évolution de l'interface	109
4.3.1	<i>Utilisation d'un procédé de transformation incluant les pertes</i>	109
4.3.2	<i>Aide à la sélection automatique de modules</i>	110
4.3.3	<i>Interfaces d'utilisation</i>	111
4.3.4	<i>Indicateurs de fin de vie</i>	111
5	Conclusion	113
6	Annexes	116
6.1	Annexe 1 : Format de documentation	116
7	Bibliographie	119

Liste des figures

Figure 1 - Cycle de vie textile.....	21
Figure 2 - Classification des fibres textiles	22
Figure 3 - Production des fibres textiles en 2009 (code couleur figure 1)	23
Figure 4 - Assèchement de la mer d'Aral suite au lancement de la culture du coton	26
Figure 5 - Fabrication d'un produit textile.....	28
Figure 6 - Différents types de fils de même titre (Tex).....	29
Figure 7 - Synthèse des flux textiles récupérés, triés et valorisés en France (Giusiano et al. 2010).....	38
Figure 8 - Illustration de la méthode des stocks (CSTB 2007)	39
Figure 9 - Étapes du développement d'un set ICV conformément à ISO et ILCD	44
Figure 10 – Classification des différents procédés présents dans un cycle de vie textile présentée sous la forme d'un diagramme des flux	46
Figure 11 - Schéma de modélisation d'un ICV d'un processus élémentaire	47
Figure 12 - Répartition des différentes sources d'imperfections des données dans un set ICV.....	51
Figure 13 - Format de documentation ISO 14048.....	56
Figure 14 - Modélisation fil fin et fil gros de technologies moyennes (répartition technologique)	63
Figure 15 - Analyse en composantes principales des technologies de filature sur leurs résultats d'impacts	64
Figure 16 - Dispersion des résultats d'impacts pour différentes technologies de filature de coton	65
Figure 17 - Représentation de la répartition mondiale des usines de filature cardée et erreur liée à une représentativité géographique évaluée à 90% au lieu de 100%.....	66
Figure 18 - Écarts d'impacts pour différentes localisations de l'étape de filature.....	67
Figure 19 - Diagramme représentant les différents acteurs et leurs fonctions sur EIME V5.....	69
Figure 20 - Représentation de la modélisation d'un produit textile par le designer sur l'interface	70
Figure 21 - Copie d'écran de la base de données EIME.....	72
Figure 22 - Construction de la BOM, indicateur de design	74
Figure 23 - Proposition de classification des modules textiles dans EIME-TEX, nouvelles classes en vert	75
Figure 24 - Espace de modélisation sur l'interface générique EIME Design	81
Figure 25 - Exemple de modélisation sur l'interface à l'aide des données du fichier de collecte et de la BDD.....	82
Figure 26 - Les trois étapes de fabrication nécessitant des guides de modélisation.....	83
Figure 27 - La fabrication des fils à partir des fibres naturelles	84
Figure 28 - La fabrication des fils à partir des fibres chimiques.....	85
Figure 29 - Guide sur la fabrication des étoffes selon les matériaux et les matières premières.....	86
Figure 30 - Guide sur l'utilisation des machines d'ennoblissement selon les étoffes.....	87
Figure 31 - Règles pour le pré-traitement des textiles.....	88
Figure 32 - Les colorants adaptés aux différentes matières premières	88
Figure 33 - Calculs pour obtenir les masses entrantes requises à chaque étape de fabrication.....	89
Figure 34 - Questionnaire sur une étape de transport dans la phase de distribution	91

Figure 35 - Prise en compte de la durée de vie d'un article dans la modélisation.....	93
Figure 36 - Modélisation des lavages sur la phase d'utilisation pour 2 textiles différents	94
Figure 37 - Modélisation du séchage lors de la phase d'utilisation pour 2 articles différents.....	95
Figure 38 - Modélisation des repassages lors de l'utilisation de deux articles textiles différents.....	96
Figure 39 - Destination des déchets collectés en France (Mathery et Heyberger 2012).....	97
Figure 40 - Modélisation de la fin de vie d'un article textile moyen.....	98
Figure 41 - Système de classification des procédés de transformation textile.....	103
Figure 42 - Architecture à niveaux multiples pour modéliser les procédés de transformations.....	110
Figure 43 – Copie d'écran du premier onglet de la fiche de documentation : champs obligatoires ILCD "entry level".....	116
Figure 44 – Copie d'écran du deuxième onglet de la fiche de documentation : flux intermédiaires inclus dans l'ICV.....	117
Figure 45 – Copie d'écran du cinquième onglet de la fiche de documentation : protocole de validation du set ICV.....	118

Liste des tableaux

Tableau 1 - Catégories d'impacts et méthodes recommandées par ILCD	55
Tableau 2 - Comparatif de trois formats de documentation d'un set ICV	57
Tableau 3 - Différentes technologies de filature et fils correspondants.....	62
Tableau 4 - Proposition de classification des flux élémentaires dans ELCD et Ecoinvent, en vert les classes spécifiques à Ecoinvent	76
Tableau 5 - Liste d'ensembles de données non inclus dans EIME pour lesquels des formats de documentation ont été définis.....	101
Tableau 6 - Essais retenus pour la détermination du flux de référence pour l'affichage environnemental pour les chaussures (Afnor 2010).....	108

Glossaire Analyse du Cycle de Vie

Affectation/Allocation/Imputation : imputation des flux entrant ou sortant d'un processus ou d'un système de produits entre le système de produits étudié et un ou plusieurs autres systèmes de produits.

Analyse des impacts du Cycle de vie (AICV) : phases consécutives et liées d'un système de produits, de l'acquisition des matières premières ou de la génération des ressources naturelles à l'élimination.

ACV attributionnelle : approche de modélisation d'un système pour lequel les intrants et extrants sont attribués à l'unité fonctionnelle du système de produit tels qu'ils interviennent dans la réalité. Une très grande majorité des ACV sont de type attributionnel.

Analyse du Cycle de Vie comparative : comparaison sur les résultats d'ACV de systèmes différents aux frontières identiques.

ACV conséquentielle : approche de modélisation d'un système dans lequel les activités d'un système de produit sont liées de façon à les inclure au système de produit dans la mesure où elles sont amenées à varier suite à un changement dans la demande pour l'unité fonctionnelle.

Base de données ACV (BDD) : base de données rassemblant des sets de données ICV dans un format donné.

BOM ou Bill Of Materials : Liste de matières premières et composants **et leurs quantités correspondantes nécessaires à la fabrication d'un produit et inclus dans le produit final. Dans EIME, la BOM correspond à la composition du flux sortant (flux de référence) d'un processus ou d'un système.**

Critères de coupure : spécification de la quantité de flux de matière ou d'énergie ou du niveau de signification environnementale associés aux processus élémentaires ou au système de produits devant être exclus de l'étude.

Coproduit : l'un quelconque de plusieurs issus du même processus élémentaire ou système de produits.

EIME : Environmental Impact Made Easy base de données et logiciel d'Analyse du Cycle de Vie développés par CODDE.

ELCD (European Life Cycle Data base) : Base de données Européenne rassemblant des Inventaires de Cycle de Vie en conformité avec ILCD.

Extension du système : étendre le système de produits pour inclure les fonctions supplémentaires liées aux coproduits, diviser le processus élémentaire à imputer en deux sous-processus ou plus.

Extrant : flux de produit, de matière ou d'énergie sortant d'un processus élémentaire.

Facteur de caractérisation : facteur établi à partir d'un modèle de caractérisation qui est utilisé pour convertir les résultats de l'inventaire du cycle de vie en unité commune d'indicateur de catégorie.

Flux élémentaire : matière ou énergie entrant dans le système étudié, qui a été puisée dans l'environnement sans transformation humaine préalable, ou matière ou énergie sortant du système étudié, qui est rejetée dans l'environnement sans transformation humaine ultérieure.

Flux de déchet : flux permettant de modéliser les déchets générés par les systèmes étudiés.

Flux de produit : flux permettant de modéliser les matériaux ou coproduits générés par le système étudié. Peut constituer un flux de référence.

Flux de référence : mesure des sortants nécessaires des processus, dans un système de produits donné, pour remplir la fonction telle qu'elle est exprimée par l'unité fonctionnelle.

Flux intermédiaire : flux de référence d'un ICV utilisé sous forme d'UPR dans la modélisation d'un système. Il peut être un flux de produit, de déchets ou d'énergie mais jamais un flux élémentaire.

Générateur de données : personne ou organisme responsable de la modélisation du processus et de la compilation ou de la mise à jour des données.

ILCD (International Life Cycle Data systems) : plateforme internationale qui fournit des recommandations et des guides pour la réalisation d'Analyses du Cycle de Vie visant à uniformiser et structurer la pratique.

Intrant : flux de produit, de matière ou d'énergie entrant dans un processus élémentaire.

Inventaire de Cycle de vie (ICV) : inventaire des flux de matières et d'énergies entrant et sortant à chaque étape du cycle de vie. Cet inventaire sert de base à la réalisation d'une Analyse du Cycle de Vie (ACV).

IPPC : Integrated Pollution Prevention and Control directive COM-2003-302.

Module EIME : ensemble de données ICV paramétrable comprenant une liste des inputs outputs dont l'ICV, et les métadonnées qui constituent une version simplifiée de la documentation de l'ICV sur EIME.

PCI : pouvoir calorifique inférieur, c'est la quantité de chaleur dégagée par la combustion complète d'une unité de combustible, la vapeur d'eau étant supposée non condensée et la chaleur non récupérée.

Processus : ensemble de procédés corrélés ou interactifs ou procédé unique, qui transforme des éléments d'entrée en éléments de sortie.

Processus élémentaire (UPR) : plus petite partie prise en compte dans l'inventaire du cycle de vie pour laquelle les données d'entrée et de sortie sont quantifiées.

Règle de coupure : spécification de la quantité de flux de matière ou d'énergie ou du niveau de signification environnementale associés aux processus élémentaires ou au système de produits devant être exclus de l'étude.

Set : ensemble de données, tous les sets de données de même type partagent le même format de documentation. Exemple : « set ICV », « module », « flux ».

Set ICV : ensemble de données incluant l'Inventaire de Cycle de Vie et sa documentation.

Système : ensemble de processus élémentaires liés du point de vue matériel et énergétique et qui remplissent une ou plusieurs fonctions définies. Les procédés de transformation simples sont des systèmes.

Toxicité : mesure de la capacité d'une substance à provoquer des effets néfastes et mauvais pour la santé ou la survie chez toute forme de vie.

Unité fonctionnelle : référence à partir de laquelle sont (mathématiquement) normalisées les données d'entrée et de sortie. Performance quantifiée d'un système de produits destinée à être utilisée comme unité de référence dans une analyse du cycle de vie.

UUID : identifiant unique présenté sous la forme d'une suite de chiffres et de lettres générés automatiquement (32 pour ELCD), attribué à un ensemble de données dans une base de données. Cet identifiant assure la traçabilité de l'ensemble de données sur ses différentes versions.

UPR : processus élémentaire.

Glossaire textile

Abaca : fibre, appelée Chanvre de Manille, provenant des tiges et feuilles de la Musa textilis.

Acétate : fibre d'acétate de cellulose, dont entre 74 % et 92 % des groupes hydroxyliques est acétylate.

Acrylique : fibre synthétique produite à partir d'acrylonitrile, monomère qui constitue au moins 85 % des unités répétitives dans la chaîne de polymérisation.

Apprêts : traitement de finition des tissus textiles, pour lui donner une fonctionnalité complémentaire sans modifier significativement ses autres caractéristiques : douceur, étanchéité ou résistance aux tâches...

Armure : vocable qui dans le textile a deux significations : la première désigne l'ensemble des opérations de montage du métier à tisser, la seconde désigne la manière de croiser le fil de trame et le fil de chaîne.

Blanchiment : procédé d'ennoblissement servant à blanchir les étoffes ou les fibres qui sont originellement de couleur écrue.

Bobine : support sur lequel est enroulé le fil ; formée d'une âme cylindrique et de deux flancs latéraux.

Bourre : amas de fibres textiles (laine, déchets textiles, matières souples et compressibles) souvent sous forme de poils ou de brins. C'est la partie la plus grossière de textiles avec laquelle on fabrique des fils ou étoffes ou qui peut servir à remplir une enveloppe de tissu, une cavité.

Chanvre : fibre textile naturelle issue de la tige du Cannabis.

Coir : fibre textile naturelle provenant de la coque de la noix de coco.

Confection : procédé d'assemblage des différentes pièces pour former un article textile, l'étape de confection peut comprendre la découpe des différentes pièces.

Convertissage : Procédé de découpe par écrasement des filaments surtout le polyester et le polyamide.

Craquage : procédé de découpe par étirement des filaments, surtout la viscose et l'acrylique.

Débouillissage : procédé d'ennoblissement qui consiste à nettoyer chimiquement une matière textile naturelle pour la débarrasser des impuretés végétales qu'elle contient.

Découpe : étape de découpage d'une pièce textile qui sera intégrée dans un article complet.

Écru : couleur d'un textile qui n'a pas encore été blanchi. C'est un blanc tendant vers le gris et légèrement vers le jaune.

Encollage : enduction des fils de chaîne sur le métier à tisser pour les protéger des frottements lors et éviter les ruptures lors du tissage.

Enduction : dépôt d'une micro épaisseur d'une substance chimique quelconque qui apporte de nouvelles propriétés à l'étoffe par exemple l'imperméabilité.

Ennoblissement : suite d'opérations sur une étoffe ou matière textile qui servent à donner certaines caractéristiques au produit fini. Il peut s'agir d'opérations mécaniques ou chimiques et contient en général le pré traitement, la teinture ou l'impression, le post-traitement et les apprêts.

Ensimage : opération qui consiste à enrober les fils d'un lubrifiant pour le protéger lors des frottements durant les opérations de filage/filature.

Étoffe : surface textile formée par l'enchevêtrement de fils ou fibres, obtenue par tissage, tricotage, tressage ou « non-tissage ».

Feutre : étoffe faite de poils d'animaux agglomérés ensemble par pression et ébouillantage.

Fibre : 1) terme générique désignant une matière textile 2) élément textile de longueur limitée (quelques mm à quelques dizaines de cm) et de section beaucoup plus faible.

Fil : élément textile de très grande longueur constitué de filaments continus ou/et de fibres discontinues.

Filage : extrusion par voie fondue ou en solution permettant de transformer un polymère en filaments.

Filament : élément textile de très grande longueur et de faible section.

Filature : étape de fabrication du fil à partir de fibres longues ou courtes.

Impression : procédé de décoration d'une étoffe, après la fabrication de celle-ci. On distingue l'impression fixé-lavé, l'impression pigmentaire, l'impression par transfert, l'impression par jet d'encre. Pour les deux premières, une pâte colorée est déposée à l'aide de cadres ou rouleaux (1 par couleur) ; pour l'impression transfert, de l'encre est déposée sur un papier, puis transférée sur le tissu par chaleur et pression.

ITMA : International Textile Manufacturers Association.

Jauge : sur un métier à tricoter, nombre d'aiguilles par unité de longueur, généralement le pouce anglais, chaque aiguille gérant une colonne de mailles.

Jute : fibre textile naturelle issue de la plante *Corchorus capsularis*.

Maille : élément unitaire d'un tricot ; on distingue la maille cueillie et la maille jetée (Cf. tricotage et procédés § « armures »).

Moulinage : opération qui consiste à tordre et/ou à assembler un ou plusieurs fils ou filaments.

Mercerisage : opération qui consiste à traiter une étoffe de coton (cellulose) à la soude caustique afin d'améliorer les caractéristiques physicochimiques des fibres.

Non-tissé : surface textile obtenue 1) par liage de fibres par voie mécanique (aiguilletage), voie hydraulique (jets d'eau), thermique ou chimique 2) par voie directe par extrusion de filaments (meltspun ou melt-blown).

Nylon : matière plastique polyamide, utilisée souvent sous forme de filament.

Patron : modèle servant à tailler/ découper des pièces de vêtements ou d'articles d'ameublement.

Polyamide : polymère contenant la fonction amide $N-H-C=O$, résultant de la réaction d'un acide et d'une amine.

Ramie : plante textile de la famille des orties utilisée pour la production artisanale. 6 000 ans d'utilisation en font l'une des plus anciennes plantes textiles utilisées.

Retordage : opération qui consiste à assembler par torsion plusieurs fils.

Rouissage : procédé de dissociation des parties fibreuses de la plante par élimination de la pectose qui soude les fibres à la partie ligneuse.

Sisal : fibre textile extraite de la tige de la plante de sisal.

Soie : fibre naturelle d'origine animale avec laquelle on confectionne des tissus très prisés.

Teinture : opération qui permet de changer la couleur d'un matériau par immersion dans un bain contenant un colorant.

Texturation : transformation de fils continus, visant entre autre, à leur donner un aspect de fibres naturelles.

Tex : unité de masse linéique pour les fibres et les fils correspondant à 1 gramme par kilomètre.

Tissage : procédé d'entrecroisement perpendiculaire de deux séries de fils : la chaîne, parallèle à la longueur de la pièce, et la trame, parallèle à la largeur du tissu. Les deux réseaux se bloquent mutuellement, d'où une bonne stabilité dimensionnelle (cf. procédés, § « armures »).

Tricotage : procédé d'entrecroisement curviligne de fils. On distingue le tricotage à mailles cueillies, l'entrecroisement évoluant en rangs parallèles à la largeur de la pièce, et le tricotage à mailles jetées ou entrecroisement de colonnes de mailles qui évoluent selon la longueur de l'étoffe (cf. procédés, § « armures »).

Viscose : ou rayonne, fibre artificielle transparente issue de l'extraction de la cellulose du bois.

Introduction

L'étude EIPRO (Tukker et al. 2006) a montré que les textiles sont responsables de 2 à 10% des impacts sur l'environnement générés par la consommation privée. Ainsi, d'après cette étude le secteur de l'habillement consomme 7% de l'énergie primaire consommée par l'ensemble des produits de consommation sur leur cycle de vie. Cette étude a été réalisée à partir de données d'imports/exports et de résultats d'Analyses du Cycle de Vie sur ces produits de consommation. L'Analyse du Cycle de Vie (ACV) est une méthode normalisée qui permet d'évaluer la performance environnementale d'un produit ou d'un service en considérant l'ensemble des étapes du cycle de vie du produit (approche multi-étape) ainsi qu'un ensemble d'indicateurs d'impact (approche multicritère).

Ces dernières années, les législations dans le domaine du textile et de l'environnement se sont multipliées. La directive IPPC a obligé les industriels Européens à limiter leurs émissions dans le sol, l'air et l'eau (European parlement 2008). La directive REACH oblige les distributeurs Européens à recenser les produits chimiques présents dans le produit fini. En France, depuis 2008, il y a obligation pour les metteurs en marché d'articles textiles de contribuer à la collecte et au traitement des déchets issus de ces articles (Article L541-10-3 du Code de l'Environnement). Les distributeurs seront probablement bientôt soumis à l'affichage environnemental sur les textiles basé sur l'Analyse du Cycle de Vie, projet du Grenelle de l'environnement (Grenelle environnement 2011). La politique européenne en matière d'environnement vise de plus en plus à considérer l'ensemble du cycle de vie des produits (Communication on Integrated Product Policy (COM (2003)302) pour minimiser leur impact environnemental et fonde une grande partie de leurs orientations sur l'Analyse du Cycle de Vie.

Un besoin significatif de développement de données et de méthodologies adaptées à la réalisation d'ACV dédiées au secteur du textile a été identifié. Cette thèse a pour vocation de développer les outils nécessaires à l'évaluation de l'impact environnemental des produits textiles qui devraient permettre autant aux centres de recherche qu'aux fabricants et distributeurs de réaliser des ACV à des niveaux de granulométrie différents.

Bureau Veritas CODDE, centre d'expertise en Analyse du Cycle de Vie et écoconception, s'est associé au Laboratoire GENie et Matériaux TEXTile (GEMTEX) pour la réalisation de cette thèse dont l'objectif était de développer une base de données et une interface textile associées au logiciel d'Analyse du Cycle de Vie : EIME. A l'origine, le logiciel EIME a été développé pour réaliser des ACV de produits électriques et électroniques. La nouvelle interface et la nouvelle base de données EIME-Tex auront pour objectifs principaux d'être adaptées au contexte spécifique des produits textiles. Ces dernières devront présenter des facilités d'utilisation pour pouvoir être utilisée aussi bien par des distributeurs ou des fabricants et se conformer aux recommandations de la plateforme internationale sur l'ACV : ILCD.

Les travaux réalisés au cours de cette thèse se présentent par les étapes suivantes.

Il convient dans un premier temps, de recenser toutes les informations et les connaissances nécessaires à l'ACV textile (études et méthodes existantes, avantages et limitations). Dans le premier chapitre, l'état de l'art en matière d'études environnementales sur les textiles est présenté. Cette bibliographie a pour objectif de décrire le cycle de vie des textiles en passant en revue les différentes études environnementales publiées sur le sujet. Il ne s'agit pas de recenser toutes les sources bibliographiques utilisées pour réaliser la base de données, mais plutôt, de faire l'inventaire des études qui ont permis de mieux connaître les impacts environnementaux de différents maillons de la chaîne textile.

Ensuite, il est nécessaire de structurer l'ensemble des informations, notamment celles concernant les inventaires de cycle de vie, de manière à fournir les briques de base permettant une modélisation modulaire de produits textiles. Les caractéristiques particulières de ces produits et de leurs phases de fabrication (diversité de processus pour l'obtention de produits équivalents, extension géographique de la chaîne de production, etc.) ont mis en défaut le modèle usuel de décomposition du produit sous forme d'assemblage de composants unitaires. Dans le deuxième chapitre, la méthodologie de création des inventaires de cycle de vie proposée est expliquée. Un zoom sur l'étape de modélisation d'un processus élémentaire est effectué pour répondre à certaines problématiques spécifiques à l'ACV. Ensuite, différents processus élémentaires de filature sont évalués pour illustrer les problématiques de modélisation soulevées précédemment. Finalement, le format de documentation et le protocole de validation établis pour le développement de données sont présentés. Dans cette partie sont citées les sources purement méthodologiques sur la réalisation d'Analyses du Cycle de Vie. L'application de cette méthodologie a permis de constituer la base de données textile.

Le troisième chapitre se concentre sur la manière d'exploiter cette base pour la réalisation de l'ACV. La méthode de modélisation du cycle de vie d'un produit de consommation textile est présentée. Les outils de modélisation du cycle de vie sont présentés en premier : la base de données, le fichier de collecte (alimentation de la base) et l'interface de design (exploitation des données). Ensuite, les méthodes de modélisation des différentes phases du cycle de vie sont présentées par ordre chronologique : la fabrication, la distribution, l'utilisation et la fin de vie. Le système de classification initial des données a été étendu pour permettre l'intégration des modules textiles.

Dans le quatrième chapitre, les perspectives de développement de la base de données, du fichier de collecte et de l'interface sont présentées. La plupart des développements sur la BDD, l'interface ou le fichier de collecte visent à simplifier l'utilisation et la méthode ACV mise en place. Ces simplifications présentent des enjeux particuliers.

1 L'état de l'art des études environnementales liées au secteur textile

Ce chapitre est un état de l'art en matière de recherches sur l'impact environnemental des différentes phases du cycle de vie des textiles. La plupart des Analyses du Cycle de Vie (ACV) réalisées à ce jour, sur les produits textiles sont référencées dans ce chapitre ainsi que les études environnementales sur le secteur textile. Les Inventaires de Cycle de Vie (ICV) mentionnés dans cette partie peuvent être considérés comme des livrables d'une ACV. En pratique, un ICV est un inventaire des flux de matières et d'énergies entrant et sortant pour un système donné correspondant à une étape du cycle de vie. Cet inventaire sert de base à la réalisation d'une Analyse du Cycle de Vie (ACV), les sets ICV sont décrits plus en détail dans le chapitre 2.

Une part importante de la bibliographie sur le textile et l'environnement décrit l'ensemble du cycle de vie de différents produits textiles. Ces études offrent une vision complète de la chaîne textile et font ressortir les aspects environnementaux significatifs sur le cycle de vie du produit textile (Blackburn et Payne 2004; Julian Allwood et al. 2006). Boufateh (Boufateh et al. 2007; Boufateh 2011), Allwood (J. Allwood et al. 2008) et Dahllöf (Dahllöf 2004a) montrent la complexité de la chaîne de distribution textile. Le cycle de vie textile est divisé en quatre grandes phases : la fabrication, la distribution, l'utilisation et la fin de vie (voir Figure 1). Chacune de ces phases se déroule en différentes étapes correspondant à des industries ou secteurs spécifiques. Par exemple, l'agriculture du coton dans la phase de fabrication, ou le lavage d'un article textile dans la phase d'utilisation font appels aux technologies de deux secteurs industriels très différents. Chaque secteur est tout d'abord décrit d'un point de vue général et ses différentes modélisations environnementales sont ensuite présentées.

La première partie traite de la production des matières premières, la deuxième partie décrit les étapes de fabrication des textiles. La troisième partie décrit la phase de distribution des textiles. La quatrième partie traite de l'utilisation des textiles et des problématiques liées à la modélisation de cette phase du cycle de vie. La dernière partie présente la fin de vie des textiles. La phase de fin de vie est majoritairement décrite dans un cadre Français (ADEME and RDC-Environnement 2009) ou Européen (Directorate General Joint Research Centre JRC and European Commission 2007).

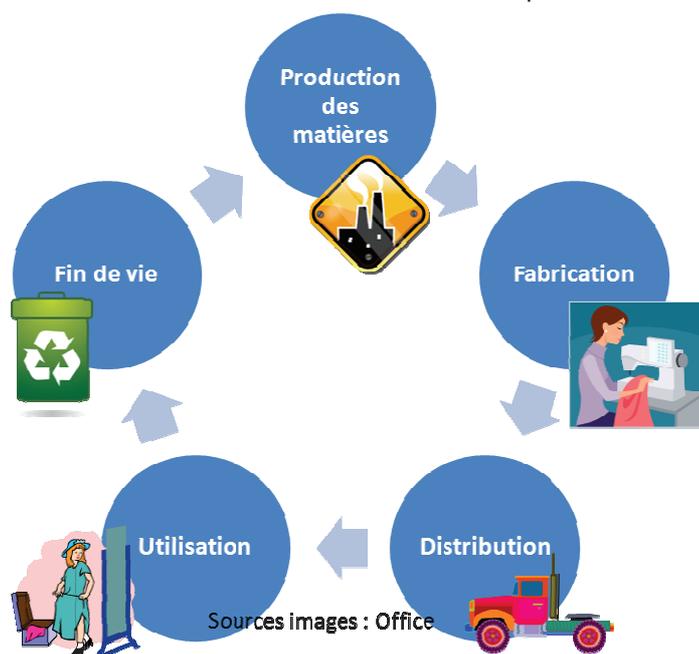


Figure 1 - Cycle de vie textile

1.1 La production des matières premières

Le textile utilise un grand nombre de matières premières. La Figure 2 classe les fibres les plus utilisées en fonction de leur origine.

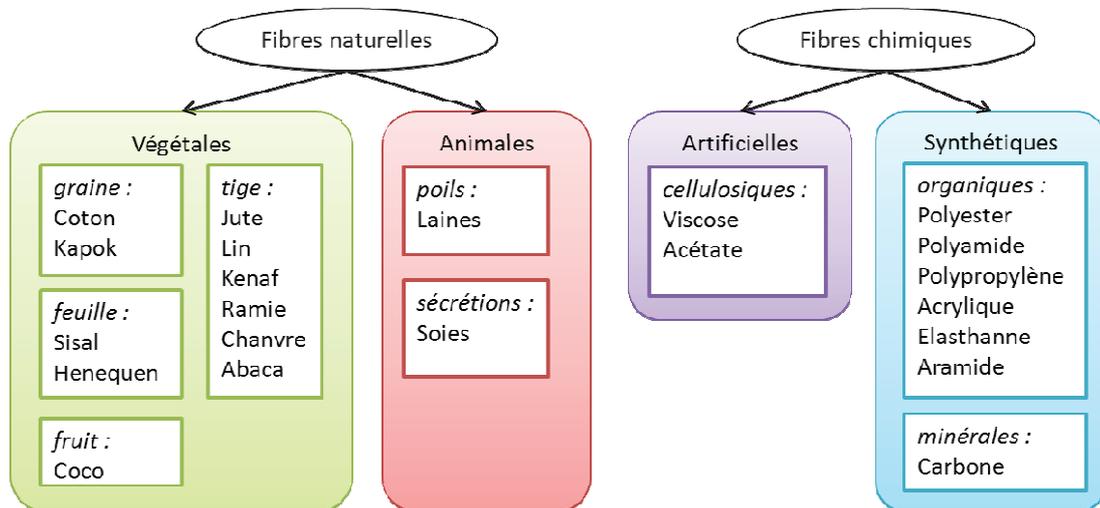


Figure 2 - Classification des fibres textiles

La Figure 3 donne les productions en fibres et filaments pour l'année 2009. Ces données sont issues d'un rapport réalisé à partir de données provenant de plus de 64 organisations et industriels internationaux (Babacan et al. 2010), d'un congrès sur les fibres naturelles (van Dam 2009) et de l'association européenne des fabricants de fibres synthétiques (Houte et al. 2011).

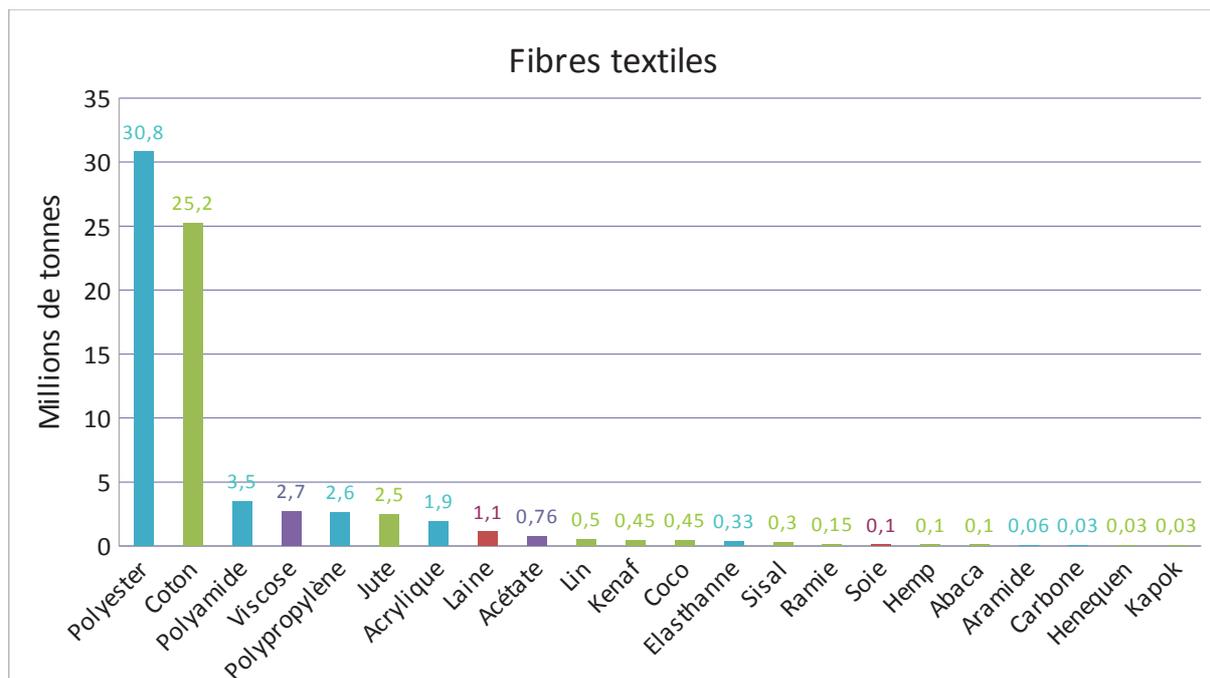


Figure 3 - Production des fibres textiles en 2009 (code couleur figure 1)

D'après la figure 3, le polyester, le coton, le polyamide, la viscose, le polypropylène, le jute et l'acrylique constituent plus de 90% de la production mondiale de fibres. La laine, l'acétate le lin et la soie sont très présents dans certains vêtements usuels d'après une étude sur les compositions en matières premières des vêtements (Dias et al. 2009). En conséquence, l'impact de la production de ces fibres a aussi fait l'objet de recherches bibliographiques. D'autre part, comme le chanvre, le coton biologique et le lin biologique sont souvent présentés comme des fibres écologiques, l'impact de leur production a également été considéré. Cependant la production de coton biologique représente seulement 0,04% de la production de coton (Kooistra, Termorshuizen, et Pyburn 2006), la production de chanvre tend à augmenter (van Dam 2009) et la production de lin biologique reste très rare.

Les études environnementales sur la production de fibres synthétiques sont listées en premier. Ensuite, les études environnementales sur l'agriculture des fibres végétales sont présentées. En troisième, l'état de l'art sur les études environnementales de la production des fibres artificielles est détaillé. Enfin, l'état de l'art sur la production des fibres d'origine animale est présenté. Les autres productions de fibres : kenaf, coir, sisal, ramie, abaca, aramide, carbone, henequen et kapok n'ont pas fait l'objet de recherches bibliographiques.

1.1.1 Fibres synthétiques : polyester, polyamide, polypropylène, acrylique et élasthanne

L'association Européenne des fabricants de plastiques (APME 2007) et l'association américaine des fabricants de plastiques ont lancé de nombreuses études qui ont permis de dresser des inventaires de cycle de vie (ICV) pour les matières plastiques utilisées dans le textile. Le pétrole importé en Europe est majoritairement extrait des plateformes de la Mer du Nord, de l'Europe de

l'Est et de l'Afrique du Nord (Boustead 205a). Le pétrole importé aux États-Unis vient d'Alaska (Huff et al. 2010). Le reste des transformations a lieu respectivement en Europe ou aux États-Unis. Parmi ces matières, voici celles qui sont utilisées dans le domaine textile :

- le polyéthylène téréphtalate PET ou polyester, (Boustead 2002; Huff et al. 2010)
- le polyamide 6.6 ou Nylon, (Boustead 1997)
- le polyuréthane utilisé dans l'élasthane (Boustead 2005b; Huff et al. 2010). Les fibres d'élasthane sont fabriquées à partir d'un élastomère contenant au moins 85 % de polyuréthane (European Commission 2003a).

- l'acrylonitrile contenu dans l'acrylique, environ 85% (Boustead 2005c)

- le polypropylène (Boustead 2005d; Huff et al. 2010)

Les bases de données ELCD (Directorate General Joint Research Centre JRC et European Commission 2007), Ecoinvent (Swiss Centre for Life Cycle Inventories et Ecoinvent centre 2007) et US NREL (National Renewable Energy Laboratory NREL 2004) ont retravaillé ces données pour proposer des ICV de fibres ou de plastiques dans leur formats propres.

En conclusion, les études environnementales effectuées sur la production de matières synthétiques peuvent être utilisées et exploitées dans le domaine textile, à condition de prendre en considération les bonnes matières et les procédés de transformation en filaments correspondants.

Cependant, ces études portent sur la production de plastiques en Europe et en Amérique. Ces données ne sont pas représentatives de l'extraction du pétrole en Asie, en Russie, ni des procédés de transformations dans ces zones géographiques. Or, 72% des fibres synthétiques provenaient d'Asie en 2010 (Babacan et al. 2010) et l'origine du pétrole ayant servi à fabriquer ces filaments n'est pas précisée. D'autre part, il existe peu d'études environnementales sur la transformation des plastiques en filaments. Quelques données sont disponibles sur l'extrusion du polyester et du polyamide et proviennent d'entreprises européennes (Lauret et Tarrade 2007; PE International 2006). La modélisation d'un procédé dans une autre localisation géographique entraîne des modifications qui seront détaillées dans le chapitre 2.

1.1.2 Fibres artificielles : viscosse et acétate de cellulose

La cellulose constitue la matière de départ pour fabriquer des fibres de viscosse. Le bois contient approximativement 40 à 50 % de cellulose utilisable pour la fabrication de viscosse. Il existe de nombreuses études environnementales sur la production de bois (Althaus, Dinkel, et al. 2007) : parmi elles, les études sur le peuplier, le hêtre et le bois d'eucalyptus, ont servi pour établir des éco-profils de la production de fibres cellulosiques artificielles (Shen et Patel 2010; Lauret et Tarrade 2007; ADEME 1998).

Pour la production de la pulpe de bois et la transformation en fibres, Lenzing International, le plus gros fabricant de fibres artificielles, a publié une étude très complète sur les impacts environnementaux de la production de Viscose, de Tencel et Modal en Chine et en Europe (Shen et Patel 2010). Cependant, Lenzing utilise certains procédés de recyclage des solvants et de l'énergie qui ne sont probablement pas mis en place dans d'autres entreprises ; de plus, les études environnementales sur la production des produits chimiques utilisés sont essentiellement

européennes (Althaus, Chudacoff, et al. 2007). Dans les bases de données ICV, un ICV de la production de viscose en Allemagne est disponible sur Ecoinvent et un autre sur Gabi, mais les productions des autres fibres artificielles ne sont pas disponibles sous forme d'ICV dans les bases de données recensées. D'autre part, ces données sont disponibles sous forme plus ou moins agrégée, il est donc difficile de dissocier le filage et le découpage des filaments en fibres.

En conclusion, l'impact environnemental de la production des fibres artificielles a été évalué dans plusieurs études et l'application ou non de différents systèmes de recyclage des solvants donnent des résultats très différents. Ainsi, différents modèles de procédés de fabrication devront être construits en respectant certaines règles de modélisation du recyclage pour permettre à l'utilisateur de comparer ces systèmes de production.

1.1.3 Fibres naturelles végétales : coton, jute et lin

La modélisation de l'impact environnemental de l'agriculture obéit à certaines règles spécifiques : le prélèvement du CO₂ dans l'air par les plantes, la prise en compte des pesticides (Sutter 2010), la prise en compte des engrais (Nemeçek et Kägi 2007; Zhen et al. 2006). Les impacts de l'agriculture dépendent fortement de la localisation géographique notamment sur la consommation d'eau, la pollution des eaux, l'utilisation d'OGM, la fertilisation des sols et le lessivage des engrais (Audsley et al. 1997; European Commission 2010). D'autre part, l'agriculture inclut la production des graines réutilisées dans les cultures, l'extraction d'huile ou l'alimentation animale ; une part de l'impact de l'agriculture doit être allouée à la production de ces graines. Il n'y a pas de consensus sur ces règles d'allocation.

La culture du coton a été estimée responsable de la consommation d'environ 50% des pesticides dans les pays en voie de développement où il est cultivé (Kooistra, Termorshuizen, et Pyburn 2006). D'autre part, la consommation d'eau est désignée aussi comme un impact potentiel majeur (Julian Allwood et al. 2006; Kooistra, Termorshuizen, et Pyburn 2006). Allwood fait référence à l'assèchement de la mer d'Aral suite au lancement de la culture intensive de coton sur les terres avoisinantes (voir Figure 4). La culture du coton aux États-Unis a également fait l'objet d'évaluations environnementales (Cotton Incorporated 2009; Tobler et Schaerer 2002). Deux ICV sur l'agriculture du coton en Chine et aux États-Unis réalisés à partir des sources ci-dessus sont disponibles dans la base de données Ecoinvent. Dahllöf identifie la culture du coton comme un impact significatif dans les ACV de textiles et identifie des manques de données sur la culture du coton dans certains pays (Dahllöf 2004b). Le coton étant cultivé dans plus de 100 pays dans le monde, une sélection des zones géographiques les plus représentatives de la culture de coton dans le monde devra être effectuée.

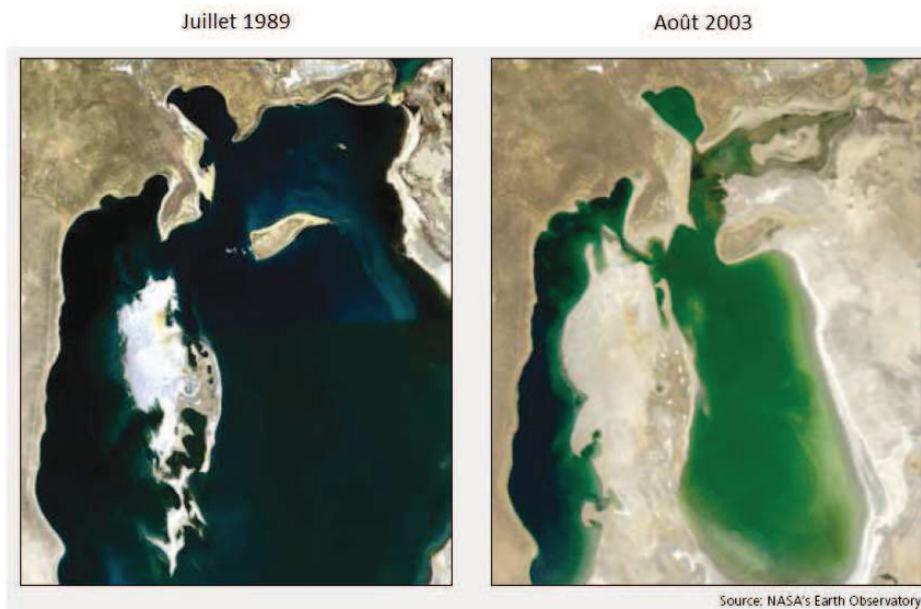


Figure 4 - Assèchement de la mer d'Aral suite au lancement de la culture du coton

L'agriculture du chanvre et du lin en Europe ont également fait l'objet de recherches environnementales (Cherrett et al. 2005; Boutin et al. 2006; Turunen et van Der Werf 2006). La production du lin est moins consommatrice en eau et la production du chanvre nécessite peu de pesticides et peu d'engrais. Ces deux types d'agriculture nécessitent moins d'eau et moins de pesticides que le coton. Pour l'agriculture du jute en Inde on trouve une étude environnementale traduite en ICV dans Ecoinvent (Banerjee 2003; Althaus, Dinkel, et al. 2007). Le jute est essentiellement produit en Inde et au Bangladesh. En revanche, le lin et le chanvre sont également produits en Chine où aucune donnée environnementale n'a été collectée.

Dans différentes études, pour modéliser l'impact de l'agriculture biologique, les impacts des engrais chimiques et de certains pesticides (les phytosanitaires), sont retirés de l'ICV de l'agriculture intensive (Intertek et rdc environnement 2010). Certains auteurs remettent en question ces modélisations, étant donné que la suppression de ces engrais et pesticides et les autres contraintes de l'agriculture biologique, entraînent une diminution du rendement. Par exemple, le rendement du coton biologique est évalué à 60% de celui de l'agriculture intensive (Swezey et al. 2007).

Au vu de ces études, la modélisation de l'agriculture pour l'obtention de fibres naturelles pose des problèmes de représentativité. Les variations d'impacts selon la localisation géographique nécessitent le développement de nouveaux ICV dans les pays assurant une importante production de fibres par agriculture intensive ou biologique tels que la Turquie et l'Inde.

1.1.4 Fibres naturelles animales : laine et soie

Comme l'agriculture, l'élevage suit des règles de modélisations propres. Beaucoup d'études sur l'évaluation de l'impact de l'élevage existent (Steinfeld et al. 2006; Crosson et al. 2011).

Pour la production de laine, différentes Analyses du Cycle de Vie sont disponibles (Eady, Carre, et Grant 2012; Biswas et al. 2010; Nemeček et Kägi 2007). La question vise à répartir les impacts de l'élevage du mouton entre ses différents coproduits. L'essentiel des études portent sur la production de laine de mouton ordinaire. Cependant en fonction de la laine recherchée, les méthodes d'allocations choisies varient (Barber et Pellow 2006). Les valeurs des allocations massiques économiques ou physiques des impacts de l'élevage pour la laine sont comprises entre 13 et 65 % (Intertek et rdc environnement 2010). Ecoinvent propose un ICV de production de laine aux États-Unis avec une allocation physique sur le nombre de bêtes dans un cheptel destinées à produire de la laine par rapport au nombre total de bêtes incluant celles destinées à produire de la viande.

La production de soie n'a pas fait l'objet de recherches environnementales approfondies. Pour prendre en compte l'impact de la production de soie dans leur études ACV, le cabinet Intertek a évalué l'impact de la culture de mûrier pour nourrir le vers à soie (Intertek et rdc environnement 2010). Cependant le vers à soie est tué à la vapeur, le filament est dévidé du cocon, puis il est soumis à un processus de pré-traitement pour éliminer la séricine et d'autres impuretés organiques. L'ensemble de ces traitements ne sont pas pris en compte dans l'évaluation.

Cette bibliographie montre que la prise en compte de l'impact de l'élevage et les diversités d'élevage possibles soulèvent différentes problématiques d'affectations difficiles à solutionner. Cependant, différentes techniques de modélisation présentées dans le chapitre 2 peuvent apporter une réponse à ces questions.

En conclusion, cette bibliographie sur la production des matières premières textiles rassemble un grand nombre de matériaux d'origines très diverses qui devront être classés (chapitre 3). La modélisation environnementale de ces matériaux d'origines diverses nécessite des représentations de systèmes complexes à frontières variables et la mise au point d'un format commun qui permette leur comparaison (chapitre 2).

1.2 La fabrication des produits textiles

Les études environnementales sur le secteur de fabrication textile sont recensées selon les informations qu'elles contiennent sur les différentes étapes de fabrication ou secteurs d'activités. Les différentes étapes de fabrication pour passer de la fibre au produit textile sont présentées dans l'ordre chronologique le plus logique dans la Figure 5.

En premier lieu, l'étape de filature qui regroupe les fibres et/ou filaments pour former du fil est décrite.

Ensuite, les fils ou les fibres sont tissés, tricotés ou liés pour former une étoffe.

L'étape d'ennoblissement qui intervient le plus souvent sur l'étoffe est décrite ensuite. Elle consiste à nettoyer les textiles, les teindre et/ou les imprimer, puis, à les apprêter.

Enfin, à l'étape de confection, les pièces textiles sont découpées et assemblées pour former le produit fini.

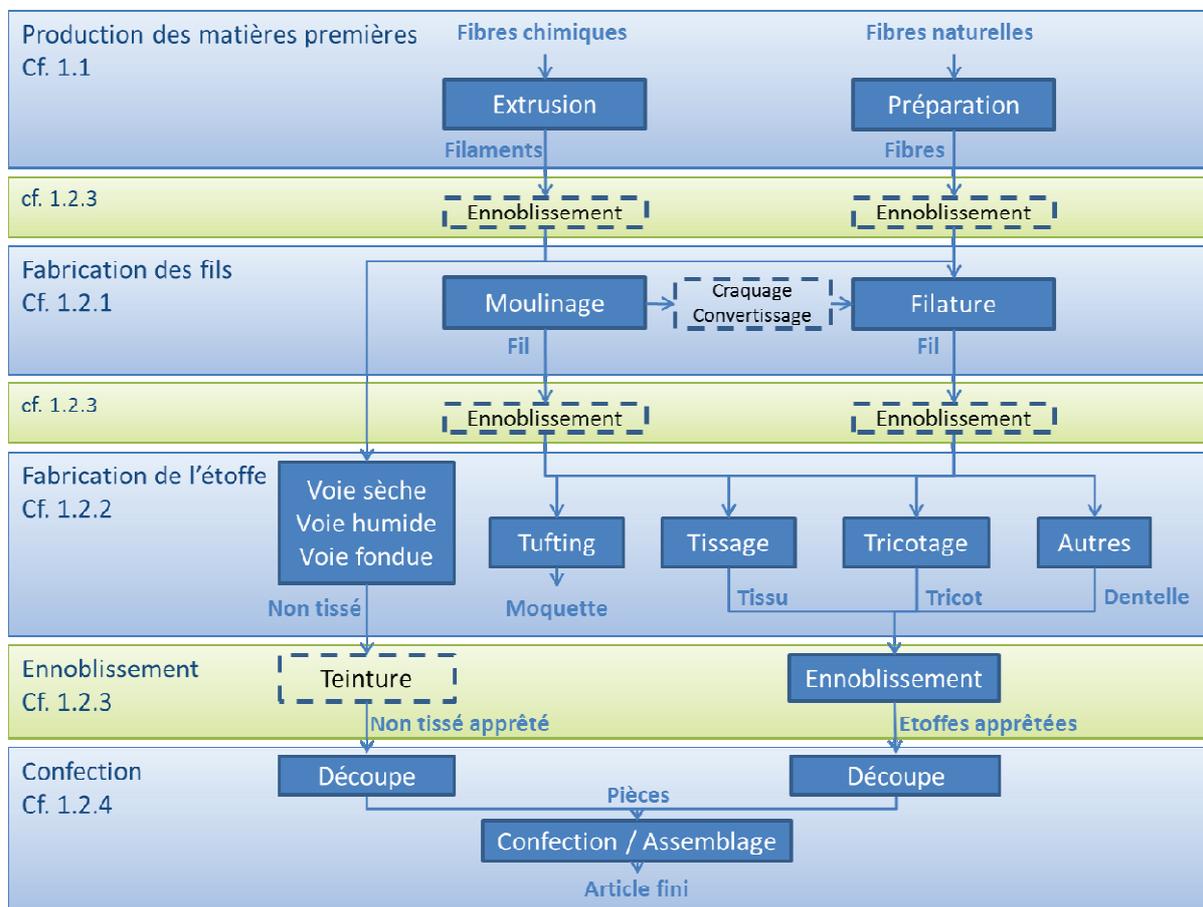


Figure 5 - Fabrication d'un produit textile

1.2.1 Fabrication des fils

On distingue plusieurs techniques de fabrication de fils selon la taille des fibres. Les fibres courtes comme le coton sont assemblées à l'aide de la filature fibres courtes cardée, peignée ou open end. Les fibres longues comme la laine sont assemblées à l'aide de la filature fibres longues cardée ou peignée. Les multi-filaments constituent des fils qui peuvent être texturés ou moulinés. Différents types de fils sont illustrés Figure 6.

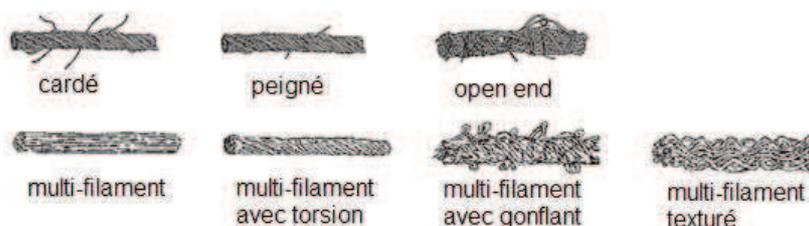


Figure 6 - Différents types de fils de même titre (Tex)

Différentes études environnementales ont évalué plus précisément l'impact de la filature fibres courtes (Laursen et al. 2007; Lauret et Tarrade 2007; Müezzinoğlu 1998). Bien qu'en nette augmentation (Oerlikon Textile GmbH & Co 2010), il n'existe pas encore de données disponibles dans la littérature sur la fabrication des fils multi-filamentaires.

Les différentes études affichent des consommations énergétiques très différentes pour la même technique de filature utilisée. D'autre part, les quantités de lubrifiants introduits varient selon les techniques (European Commission 2003a), la consommation d'énergie varie selon le diamètre du fil obtenu ou les techniques utilisées (Koç, E. & Kaplan, E., 2007). Mais les études citées ne prennent pas en compte l'ensemble de ces variations technologiques.

Cette étape est modélisée en Europe dans les études ACV considérées. Cependant, les statistiques de l'ITMF indiquent que les usines de filature sont réparties dans plus de 23 pays différents (ITMF 2011) : la Chine possède environ 50% des usines de filature.

En conclusion, les efforts de collecte sur cette étape ont souvent été perdus à cause d'un manque de documentation sur les sources et technologies utilisées. La mise au point d'un format de documentation permettra de résoudre cette problématique (chapitre 2). D'autre part la variété des techniques de filature nécessitera la mise à disposition d'un guide méthodologique pour faciliter la modélisation de la phase de fabrication (chapitre 3).

1.2.2 Fabrication de l'étoffe

Il existe quatre techniques principales de fabrication des étoffes : le tissage, le tricotage, le tufting et les non-tissés, voir Figure 5.

Différentes ACV évaluent l'impact de l'étape de tissage (Benessahraoui et al. 2002; E. Kalliala 1997; Althaus, Dinkel, et al. 2007; Levi Strauss et Co. 2009). Ces ACV proposent des chiffres très disparates sur la consommation énergétique lors du tissage allant de 2,6 MJ par kg de tissu produit (Wiegmann 2002) à 86 MJ par kg de tissu produit (Payet 2011). L'armure, les produits d'encollage, la masse surfacique du tissu, le type de métier à tisser utilisé sont autant d'éléments qui varient lors du tissage (European Commission 2003a). Ces éléments pourraient expliquer les différences ; mais les études considérées ne précisent pas les caractéristiques du tissu considéré. De plus, on retrouve des usines de tissage dans plus de 23 pays différents (ITMF 2011) et les études ne prennent pas en considération ces éventuelles variations.

Pour le tricotage, deux ACV européennes donnent quelques données sur cette étape (Laursen et al. 2007; Lauret et Tarrade 2007). Les consommations énergétiques relevées sur le tricotage sont assez faibles par rapport aux autres techniques de fabrication des étoffes. Cependant, comme pour le tissage, les consommations énergétiques doivent varier selon la machine à tricoter utilisée, selon la jauge du tricot fabriqué (masse surfacique) et selon l'effet recherché maille fine ou grosse maille (European Commission 2003a). Les statistiques ITMF indiquent que le tricotage a pour la plus grande partie lieu en Asie.

Pour les non-tissés, aucune étude environnementale n'est disponible sur le sujet, c'est une technologie de fabrication nouvelle à grande vitesse de production. Les possibilités d'entretien sur ces textiles dépendent de la technologie de fabrication et le plus souvent ces produits ne sont pas lavables. Ainsi, la phase de production devrait potentiellement contribuer significativement à l'impact environnemental du produit sur son cycle de vie. Une étude environnementale sur la phase de production est donc à envisager.

Pour la fabrication des revêtement de sols, différentes études comparent du linoléum, du revêtement vinylique (Jönsson, Tillman, et Svensson 1997), de la moquette en polyamide et un tapis en laine (Blok and Potting 1996). Pour les consommations énergétiques la moquette en polyamide et le tapis en laine sont les moins performants. La production du revêtement vinylique est à l'origine de la plus grosse production de déchets dangereux. Dans l'étude d'Allwood la moquette est fabriquée en Angleterre et peu de données sont disponibles à ce sujet (Julian Allwood et al. 2006). L'ACV sur la moquette de Laursen identifie des manques de données sur les étapes de fabrication (Søren Ellebæk Laursen et al. 2007).

En conclusion, la modélisation environnementale de ces différentes techniques de fabrication permettrait de relever les problématiques inhérentes à chaque secteur, mais aussi de comparer les impacts entre différentes techniques de fabrication parfois substituables les unes aux autres selon l'unité fonctionnelle considérée.

1.2.3 Ennoblement

L'ennoblement peut intervenir à différentes étapes de la fabrication : après le traitement de la bourre, après le bobinage des fils, ou sur le tissu ou l'article fini (voir Figure 5). L'ennoblement textile fait intervenir l'utilisation d'un grand nombre de produits chimiques et c'est donc une des industries qui rejette les effluents aqueux les plus pollués (European Commission 2003b).

Par conséquent, les usines d'ennoblement textiles en Europe ont été obligées de se mettre en conformité avec certaines pratiques environnementales suite à l'application de la directive IPPC (European parliament 2008). Dans ce cadre, Kalliala a comparé différents procédés de teinture en Finlande par rapport à leur consommations énergétiques, en produits chimiques, et à la pollution des effluents (E. Kalliala et Talevenmaa 2000). Au Danemark, Lodahl a aussi publié une étude sur l'impact environnemental de la teinture du coton avec des colorants réactifs, un des procédés de teinture les plus utilisés dans le monde (Soren E. Laursen et al. 2002). Enfin, la commission Européenne a publié les résultats de plusieurs collectes de données environnementales sur une dizaines d'entreprises d'ennoblement Belges et Italiennes pendant 5 ans de 1995 à 2001 (Depur et Andreoli 2003; de Vreese, ENEA, et CENTEXBEL 2004; European Commission 2003b). Les données suivantes ont été collectées : les consommations d'électricité, les effluents et la pollution des effluents, la consommation d'eau et de matières premières pour les étapes de prétraitement, de teinture et d'impression et de post-traitement. Ce rapport est une des sources d'informations citées pour l'établissement du guide des meilleures technologies disponibles dans le textile (European Commission 2003a) et pour les ICV d'ennoblement de la base de données Gabi (PE International 2006). Différentes études environnementales ont également été publiées pour valoriser l'utilisation de meilleures technologies disponibles (MTD) (Otsuki et Raybin 2010; Pasquet et Pesnel 2012). Cependant, toutes ces technologies ne sont pas encore implémentées dans l'industrie car relativement nouvelles.

Pour répondre aux mêmes problématiques que celle de l'IPPC (European parliament 2008), en Australie, l'agence de protection environnementale a publié un rapport sur les usines nationales de teinture et traitement des textiles (Robinson 1998). Ce rapport identifie les sources de pollution de l'air et de l'eau, les sources de production des déchets et les sources de consommations énergétiques et peut servir de base pour l'établissement d'un fichier de collecte. En Caroline du Nord, Smith a écrit un rapport identifiant les sources de pollution de l'ennoblement textile (Smith 1986). Au Canada, différentes études environnementale sur différentes technologies d'ennoblement et leur mise en pratique ont été publiées (Marbek Resource Consultants 2001; CIPEC 2006).

En Chine, d'après des rapports de Green Peace la plupart des usines d'ennoblement chinoises rejettent directement les effluents dans le milieu sans les traiter (Casper et al. 2011; Choi et al. 2010). Or, d'après les statistiques de l'ITMF, les étapes d'ennoblement ont surtout lieu dans les pays asiatiques (Inde, Chine, Bangladesh) ou dans des pays en voie de développement (Pakistan, Égypte, Brésil).

En conclusion, des manques de données environnementales sont identifiés sur l'étape d'ennoblement : peu de données sur l'ennoblement sont disponibles dans les principaux pays

concernés (ITMF 2011) et peu d'études prennent en considération la fabrication des produits auxiliaires textiles ou des apprêts (solutions chimiques qui servent à ajouter des propriétés aux textiles : colorants, agents hydrophobes, hydrophiles, adoucissants, etc...). La méthodologie proposée au chapitre 2 permettra de traiter les problématiques de localisations géographiques et de prendre en compte les données environnementales manquantes pour une analyse complète.

D'autre part, au vu des études citées ci-dessus, l'étape d'ennoblissement des matières textiles est une des étapes de fabrication les plus complexes car elle rassemble un grand nombre de technologies et peut avoir lieu à différents moments sur la chaîne de fabrication. Le guide méthodologique présenté au chapitre 3 propose une vision plus structurée de cette étape qui facilitera sa modélisation environnementale.

1.2.4 Confection

L'étape de confection consiste en l'assemblage des différentes pièces du produit, accessoires compris. Le plus souvent, les différentes pièces ont besoin d'être découpées puis attachées ensembles.

Pour la découpe des étoffes, des machines de découpe laser, manuelles ou électriques sont disponibles (ITMA 2011). Les ACV indiquent des pertes importantes de matière à cette étape : Levi's compte 22% de perte de tissu lors de la découpe des différentes pièces d'un jean (Levi's 2011). Le type de machine utilisée détermine la consommation énergétique à cette étape. Le type de pièce à découper : le patron sélectionné, détermine les pertes.

Ensuite, les pièces sont le plus souvent cousues ensembles, parfois collées. Comme indiqué par Payet les consommations énergétiques dépendent en grande partie du type d'article fabriqué : temps de couture, nombre de pièces à assembler (Payet 2011).

Dans les ACV de textiles, une seule consommation énergétique est précisée pour la confection incluant la découpe et la couture. Ceci pose problème étant donné que les pertes sont à appliquer au procédé de découpe uniquement et non au procédé d'assemblage également.

Pour les étapes de confection du jogging, de la blouse, du T-Shirt et de la veste de travail, Ediptex identifie des manques de données sur les consommations énergétiques (Søren Ellebæk Laursen et al. 2007). Intertek indique des consommations entre 1,33 et 21,6 MJ par kg d'articles confectionnés (Intertek et rdc environnement 2010). Cycleco indique des consommations énergétiques entre 0,72 et 6,84 MJ par article (Payet 2011). Pour expliquer ces variations, il faut savoir que certains sites de confection reçoivent les pièces prédécoupées, auquel cas les consommations énergétiques ne prennent pas en compte le découpage des pièces. De plus, le choix des machines et le temps d'assemblage peut avoir une influence sur les consommations. Pour l'assemblage des différentes pièces, il paraît plus logique d'évaluer la consommation énergétique par article plutôt que par kg de matière, étant donné que l'unité fonctionnelle se rapporte à un article et non pas à une masse de textile en kg.

En conclusion, l'application des pertes matières à l'étape de confection révèlent des problématiques de choix du flux de référence par rapport à l'unité fonctionnelle (notions définies dans le chapitre 2). Le chapitre 3 clarifie la méthode à appliquer pour la prise en compte des pertes de fabrication.

D'autre part, les différences de consommations énergétiques s'expliquent probablement par l'utilisation de technologies différentes mais le manque de documentation sur les sources et la collecte rendent l'exploitation des données impossible. Ces problématiques sont traitées dans le chapitre 2 avec la conception d'un format de documentation des données environnementales.

Cette première partie de la bibliographie sur les étapes de production de matières premières et de fabrication met en évidence l'étalement géographique de la filière de production textile. Les distributeurs font appel aux fournisseurs qui proposent les prix les plus faibles. Ce phénomène est à l'origine de la délocalisation des industries textiles européennes. Cet étalement géographique complexifie la représentation de la phase de fabrication dans l'ACV et cette problématique est traitée dans les chapitres 2 et 3.

1.3 Distribution

La distribution prend en compte les transports et le stockage du produit depuis la sortie du dernier site de fabrication jusqu'à la vente au consommateur final en magasin. La distribution inclut les dernières étapes de transports et l'emballage du produit. Dans la bibliographie, les impacts des étapes de transports amont et aval sont présentés ensemble. Alors pour des raisons pratiques, les problématiques des transports et des emballages en général seront traitées dans cette partie.

1.3.1 Les transports

Les moyens de transport utilisés dans le textile sont les camions, les avions, les bateaux et les trains. La plupart des études environnementales sur les transports viennent de sources allemandes, les ICV sur ELCD viennent essentiellement d'une source allemande retranscrite en ICV par PE (PE International 1990), les données d'ICV sur Ecoinvent viennent des mêmes sources (Spielmann et al. 2007). L'institut de Recherche en Énergie et en Environnement, Ifeu, basé en Allemagne a mis au point un logiciel de calcul des impacts environnementaux dûs aux transports (Knörr et al. 2011). L'ifeu a exploité les sources suivantes : Keller 2004; Sjöbris, Gustafsson, et Jiven 2005; Rexeis et al. 2005; Swiss Centre for Life Cycle Inventories et Ecoinvent centre 2007; Umweltbundesamt (UBA) et German Environmental Protection Agency 2007.

Dans les ACV de vêtements, la part de l'impact des transports est évaluée à moins de 10% pour la plupart des impacts du cycle de vie (Laursen et al. 2007; Julian Allwood et al. 2006; Levi Strauss et Co. 2009) ; hormis pour la création d'ozone photochimique, où la part des transports est évaluée entre 16 et 40% (Søren Ellebæk Laursen et al. 2007). Cependant, comme la fabrication est modélisée en Europe dans la plupart des études citées ci-dessus, les étapes de transport amont sont considérablement sous-estimées par rapport à une production hors territoire Européen.

Les transports du consommateur de son domicile jusqu'au magasin sont comptabilisés dans certaines études. Dans Ediptex par exemple, le consommateur conduit sa voiture jusqu'en ville pour acheter 1 jogging et 5.294 kg d'autres produits. La distance est estimée à 10km et la voiture consomme 1L tous les 12km (Søren Ellebæk Laursen et al. 2007). Cela correspond à l'utilisation d'une constante de modélisation ou donnée par défaut et permet d'alléger le travail de collecte.

En conclusion, l'impact des transports n'est pas souvent identifié comme un enjeu significatif ; cependant, pour certains indicateurs, les transports contribuent de façon non négligeable à l'impact et doivent être pris en compte. Une modélisation plus exacte de l'étalement géographique des industries de fabrication textile pourrait révéler une contribution plus importante du transport. Les chapitres 2 et 3 présentent comment le travail de collecte et de traitement de ces données peut être allégé.

1.3.2 Les emballages

Les emballages et accessoires suivants sont utilisés pour les articles textiles : antivols, étiquettes, cintres, cartons de formage, sacs, etc.

Pour les étiquettes et les emballages papiers, l'association européenne des fabricants de carton a lancé des études environnementales sur un grand nombre de cartons pour en extraire des ICV (FEFCO 2006). La source principale de ces inventaires de cycle de vie vient d'un projet allemand (Habersatter et al. 1998).

Pour les sacs, les cintres et les antivols, les études prennent juste en considération la production des matières premières. Un rapport sur les emballages rédigé par Hischier fait l'inventaire des matières premières utilisées dans les emballages (Hischier 2007). Les procédés de transformation des matières premières en sac, antivols et cintres : extrusion, gonflage et impression du sac ne sont pas comptabilisés.

Dans les ACV, les emballages primaires, tertiaires et secondaires sont différenciés : l'emballage de vente constitue l'emballage primaire ; l'emballage secondaire est l'emballage conçu de manière à réunir au point de vente un certain nombre d'articles. L'emballage tertiaire est l'emballage de transport (souvent une palette et une housse plastique regroupant des lots de produits). Dans les études ACV considérées, les emballages tertiaires ne sont pas pris en compte.

Selon le système d'approvisionnement en antivols et en cintres, les antivols et les cintres peuvent n'être utilisés qu'une seule fois par article puis envoyés dans des filières de fin de vie. Aucune étude comparative n'est disponible sur les différents modes d'utilisation de ces accessoires.

En conclusion, l'impact de fabrication des matières premières des emballages est très souvent comptabilisé dans les ACV, cependant, aucune méthode de modélisation de l'utilisation de ces emballages n'est proposée. Le chapitre 3 présente comment l'utilisation des emballages peut être modélisée sans trop alourdir le travail de collecte de données et détermine dans quelle mesure cette prise en compte permet d'identifier de nouvelles pistes d'éco-conception.

1.3.3 Le stockage et invendus

Les études répertoriées à ce jour n'ont pas pris en compte les impacts liés à l'infrastructure des centres de stockage, ni aux invendus ; seules les étapes de transport d'une étape de stockage à l'autre sont prises en compte. Cependant, selon l'étude publiée par Sanders, les invendus aux étapes de stockage correspondent à 30% de pertes économiques (Sanders GmbH 2000). Dans la réalité, la majorité de ces invendus sont donnés ou vendus à un prix symbolique à des associations caritatives. Cependant, l'article invendu n'est pas utilisé dans les mêmes conditions que l'article payant puisqu'il

n'est pas associé à une valeur monétaire et que le marché de la friperie caritative est saturé (Perrin 2005; Fodouop 2005).

Dans ce cadre, la prise en compte des invendus nécessiterait l'application d'une affectation sur des critères économiques des impacts de la fabrication de 30% des articles. Le chapitre 2 présente différentes règles de modélisation sur les affectations ou transferts d'impact. Ce chapitre permet de mieux comprendre les enjeux d'une affectation des impacts par le critère économique.

1.4 Utilisation

La plupart des ACV textiles d'habillement identifient la phase d'utilisation comme étant à l'origine des impacts environnementaux les plus importants. Pour l'indicateur de réchauffement climatique par exemple, la part de l'utilisation est évaluée à : 38% (Soverini, Pariset, et Cabinet BIO IS 2008), 40% (Labouze, Le Guern, et des Abbayes 2006), 58% (Levi Strauss et Co. 2009), entre 50% et 82% (Søren Ellebæk Laursen et al. 2007) selon le textile et les hypothèses choisies. Selon l'utilisation finale du textile : moquette, couches jetables (textile non-tissé), habillement, les conditions d'utilisation ne sont pas les mêmes.

1.4.1 La fin de vie des emballages

Dans le domaine des études environnementales sur le cycle de vie des textiles, peu d'études mentionnent la fin de vie des emballages. Cette absence de données peut s'interpréter de différentes façons : soit, la fin de vie des emballages n'est pas prise en compte dans les modélisations ; soit la fin de vie des emballages est prise en compte mais contribue de façon négligeable à l'impact du cycle de vie complet. Étant donné le peu de données d'ICV disponibles et l'absence de résultats sur la part de l'impact des emballages dans le cycle de vie des textiles, la première option est la plus probable. Une autre problématique de la modélisation de cette étape, à l'heure actuelle, est que seuls les impacts associés au traitement global des déchets sont déterminés, pour un déchet spécifique, les centres de traitements ne fournissent aucune donnée.

1.4.2 Durée de vie

Depuis deux ou trois ans, différents auteurs ont mis en évidence l'apparition sur le marché d'un nombre croissant d'articles de mauvaise qualité. Les fournisseurs contraints de répondre à des demandes de production à faible coût produisent donc des articles de faible qualité. D'un point de vue général, Niinimäki explique que l'obsolescence programmée des textiles a des conséquences sur l'environnement (Niinimäki et Hassi 2011). Plusieurs Analyses du Cycle de Vie (ACV) de produits textiles ont montré que prolonger la durée de vie d'un textile permet de diminuer l'impact environnemental sur une même durée d'utilisation. Le projet CEIDDOCT étudie l'influence de la durabilité d'un T-shirt en coton sur différents indicateurs d'impacts environnementaux tels que le réchauffement climatique et l'acidification de l'air (Lettland, Kærsgaard, et Andersson 1997). Cette étude montre que, pour un impact environnemental égal au cours de la phase de production, plus la

durée de vie du T-shirt augmente plus son impact sur l'environnement diminue. De même, Allwood montre que garder et porter un vêtement plus longtemps réduit l'impact environnemental sur son cycle de vie (Julian Allwood et al. 2006). Une autre étude montre que malgré un supplément d'impact environnemental généré par la phase production (dans une certaine limite) le produit de plus longue durée de vie est plus écologique que celui avec une courte durée de vie (Pesnel et Perwuelz 2009).

D'une étude à l'autre, les hypothèses sur la durée de vie des vêtements sont très variables. Laursen considère que le T-shirt peut être lavé 50 fois durant sa vie, Allwood 25 fois. Labouze considère que le jean résiste à 100 lavages. Kalliala considère que le drap de lit résiste à 60 lavages. Lettland évalue la durée de vie du T-shirt à 75 lavages. Terrier montre qu'on observe une dégradation des propriétés esthétiques et physiques de différentes chemises au bout de 80 lavages. Pour les ACV sur les revêtements de sols : les durées de vie des revêtements sont évaluées entre 10 et 20 ans (Julian Allwood et al. 2006; Blok et Potting 1996; Jönsson, Tillman, et Svensson 1997).

Ces différences s'expliquent par les aspects suivants :

- les comportements des consommateurs sont différents, le textile peut être jeté avant d'être dégradé, entretenu différemment, envoyé dans des filières de réutilisation ou non, etc...
- les qualités des différents articles ne sont pas les mêmes, ainsi la tenue des accessoires joue un rôle important non évalué.

En conclusion, la phase d'utilisation est identifiée comme un enjeu ayant une influence environnementale significative dans toutes les études d'ACV sur les vêtements. Cependant, les différentes études proposent des scénarios d'utilisation très disparates. La mise en place d'une méthode pour traduire l'unité fonctionnelle en flux de référence permettrait de comparer des articles textiles de différentes qualités ; et la mise en place d'une méthode de modélisation de la phase d'utilisation permettrait de guider la personne réalisant l'ACV dans son choix d'hypothèses de modélisation (voir chapitre 3).

1.4.3 Entretien des textiles

1.4.3.1 Textiles lavables en machine

Aalto évalue à un par jour le nombre de lavages en machine à laver par foyer en Finlande (Aalto 2003). Pour les autres études les fréquences de lavage retenues par vêtements sont : après 3 utilisations (ADEME), après 1.5 utilisations (Intertek GT5). Une étude de Procter & Gamble sur les habitudes de consommateurs évalue que 55% de ces lavages sont effectués à froid à 40°C, 35% à chaud à 60°C ; tandis que les 10% restants sont : soit plus froids, soit plus chauds (Saouter et al. 2002). L'impact du lavage varie selon la machine à laver utilisée, les températures, la quantité d'eau consommée, la composition et quantité de lessive utilisée (Grisel et Osset 2004). Dans les pays européens les effluents aqueux doivent être traités et un certain nombre d'études sur l'impact du traitement des eaux sont disponibles (Hanski et al. 2012; Belhani 2008; Halleux, Lassaux, et Germain 2006).

Allwood évalue que le séchage machine consomme 60% de l'énergie consommée en phase d'utilisation et ces données sont appuyées par l'étude de Levi's sur l'ACV du jean (Julian Allwood et

al. 2006; Levi's 2011). Kalliala propose des temps de séchage différents selon les matières à sécher (E. M. Kalliala et Nousiainen 1999).

Pour l'impact du repassage du textile, les temps de repassage retenus par article sont situés entre 3 et 10 minutes. L'impact du repassage varie selon le temps et les températures de repassage (Soverini, Pariset, et Cabinet BIO IS 2008; Laursen et al. 2007). Kalliala propose des temps de repassage différents selon les matières à repasser (E. M. Kalliala et Nousiainen 1999).

En conclusion, l'impact du lavage et du repassage apparaissent comme des enjeux ayant une influence significative dans la plupart des études citées, ce qui souligne l'importance d'une appréciation précise de cette étape.

Ces différentes études mettent en évidence l'influence du choix de scénario d'utilisation sur les impacts environnementaux du cycle de vie. L'application d'une méthode de modélisation de la phase d'utilisation des articles textiles présentée au chapitre trois permettra de limiter les variations sur les résultats d'impacts.

1.4.3.2 Autres types d'entretien

Pour l'ACV du sofa, la phase d'utilisation a un impact très faible par rapport aux autres phases : 1% selon la méthode EPS (Dahlöf 2004a). Pour tous les textiles qui ne sont pas vraiment entretenus comme les rideaux, tissus d'appareils, sac à dos, etc., la contribution de la phase d'utilisation aux impacts environnementaux est faible.

Pour les ACV des revêtements de sols, l'étude Ediptex montre que pour que l'impact de la phase d'utilisation soit le même que celui de la phase de fabrication il faudrait que la moquette soit aspirée 20 fois par mois (Søren Ellebæk Laursen et al. 2007).

Pour l'ACV des couches lavables, la phase d'utilisation est la plus impactante, tandis que pour l'ACV des couches jetables c'est la phase de fabrication qui ressort (Aumônier et Collins 2005).

1.5 Fin de vie

Le flux de déchets textiles (vêtements et linge) généré par les ménages français est estimé par rapport au flux des textiles consommés : 700 000 t/an environ.

Bartl met en évidence l'importance de différencier les déchets industriels et les déchets usagers (Bartl et al. 2005). En effet, les déchets industriels sont mieux collectés et plus facilement recyclés. Les problématiques sur la production de déchets industriels et le traitement ou la valorisation de ces déchets sont généralement traitées dans les secteurs industriels respectifs.

En France, la filière Eco TLC a été mise en place pour favoriser la récupération et valorisation des Textiles, du Linge de maison et des Chaussures (TLC) usagés, pour répondre aux enjeux environnementaux. En 2010, Eco TLC recense 125 000 t de déchets de textiles triés et collectés, soit 18% des déchets textiles (Giusiano et al. 2010).



Figure 7 - Synthèse des flux textiles récupérés, triés et valorisés en France (Giusiano et al. 2010)

20% des textiles collectés sont en trop mauvais état pour être réemployés ou même recyclés. Les difficultés de recyclage d'articles textiles usagés apparaissent souvent avec des matières constituées des mélanges de fibres, souillées, contenant des éléments plastiques, métalliques, etc.

1.5.1 Le réemploi des textiles usagés

D'après la Figure 7, parmi les articles collectés plus de la moitié des textiles jetés sont encore utilisables. Ceci met en évidence, du moins, pour une partie des consommateurs, la surconsommation actuelle.

Woolridge *et al.* démontrent que la réutilisation de vêtements en polyester nécessite seulement 1,8% de l'énergie requise pour la fabrication de ces produits à partir de matériaux vierges ; et, la réutilisation d'une tonne de vêtements en coton nécessite seulement 2,6% de l'énergie requise pour la fabrication de ces produits depuis des matériaux vierges (Woolridge *et al.* 2006). Plus généralement, ils montrent que toutes les consommations d'énergie associées aux donations, mises à disposition et distribution des textiles sont négligeables par rapport aux consommations d'énergie de la production de ces articles à partir de matériaux vierges.

Il serait donc intéressant de connaître la part de vêtements réutilisables parmi ceux qui sont jetés mais non collectés.

Ces études relèvent la problématique de la prise en compte du réemploi d'un textile usagé dans une ACV simple. Une partie du chapitre 3 sur la modélisation de la fin de vie répond à cette problématique.

1.5.2 Le recyclage des textiles usagés

Dans le cas d'une revalorisation d'un déchet, la question de l'allocation de l'impact du procédé de revalorisation du déchet se pose. Les trois méthodes d'allocation les plus répandues sont les suivantes : la méthode des stocks, l'évaluation des déchets et l'extension du système.

- La méthode des stocks consiste en la définition d'une frontière entre deux cycles de vie, à l'aide d'un stock (réel ou fictif). La méthode des stocks se concentre sur le produit seulement. Aucune donnée n'est requise en dehors du système produit évalué. Tout ce qui est avant le stock est imputé au cycle qui a généré les déchets. Tout ce qui est après le stock est imputé au cycle qui utilise les déchets (voir Figure 8). Energie et matière sont comptées en « énergie récupérée » ou « matière récupérée ». Ainsi, la matière secondaire ne remplace pas de

matière vierge, mais elle rejoint un "stock", donc pas de prise en compte de la substitution de matière vierge. A noter, la méthode des stocks est une approche hybride d'allocation puisqu'elle attribue au produit des bénéfices liés à la fois à l'incorporation de recyclé et à l'orientation vers le recyclage dans des proportions différentes.

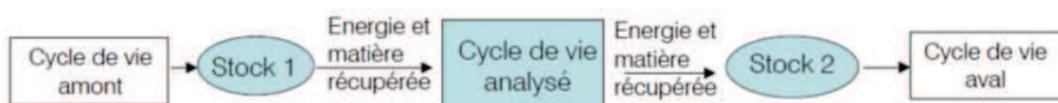


Figure 8 - Illustration de la méthode des stocks (CSTB 2007)

Exemple 1: Application de la méthode des stocks à une opération de production d'un matériau constitué de matière recyclée et de matière vierge

Impact du matériau = Impacts de la production des parts de « vierge + recyclé » dans le matériau + Impact de l'élimination de la part de matériau non valorisée en fin de vie

La fin de vie des matières recyclées/valorisées n'est donc pas imputée au matériau. Avec la méthode dite des stocks, les impacts diminuent fortement lorsque le contenu en recyclé par rapport au vierge augmente. Ils diminuent également lorsque le taux de recyclage augmente, mais de façon beaucoup moins importante puisqu'en général, avec le textile, l'impact de la fin de vie est faible.

Exemple 2: Application de la méthode des stocks aux opérations de valorisation

Les matériaux issus d'un déchet sont gratuits pour ceux qui les utilisent. La gestion des matériaux issus d'un déchet est gratuite pour ceux qui produisent ce déchet.

- L'évaluation des déchets peut être vue comme une méthode des stocks améliorée. Elle utilise la valeur économique du déchet pour allouer les impacts environnementaux de la production du produit (procédure suggérée par ISO 14049 pour le recyclage).

- L'extension du système conserve la perspective de l'Analyse du Cycle de Vie. C'est une des méthodes favorites pour travailler sur du recyclage en boucle ouverte. Cependant, cette méthode n'est pas facile à appliquer parce qu'elle nécessite de rechercher des données environnementales en dehors du cycle de vie du produit considéré (Shen, Worrell, et Patel 2010).

Shen applique ces différentes méthodes d'allocation dans l'ACV sur la production de fibres en polyester à partir de bouteilles recyclées (Shen, Worrell, et Patel 2010). Cette étude montre que selon la méthode appliquée, l'utilisation de polyester recyclé permet une diminution entre 25 et 75% du réchauffement climatique par rapport à la production de polyester vierge.

Pour les textiles usagés valorisés (dernier camembert de la Figure 7), il y a différentes voies possibles en France (Giusiano et al. 2010) : 10% des TLC valorisés sont découpés en chiffons d'essuyage, essentiellement les tissus en coton. Woolridge compare la consommation d'énergie pour la fabrication de chiffons à partir de tissus recyclés avec la fabrication de lingettes en papier. Le gain d'énergie avec l'utilisation de matière recyclée est estimé à 18 303 kWh/tonne (Woolridge et al.

2006). 21% des textiles sont effilochés pour fabriquer des feutres en non tissés d'isolation ou de rembourrage pour le bâtiment et l'automobile. Une Analyse du Cycle de Vie d'un isolant textile du Relais a été réalisée. L'utilisation de 85% de fibres recyclées dans ce non tissé au lieu de fibres vierges entraîne une diminution des émissions des gaz à effets de serre de 12% (Act Environnement 2009).

D'autres filières pour l'utilisation des fibres recyclées à partir de déchets industriels existent : la fabrication de papiers spéciaux, carton-feutre, etc. et l'effilochage par couleur de certains lainages permet même la fabrication de nouveaux tissus (FEDEREC 2010).

1.5.3 Incinération et mise en décharge des textiles

La plupart des ICV d'incinération des déchets prennent en compte la récupération d'énergie ; ainsi, Finnveden a réalisé une ACV de la récupération d'énergie à partir du traitement de déchets solides : incinération avec récupération d'énergie, mise en décharge et autres (Finnveden et al. 2009). ELCD propose un ICV d'un système d'incinération d'1kg de textiles sans récupération d'énergie (Directorate General Joint Research Centre JRC et European Commission 2007). Dans cet inventaire les impacts de la collecte, des transports et des prétraitements ne sont pas inclus (PE International 2006). La composition du déchet textile moyen est proposée sur une moyenne des déchets textiles Européens.

La plupart des ICV de mise en décharge s'appuient sur des données d'émissions obtenues dans une étude de Nielsen (Nielsen et al. 1998). L'EPA a rédigé plusieurs guides pour permettre aux propriétaires de centre de décharge aux États-Unis de mesurer leurs émissions (EPA 1999; Thorneloe 2008). Doka a travaillé sur la prise en compte des émissions à plus long terme des décharges (Doka 2005).

En conclusion, il existe plusieurs modélisations environnementales des traitements des déchets municipaux ou des déchets textiles. Cependant, les scénarios de fin de vie appliqués dans les ACV ne respectent pas tous les mêmes méthodologies de prise en compte de l'impact. Les ICV utilisés s'appliquent en général au traitement de déchets textiles de composition moyenne, ce qui introduit des incertitudes.

1.6 Une bibliographie riche mais disparate

Cette bibliographie met en évidence le fait que dans l'industrie textile, chaque secteur possède ses problématiques environnementales propres. Les études sur le cycle de vie des produits finis ne sont pas assez détaillées pour permettre de traiter les problématiques de chaque secteur de l'industrie textile indépendamment les uns des autres. Dans certains secteurs : tissage, tricotage, confection, fabrication d'accessoires, séchage et repassage, peu d'études environnementales sont disponibles et un travail de collecte de données doit être effectué.

La plupart des études identifient des manques de données à plusieurs étapes du cycle de vie textile, surtout dans les étapes de production (Labouze, Le Guern, et des Abbayes 2006; Soverini, Pariset, et Cabinet BIO IS 2008; Aumônier et Collins 2005; Dahllöf 2004; Laursen et al. 2007). La majorité de ces études se basent sur des données de production collectées dans des usines européennes, ce qui met en évidence le manque de représentativité géographique des données de

production disponibles (Nieminen et al. 2007; Laursen et al. 2007; Lauret et Tarrade 2007). Différentes localisations géographiques peuvent entraîner des variations significatives sur les résultats d'indicateurs comme montré par Martinez (Pardo Martínez 2010). L'ensemble de ces imprécisions et manques de représentativité introduisent des incertitudes conséquentes sur les résultats.

De plus, l'étalement géographique de la filière, les difficultés de mise en place de nouvelles technologies de fabrication et la baisse de qualité générale des articles textiles sont autant de caractéristiques de la filière qui complexifient le travail de modélisation du cycle de vie des textiles. Les chapitres 2 et 3 ont pour objectif de proposer des méthodes pour simplifier la modélisation du cycle de vie des textiles.

Pour exploiter les données environnementales contenues dans les études citées et autres données de collecte, il faut les recueillir dans un format spécifique d'ensemble de données d'Inventaire de Cycle de Vie (set ICV). C'est pourquoi ce deuxième chapitre traite des différents formats de documentation d'ICV.

Cependant, l'utilisation de ces données pour effectuer une modélisation du cycle de vie d'un textile nécessitera l'application d'une autre méthode qui sera détaillée dans le chapitre 3.

2 Méthodologie de développement d'un set ICV

L'ISO a développé la famille de normes 14000 pour aider les industriels à adopter une approche proactive pour gérer les problématiques environnementales. Parmi ces normes, les normes ISO 14040 régissent une grande partie de la méthode à appliquer pour l'évaluation des impacts environnementaux par l'Analyse du Cycle de Vie. La norme ISO 14040 établit le cadre et les principes de l'ACV (ISO 2006a). La norme ISO 14044 précise les exigences et les lignes directrices permettant de réaliser une ACV (ISO 2006b). La norme ISO 14048 propose un format de documentation pour les ACV (ISO 2002). Ces trois normes ont été utilisées pour établir la méthode de développement d'un set de données d'ICV et seront citées par la suite.

Une fois les recherches bibliographiques sur l'état de l'art effectuées, une vingtaine d'ACV sur des produits de consommation textiles ont été réalisées en conformité avec la norme ISO 14044. Les articles analysés ont été les suivants : des draps de lit, un drap housse, des soutiens gorge, des culottes, une paire de chausson, une robe, différents tissus, un T-shirt et des accessoires et emballages, un canapé et un lit pour enfant.

La réalisation de ces ACV a permis d'effectuer différentes collectes auprès de distributeurs et de fabricants dans des localisations géographiques et sur des technologies variées. Les retours de collecte obtenus ont mis en évidence des besoins de données génériques. Par exemple, la collecte d'une consommation énergétique à l'étape de filature (ou une autre étape en amont de la chaîne) s'avère difficile. Les cas de figure qui se sont présentés étaient les suivants : le site de production était inconnu du distributeur et la donnée n'a pas pu être collectée, la donnée a été collectée auprès d'un fournisseur chinois mais le chiffre collecté était inexploitable car la méthode d'obtention de ce chiffre n'a pas été expliquée, la donnée collectée était représentative d'une consommation énergétique de l'usine de filature à l'année divisée par la masse de production annuelle, etc.

Pour pallier à ces difficultés de collecte, les réalisateurs d'ACV utilisent des bases de données qui fournissent des Inventaires de Cycle de Vie (ICV) de différents procédés ou systèmes comme les matières premières, la production d'électricité, les transports et les services de traitement ou encore parfois des produits complexes.

Un set ICV est l'inventaire environnemental d'un procédé ou d'un système et ses résultats d'inventaires et leurs variantes. Les sets d'Inventaire de Cycle de Vie sont présentés dans la même base de données ACV sous un format commun. Ce format commun permet de faciliter l'accès à l'information et de combiner les sets les uns avec les autres.

Le développement d'une méthode de documentation est primordial. Ce format donne les lignes directrices et sert de guide au développeur de données. Il est la traduction d'une méthode de développement d'ICV, ou d'une méthode d'évaluation environnementale. D'autre part, ce format assure la pérennisation du travail de collecte effectué : facilité de mises à jour, compréhension des hypothèses de modélisation pour un utilisateur externe... Ces ensembles de données d'ICV sous le même format pourront, à terme, être utilisés pour constituer le cycle de vie complet d'un textile.

Plusieurs bases de données nationales, régionales, industrielles et de bureaux d'études souvent fournies avec un logiciel ACV ont été développées ces dix dernières années. Ce chapitre fait référence entre autres, à la base de données suédoise (Competence Center in Environmental Assessment of Product et Material Systems 2007), la base de données américaine (National Renewable Energy Laboratory NREL 2004), la base de données Suisse Ecoinvent (Swiss Centre for Life Cycle Inventories et Ecoinvent centre 2007) et la base de données Européenne ELCD (Directorate General Joint Research Centre JRC et European Commission 2007). Chaque base de données ACV propose un format de documentation des ICV qui lui est propre. L'ancien format de documentation EIME était conforme à ISO 14048, mais un nouveau format devait être dessiné pour répondre à un besoin de mise en conformité avec les recommandations de la plateforme ILCD, lui-même conforme à ISO 14048. Un certain nombre d'auteurs mettent en évidence le fait que les différences de choix méthodologiques génèrent des résultats très différents pour l'ACV d'un même produit (Finnveden et al. 2009; Crawford 2008; B. Weidema 2012). Une documentation détaillée renseignant les biais méthodologiques appliqués est donc nécessaire pour mieux analyser les résultats.

Pour les matières premières, un grand nombre d'associations professionnelles internationales ont créé leurs propres Inventaires de Cycle de vie pour répondre à la demande de données industrielles de première main. Parmi celles-ci des Inventaires de Cycle de Vie pour la production d'Aluminium (EAA 2007), de fer et d'acier (IISF 2007), de plastiques (APME 2007), de papier et carton (FEFCO 2006) sont disponibles.

Dans ce chapitre, les étapes du développement d'un ensemble de données conformément au cahier des charges ILCD (European Commission 2010) et aux normes (ISO 2006a; ISO 2006b; ISO 2003) sont présentées en premier.

La partie modélisation d'un processus élémentaire est décrite plus en détail. Cette partie met en évidence certaines problématiques et différentes méthodologies sont exposées pour répondre à ces problématiques.

Les problématiques spécifiques de compilation d'ICV à partir de données industrielles et de marché sont présentées pour un secteur de fabrication : la filature (section 2.5).

Ensuite, différents formats de documentation et leur contenu sont décrits avec leurs avantages et inconvénients (ISO 2002; ILCD 2011; Hedemann, Meinshausen, et Frischknecht 2008). Le nouveau format de documentation EIME est présenté.

Enfin, le protocole de validation et la méthode d'évaluation de la qualité des données établis sont présentés.

D'après la norme ISO 14040, un « processus élémentaire » également appelé « Unit process » ou UPR, dans les ACV est défini comme l'élément ou le système le plus petit pour lequel les données d'entrants et de sortants sont quantifiées. En pratique dans les ACV, les procédés non séparables physiquement (comme des unités opérationnelles dans des usines de production) et des sites de production complets sont inclus dans cette catégorie.

Cette partie décrit la méthode de création d'un « set ICV » pour les « procédés élémentaires textiles » qui seront ajoutés dans la base de données.

La Figure 9 présente les différentes étapes du développement de l'ICV d'un système et les livrables correspondant selon le cahier des charges ILCD (European Commission 2010).

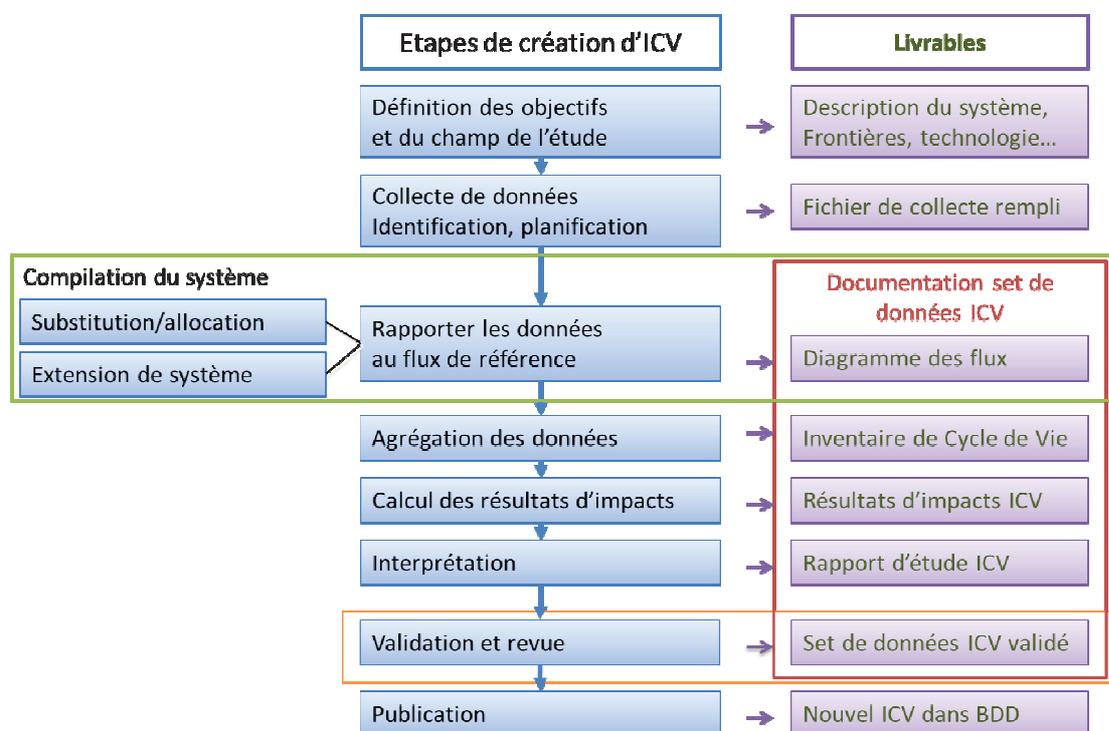


Figure 9 - Étapes du développement d'un set ICV conformément à ISO et ILCD

Lors de la première étape, les objectifs et le champ de l'étude sont définis. Pour cela l'application envisagée pour les résultats de l'ACV ou de l'ICV est prise en considération (ISO 2006a).

La deuxième étape consiste à identifier les procédés et flux élémentaires inclus au sein du système. L'identification des procédés se fait différemment selon que l'approche est attributionnelle ou conséquentielle. Une analyse conséquentielle décrit comment les flux environnementaux appropriés changent suite à certaines décisions. Autrement dit, elle consiste à modéliser le système dans des conditions hypothétiques. Cependant, la plupart des bases de données proposent des ICV prenant en compte tous les flux d'un système tels qu'ils surviennent dans la réalité. Cette modélisation correspond à une approche attributionnelle. Une fois les frontières du système définies, la collecte des données peut être réalisée. Le fichier de collecte est conçu par rapport aux données disponibles dans la base de données. Illustration des deux approches pour définir un mix électrique :

- L'approche attributionnelle considère l'ensemble des moyens de production d'électricité (le plus souvent à l'échelle d'un pays). La part de cette production nationale attribuable au consommateur est définie et étudiée.
- L'approche conséquentielle modélise les conséquences de la décision d'un acteur de consommer plus ou moins d'électricité. A ce titre, ce qui est modélisé, c'est la différence entre la situation obtenue suite à l'application de la décision prise en faveur du système étudié et la situation sans cette décision. Dès lors, les moyens de production dont l'utilisation n'est pas affectée par la décision ne sont pas pris en compte.

La troisième étape est la compilation du système. Cette étape consiste à compiler les flux intermédiaires et élémentaires qui sont rapportés à un flux de référence. Le flux de référence est la traduction de l'unité fonctionnelle. Voici un exemple de flux de référence répondant à l'unité fonctionnelle « se couvrir le haut du corps avec un vêtement propre et non abîmé pendant une journée d'été » : « un T-shirt propre et en bon état porté pendant une journée ». L'étape de compilation du système, détaillée dans la partie 2.2, inclut la mise à l'échelle des valeurs de flux par rapport au flux de référence choisi, le remplacement de données manquantes par des données de qualité si possible, la résolution des problèmes de multifonctionnalité des processus par affectation (voir partie 2.24).

Lors de la quatrième étape, les flux intermédiaires représentés dans un diagramme de flux sont remplacés par les ICV correspondants. Ainsi les entrants et sortants du système sont recueillis dans un inventaire de cycle de vie sous forme de flux élémentaires.

Sur la cinquième étape, l'ICV peut être traduit en résultats d'indicateurs d'impact. Un indicateur d'impact traduit les effets directs et indirects d'un phénomène environnemental à partir des données d'inventaire du cycle de vie du système de produits étudié, exemple : indicateur de changement climatique sur 100 ans, méthode de caractérisation IPPC 2007. L'évaluation quantitative de l'indicateur d'impact se fait via une méthode de caractérisation des flux. C'est un ensemble de principes, modèles et facteurs de caractérisation qui permettent de calculer des résultats quantitatifs pour une catégorie d'impact environnemental donnée, exemple : IPCC 2007, WMO (Lees-Perasso 2012). Cette étape est présentée succinctement partie 2.3. L'interprétation des résultats permet d'identifier les aspects environnementaux significatifs, et comprend une analyse de sensibilité et conduit à des conclusions et recommandations sur la modélisation proposée. Une analyse de sensibilité est une procédure systématique pour estimer les effets sur les résultats d'une étude des choix concernant les méthodes et les données (ISO 2006a).

L'étape de validation de l'ensemble des données par un tiers est absolument nécessaire et une revue critique avec un panel d'experts est requise si une communication publique des résultats est prévue (ISO 2006b).

Après cette validation, le nouvel ensemble de données peut-être mis à disposition dans la base de données et publié.

2.1 Problématiques liées à la modélisation d'un ICV

L'étape de compilation du système, appelée aussi modélisation, encadrée en vert sur le schéma Figure 9 présente des problématiques et un intérêt particulier. Cette étape consiste à compiler les flux qui sont rapportés à une unité fonctionnelle. Suh et Huppés distinguent et comparent six méthodes de modélisation d'ICV différentes qui donnent des résultats différents (Suh et Huppés 2005).

2.1.1 Différents systèmes modélisés dans le cycle de vie des textiles

Dans ILCD, les sets de données ICV sont caractérisés par leur contenu et leurs frontières : « processus élémentaire, opération unique », « processus élémentaire, boîte noire », « résultats d'ICV » « système partiellement terminé » et « système de production excluant un coproduit ».

La Figure 10 présente un diagramme des flux simplifié pour un procédé de transformation de la matière textile. Les différents systèmes ou procédés élémentaires qui composent ce diagramme de flux sont classés dans les catégories qui leur correspondent : « du berceau à la porte » ; « porte à porte » et « de la porte à la tombe ». Ce diagramme des flux présenté Figure 10 définit certaines règles de modélisation (inputs, outputs etc...) mais le schéma descriptif d'un système peut être beaucoup plus détaillé. Ce schéma est applicable surtout dans le cas de la fabrication des textiles où tous les procédés qui se succèdent après la production des matières premières sont des « procédés de transformation ». Des exemples d'ICV de systèmes utilisés dans le cycle de vie des textiles sont proposés dans les rectangles de couleurs correspondantes en bas de la figure.

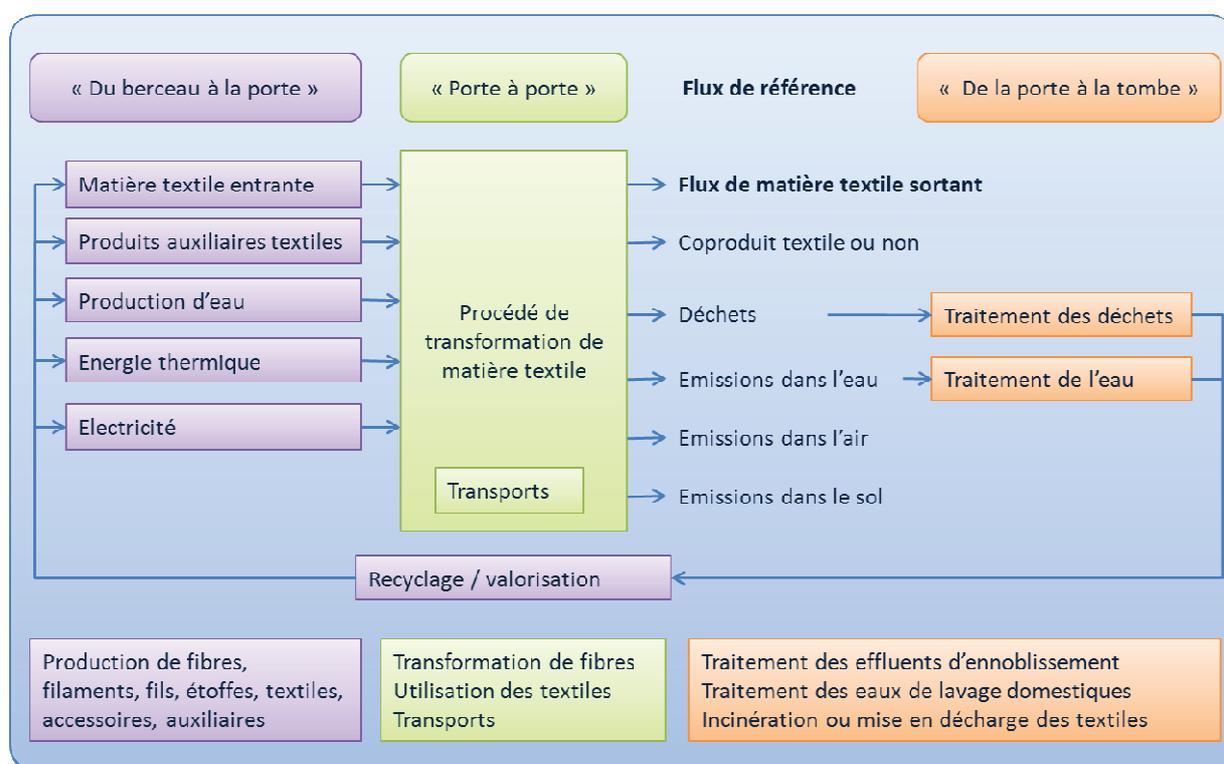


Figure 10 – Classification des différents procédés présents dans un cycle de vie textile présentée sous la forme d'un diagramme des flux

Les systèmes de type « **du berceau à la porte** » comprennent la production de matière première, production d'énergies, mix de production ou de consommation, activités de transformation etc. Chaque système de production à partir de ressources naturelles renouvelables ou non renouvelables répond à des règles de modélisation spécifiques. Ainsi, pour la production des fibres d'origine végétale ou animale, les règles de modélisation ont été établies par les spécialistes de l'agriculture ou de l'élevage. La modélisation de ces systèmes se présente sous la forme de matières premières ou ressources naturelles associées à un ou plusieurs procédés de transformation.

Les systèmes de type « **de la porte à la tombe** » rassemblent toutes les modélisations de traitement de fin de vie. La plupart du temps, les ICV disponibles pour les traitements de fin de vie

sont génériques pour un effluent type avec une pollution caractéristique ou pour un amas de déchets textiles de différentes compositions. L'avantage de ce type d'ICV est qu'il est applicable à grande échelle et représentatif de la réalité. En effet, les textiles sont brûlés ensemble et les effluents aqueux sont mélangés dans les stations de traitement des eaux. Cependant, pour proposer des pistes d'amélioration au niveau du traitement des déchets, différents ICV devraient être proposés en fonction des entrants du système.

Pour modéliser le cycle de vie des textiles, des systèmes de type « **porte à porte** » sont souvent utilisés : les transports, les services, les procédés d'utilisation, les imports ou exports, les transformations de matière. Pour proposer des ICV de procédés de transformation de matière, les bases de données et les interfaces de modélisation doivent avoir une architecture spécifique (voir chapitre 4).

Un **système moyen** représente la moyenne de deux ou plusieurs inventaires de systèmes de type « Du berceau à la porte » ou de type « Du berceau à la tombe ».

2.1.2 Diagramme de flux d'un processus élémentaire ou modélisation technologique

Le plus souvent, dans la pratique les données d'ICV sont compilées à l'aide d'un diagramme des flux du processus décrivant les procédés inclus et les flux entrants et sortants (Suh et Huppés 2005; Vigon et Jensen 1995). Ce schéma montre comment les procédés d'un système sont interconnectés, à travers les flux intermédiaires. Dans ces schémas, les boîtes représentent généralement les procédés et les flèches représentent les flux intermédiaires. Le schéma d'un processus élémentaire moyen et ses flux environnementaux correspondants est présenté Figure 11.

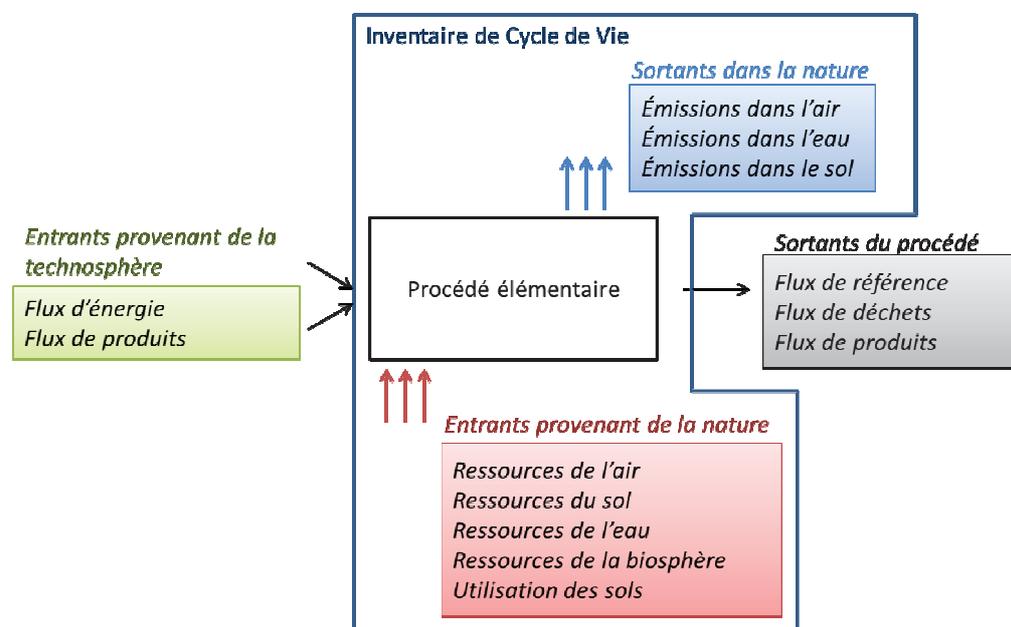


Figure 11 - Schéma de modélisation d'un ICV d'un processus élémentaire

Un processus élémentaire correspond à une technologie spécifique opérée sur un site donné. Il contient exclusivement des données qui ont été mesurées sur site. Pour les données sur les systèmes complets, cela signifie que toutes les données pour tous les procédés ont été mesurées. Le

flux de référence de ce processus élémentaire (exemple : 1 MJ d'électricité produit) est un flux intermédiaire. Un procédé moyen combine plusieurs ensembles de données spécifiques et/ou données moyennes pour représenter une combinaison de procédés (exemple : différentes technologies d'incinération des déchets) ou systèmes (exemple : un groupe de produits). La moyenne peut entre-autres traverser les technologies, produits, sites, pays, et/ou le temps.

Lors de la création d'un ICV de procédé, le diagramme des flux du procédé peut-être esquissé avant l'établissement du fichier de collecte des données environnementales. L'unité fonctionnelle (production du flux de référence) du système opérationnel est clairement définie quantitativement et qualitativement. Les architectures des différentes machines de production sont étudiées. Des protocoles d'utilisation typiques sont considérés, et les unités de consommation d'énergie et de ressources comme les sous-processus générant des émissions sont identifiés avec leur fonctionnalité et leur localisation. Les paramètres de production sont identifiés et classés selon leur influence sur les consommations de ressources, d'énergie et sur les émissions (Duflou, Kellens, et Dewulf 2011).

Notons que, dans cette méthode établie par Duflou, les frontières de chaque système sont établies de façon à inclure seulement la phase opérationnelle d'un processus élémentaire sans tenir compte de la fabrication, transport, maintenance et fin de vie de la machine elle-même.

Lorsqu'un procédé est ainsi défini et structuré, cela permet d'identifier les données d'inventaires à collecter. La qualité des valeurs quantitatives des données obtenues peut-être évaluée par rapport aux valeurs prédéfinies (intervalle de valeurs probable). Si les données sont globales pour un procédé (ex : énergie consommée dans une usine) des mesures spécifiques complémentaires sont recherchées dans des sources bibliographiques. Il est important de privilégier les bibliographies s'appuyant elles-mêmes sur des mesures industrielles. Ces sources bibliographiques doivent traiter de différents impacts environnementaux et des systèmes de mesure utilisés inhérents à chaque impact. Ainsi sur une consommation énergétique à l'étape de filature par exemple, à partir d'une méthodologie de type Duflou on trouve les informations très précises sur les consommations énergétique de filature qui varient selon le diamètre du fil obtenu ou les techniques utilisées ou la prise en compte de l'air conditionné (Koç, E. & Kaplan, E., 2007). La donnée équivalente collectée par un distributeur auprès du fabricant, était représentative d'une consommation énergétique de l'usine de filature à l'année divisée par la masse de production annuelle. Une donnée de ce type n'est pas représentative de la technologie, ne permet pas de mettre en valeur les meilleures technologies disponibles et n'offre pas de possibilité d'amélioration des processus de production.

Ainsi sur une donnée comme la consommation énergétique d'un procédé, l'utilisation d'une donnée provenant d'une collecte de seconde main (ou secondaire) peut offrir une meilleure représentativité technologique qu'une donnée primaire prélevée sur le site concerné.

Parfois la collecte de données permet de compléter le diagramme des flux voire de le corriger. Il s'agit d'un processus itératif et les étapes 2 et 3 se retrouvent donc au même niveau.

2.1.3 Modélisation géographique d'un procédé de transformation de matière textile

Comme vu dans la bibliographie, une des particularités du cycle de vie textile est son éparpillement géographique sur la phase de fabrication. Une pratique commune dans les ACV est

d'utiliser un ensemble de données ICV valable pour une localisation géographique spécifique pour représenter le même procédé dans une autre localisation. D'autre fois, pour effectuer un transfert géographique du procédé, des changements limités sont effectués par exemple un changement de mix électrique correspondant à la nouvelle localisation.

Or, lors d'un transfert géographique d'un processus élémentaire, il faut prendre en considération le fait que les systèmes de traitement des déchets et des eaux, les mix électriques et thermiques utilisés, les systèmes de production d'eau et les ressources en eaux, la répartition des émissions dans les eaux douces et eaux salées ne sont pas les mêmes d'une localisation à l'autre (European Commission 2010).

Les ICV de procédés élémentaires qui ont été mis en œuvre dans la base de données textile EIME-*Tex* sont représentatifs d'un pays donné. En effet, les données d'inventaires génériques qui ont servi de briques élémentaires pour la modélisation des procédés textiles sont basées sur des données nationales sur des systèmes dans les différents pays du monde : aquastat pour la production d'eau (FAO 2009), IEA pour la production d'énergie (IEA 2010); et des études et décrets nationaux publiés sur les systèmes de traitement des déchets et de l'eau. Ces données génériques sont également appelées données secondaires. C'est pourquoi, les données sont représentatives d'un procédé utilisé dans un pays spécifique.

2.1.4 Affectation/ allocation / répartition des impacts entre plusieurs coproduits

Certains procédés génèrent plusieurs produits. Des règles d'allocation de l'impact entre les différents produits sont alors appliquées. ISO 14040 définit l'affectation comme « l'imputation des flux entrants ou sortants d'un processus ou d'un système de produits entre le système de produits étudié et un ou plusieurs autres systèmes de produits ». Une problématique importante concerne le choix d'une méthode d'affectation adaptée. Kellenberger s'intéresse à cette problématique pour établir les principes de modélisation dans la base de données ICV Australienne (Kellenberger 2008).

ISO 14044 préconise, quand c'est possible, d'éviter les affectations en augmentant le niveau de détail du modèle ou en étendant les frontières du système. Lorsque c'est impossible, l'affectation devrait tenir compte des propriétés physiques telles que les masses ou les volumes. Mais l'affectation ne sera pas nécessairement proportionnelle à des mesures simples telles que des masses molaires. Lorsque des relations physiques ne pourront pas être établies ou utilisées, l'allocation devra être basée sur d'autres relations entre produits comme la valeur économique des produits (ISO 2006b).

Les différentes méthodes d'allocation proposées par ILCD sont les suivantes : valeur économique, pouvoir calorifique supérieur, pouvoir calorifique inférieur, contenu énergétique, contenu en éléments, masse, volume, endurance, causalité marginale, causalité physique, 100% fonction principale, autre fonction explicite, distribution égale, surface, meilleure technologie disponible, moyenne – correction de la valeur économique, moyenne – correction sur les propriétés techniques, contenu recyclé, potentiel de recyclabilité, moyenne – pas de facteur de correction, spécifique, effets consécutifs – autres.

Dans Ecoinvent, les procédés donnant plusieurs coproduits sont intégrés dans la base de données avant affectation des impacts aux coproduits. Le facteur d'affectation appliqué est défini au niveau du procédé et plus précisément au point de substitution. La base de données (BDD) crée des procédés à sortie unique à partir de procédés à sortie multiples associés aux facteurs d'affectation des impacts correspondants. Les facteurs d'allocations sont affectés séparément à chaque input et output individuellement. Les extensions de systèmes sont évitées dès que possible. Dans la plupart des cas, des affectations basées sur des caractéristiques non physiques sont appliquées. Les procédés sont divisés en plusieurs sous-procédés dès que possible pour éviter les affectations (Frischknecht et al. 2007). Dans le cas de la taxe carbone, Weidema propose de retenir la balance de carbone dans le système d'allocation pour qu'au final dans les résultats « à chacun son carbone » ; dans ce cas, un seul critère est choisi pour diviser le flux même s'il y a plusieurs critères et facteurs d'affectation adaptés (B. Weidema 2012).

2.1.5 Imperfections des données

Weidema propose une classification des différentes sources d'incertitudes : celles dues aux omissions de données, celles dues à l'utilisation de données non représentatives, celles dues à l'utilisation de données inexactes (Huijbregts et al. 2001). La Figure 12 présente cette classification des différentes sources d'imperfections dans les ICV.

Habituellement, l'incertitude d'une donnée est celle liée au système de mesure utilisé. Souvent dans les données d'ICV, l'incertitude de mesure est inconnue. En effet, si un certain nombre de mesures ont été prises il est possible de calculer l'incertitude (erreur de mesure ou d'échantillonnage), mais le plus souvent seulement une mesure est disponible.

Pour l'estimation de l'incertitude additionnelle liée au fait que la donnée n'est pas d'une qualité optimale : Weidema et Maurice décrivent des procédures formelles très proches (B. P. Weidema et Wesnaes 1996; European Commission 2010). Ils retiennent 5 indicateurs qualité indépendants nécessaires et suffisants pour décrire les aspects qualité de la donnée. La Figure 12 présente des exemples de caractérisation de la qualité d'une donnée. La « matrice pédigrée » de Weidema est le modèle le plus souvent retenu pour les évaluations qualitatives de l'incertitude additionnelle d'une donnée. Dans cette matrice pédigrée, les critères qualité peuvent être divisés en deux types : les critères qualité inhérents à la donnée comme l'incertitude basique de la donnée, la représentativité statistique de la donnée ou sa complétude, la fiabilité de la source bibliographique et les vérifications dont la mesure a fait l'objet, et enfin les critères qualité liés à l'utilisation de la donnée dans un certain contexte (représentativité géographique, technologique ou temporelle de la donnée).

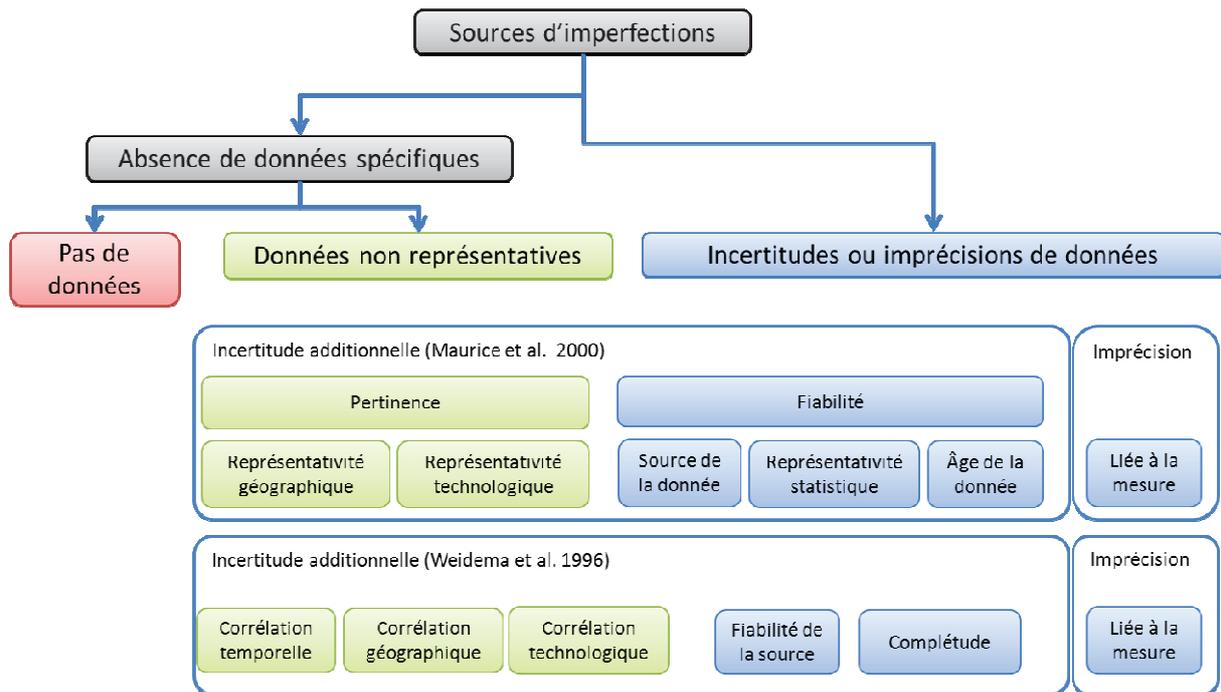


Figure 12 - Répartition des différentes sources d'imperfections des données dans un set ICV

Lorsqu'une donnée n'est pas prise en compte (en rouge Figure 12), les études comprenant des omissions ou des manques obtiennent des résultats d'impacts plus faibles que les études complètes (Huijbregts et al. 2001). Huijbregts *et al.* distinguent deux types de données manquantes : les flux intra-procédés manquants et les interventions environnementales manquantes telles que des flux polluants ou de l'extraction de minerai par unité de flux de référence.

Pour les « flux entre procédés » manquants, différents outils ont été conçus pour identifier les manques à partir de données d'intrants et d'extrants nationales, économiques, etc. La valeur de cette donnée peut également être estimée à partir de correspondances avec un procédé similaire.

Pour les « interventions environnementales » manquantes, comme par exemple l'émission d'un flux polluant, des recherches bibliographiques inter-sectorielles sur les paramètres source permettent parfois d'identifier les manques. Il est également possible d'appliquer des lois pour identifier ces flux : règles stœchiométriques, conservation de la masse ou autres...

Une fois que la donnée manquante est identifiée, si elle n'est pas modélisée elle devient une donnée omise. En cas d'impossibilité de trouver la donnée, il vaut mieux la modéliser en la remplaçant par des données par défaut ou collectées sur un processus équivalent plutôt que de ne pas la modéliser (Huijbregts et al. 2001).

L'utilisation de données peu représentatives ou non corrélées géographiquement, technologiquement et temporellement (en vert Figure 12) génère une incertitude difficile à estimer quantitativement. Par exemple, il paraît difficile de quantifier l'incertitude générée par l'utilisation de données canadiennes pour la fabrication d'automobiles en 1980 au lieu de données américaines en 1995. Des estimations de facteurs d'incertitudes correspondant peuvent être obtenues suite à des analyses empiriques de séries de données cross-sectorielles et temporelles de données.

Enfin, comme indiqué Figure 12 en bleu clair, l'inexactitude des données peut être causée par des méthodes de mesure imprécises (peu fiables, avec une dispersion statistique ou un biais systématique important), des hypothèses et estimations d'experts, des mesures sur un nombre réduit de sites, des périodes de mesure non adaptées (Huijbregts 1998) ou une incomplétude de données. La complétude se caractérise par le fait que les émissions de l'ensemble des sources incluses dans les frontières de l'inventaire sont comptabilisées.

Dans son ensemble, la mesure de l'incertitude des données se heurte à trois problèmes : difficulté de quantifier tous les types d'incertitudes dans les ICV, aspect chronophage de l'évaluation de l'incertitude, difficulté de déterminer la distribution statistique des données (Maurice et al. 2000).

Quelques auteurs proposent des solutions afin de simplifier la procédure de quantification des incertitudes et ont mis en application ces méthodes sur différentes modélisations d'ICV : la fabrication d'1kg de pain, une centrale de production d'électricité à partir de charbon, différents systèmes de distribution de boissons. Dans la publication de Weidema, à travers l'exemple de la modélisation ICV de la fabrication d'un kg de pain, pour chaque donnée des notes de 1 à 5 sont attribuées pour les 5 indicateurs et constituent l'incertitude additionnelle qui se présente sous la forme d'une matrice pédigrée. Cette étude montre comment une donnée de faible qualité peut augmenter l'incertitude et changer la valeur moyenne. La problématique est de transformer cette note en un pourcentage de variation sur la donnée. Des estimations de ces pourcentages de variation peuvent être déterminées à partir d'autres procédés sur lesquels ils ont été mesurés, pour la représentativité géographique par exemple. Ces estimations de pourcentages de variations correspondant aux différentes notes sur chaque indicateur sont suggérées comme un moyen de simplification et d'amélioration de la procédure (B. P. Weidema et Wesnaes 1996).

Kennedy et Maurice proposent aussi différentes méthodes proches pour prendre en compte une partie de l'incertitude additionnelle de données d'entrée dans une modélisation ICV. L'incertitude qualitative est estimée par des jugements d'experts sur la représentativité statistique des mesures et la fiabilité de la source (vérifications). Des indicateurs qualité sont introduits dans les modèles d'ICV traditionnels pour obtenir des modèles d'ICV produisant des résultats sous la forme de variables aléatoires qui peuvent être caractérisés par des distributions statistiques. Les résultats obtenus peuvent être analysés avec des méthodes statistiques qui donnent des comparaisons quantitatives sur les incertitudes des ICV (Kennedy, Montgomery, et Quay 1996; Maurice et al. 2000).

L'incertitude d'une donnée d'inventaire induit une incertitude sur les résultats d'impacts, dans la documentation c'est souvent cette deuxième incertitude qui est renseignée. D'où l'importance de documenter les résultats d'impacts correspondant à l'ICV.

C'est pourquoi les méthodes de caractérisation des impacts calculés dans EIME sont présentées dans la partie suivante. Les résultats d'impacts correspondant à l'ICV ne sont pas forcément présentés dans le set ICV. Par exemple, le format de documentation ISO 14048 n'inclut pas la présentation des résultats d'impacts (ISO 2002).

2.2 Présentation des résultats d'impacts, de flux et de conception correspondant à l'ICV

Dans cette partie, d'abord, les concepts d'indicateurs d'impacts, de flux et de design sont définis brièvement. Ensuite, les raisons pour lesquelles la présentation de ces résultats doit être incluse dans le « set ICV » sont listées.

Dans cette thèse, seuls les résultats d'indicateurs « mid-point » sont présentés (voir explications chapitre 4). Les méthodes « mid-point » permettent d'évaluer les impacts environnementaux au niveau problème par opposition au niveau dommage. Les dommages entraînés par les émissions ne sont pas quantifiés, mais les émissions sont rapportées à une valeur commune de référence. Les caractéristiques reflètent les effets de premier ordre ; par exemple, le réchauffement climatique est caractérisé par le forçage radiatif relatif à chaque gaz à effet de serre, exprimé en kg eq. CO₂. La présentation de résultats d'indicateurs de flux et de conception est requise dans la norme N15 804 et ces indicateurs sont donc utilisés dans EIME (voir chapitre 3). A ce jour, deux indicateurs de flux peuvent être calculés dans EIME, la consommation d'eau, et la consommation d'énergie. Différents exemples de résultats des indicateurs mid-point et des 2 indicateurs de flux sont présentés partie 2.5.1 et 2.5.2.

La présentation et l'analyse des résultats d'impact, de flux et de design correspondant à l'ICV d'un processus élémentaire appelée AICV sont essentielles. Cette analyse constitue une validation de la modélisation environnementale effectuée. La BOM, par exemple, permet de vérifier automatiquement si la loi de conservation de la masse pour certains flux de matières a été respectée. En effet, la Bill Of Materials dans EIME (ou composition du flux sortant) est un dispositif qui calcule à partir des flux de produits introduits dans la modélisation, la composition du flux de produit sortant en prenant en compte les pertes. On peut aussi s'assurer que les valeurs des indicateurs de flux sont compatibles avec les valeurs des flux intermédiaires introduites.

De plus, pour s'assurer que la modélisation du processus est correcte, la détermination des valeurs des indicateurs d'impacts sur ce processus doit aussi être incluse dans la documentation de l'ICV. Cela permet de vérifier les résultats d'une dizaine d'indicateurs d'impacts dans la documentation, ce qui s'avère beaucoup plus rapide que de vérifier la longue liste de flux élémentaires composant l'ICV.

Ainsi, la présentation des résultats de l'AICV sert à valider et à caractériser l'ICV obtenu pour un processus élémentaire donné.

Les méthodes de caractérisation d'indicateurs d'impacts utilisées dans les parties 2.5.1 et 2.5.2 en 2011 pour les besoins de l'étude sont décrites ci-dessous.

1. acidification de l'air : cet indicateur permet de calculer le potentiel d'acidification de l'air par les émissions atmosphériques. Il est exprimé en g eq H⁺. La méthodologie de calcul est issue du CML (Centre of Environmental Science, NL, 1998).
2. production de gaz à effet de serre : cet indicateur permet de calculer la contribution potentielle au réchauffement global de la planète par l'émission de gaz à effet de serre sur

100 ans. Il est exprimé en g eq CO₂. La méthodologie de calcul est issue de l'IPCC (International Panel of Climate Change, US, 2007).

3. réduction de la couche d'ozone : cet indicateur permet de calculer la contribution potentielle à la diminution de la couche d'ozone stratosphérique par les émissions atmosphériques. Il est exprimé en g eq CFC11. La méthodologie de calcul est issue du WMO (World Meteorological Organization, US, 1998).
4. consommation des matières premières ou épuisement des ressources naturelles : cet indicateur permet de calculer la consommation des ressources naturelles en prenant en compte la taille des réserves naturelles et le taux de consommation de l'économie actuelle. Il est exprimé en fraction de réserve consommée par an (Année-1). La méthodologie de calcul est issue du « US Geological Survey » (USA, 1998). La méthode de calcul préconisée par ILCD, en l'occurrence CML 2002 (Guinée *et al.*, 2002), sur cet indicateur ne convient pas aux textiles. En effet, cette méthode considère que les différentes ressources sont substituables les unes aux autres et applique des facteurs de caractérisation en conséquence. Cette hypothèse ne s'applique pas pour les textiles étant donné que seul le pétrole permet d'obtenir des fibres synthétiques.
5. eutrophisation de l'eau : cet indicateur permet de calculer le potentiel d'eutrophisation (enrichissement en éléments nutritifs) de l'eau fraîche par les effluents. Il est exprimé en g eq PO₄³⁻. L'eutrophisation d'un cours d'eau résulte d'un apport trop important de molécules nutritives (molécules organiques) dans le milieu. Le phosphore, l'azote, le carbone, le potassium sont des éléments qui permettent le développement d'algues et d'espèces aquatique pouvant conduire à une diminution du taux d'oxygène et à un déséquilibre de la biocénose. La méthodologie de calcul est issue du CML (Centre of Environmental Science, NL, 1992). Le potentiel d'eutrophisation de l'eau de mer est quantifié différemment. Ceci pose la problématique du choix d'un milieu de rejet dans les pays avec bordures maritimes. L'eutrophisation marine est un phénomène qui est apparu récemment et localement. Ces deux catégories d'impact peuvent être amenées à être regroupées.
6. La consommation d'eau est exprimée en m³, et permet de calculer la consommation d'eau toutes sources confondues (rivière, mer, lac...). Une simple addition des flux d'eau consommés tenant compte de leur provenance permet de comptabiliser la consommation d'eau.
7. La consommation d'énergie primaire permet de calculer la consommation d'énergie primaire totale, aussi bien issue de la combustion de combustibles (fossiles, uranium pour l'énergie nucléaire, bois, etc.) que de sources alternatives (hydroélectricité, solaire, éolienne, marée motrice, etc.). Cet indicateur prend aussi en compte l'énergie contenue dans les matériaux (qui est produite lors de leur combustion en fin de vie par exemple). Il est exprimé en MJ. La consommation d'énergie est un indicateur de flux très utile, son évolution reste proche de celle du réchauffement climatique équivalent FDES. Ce flux intermédiaire est intégré plus ou moins dans la consommation des ressources naturelles (ADP ILCD).

A l'heure actuelle, 16 catégories d'impacts ont été retenues par ILCD. Pour chacune d'entre elles, ILCD a analysé un grand nombre de méthodologies de calcul d'indicateur différentes, aussi bien pour les méthodes « mid-point » que « end-point ».

Le Tableau 1 ci-dessous récapitule les indicateurs recommandés pour chaque catégorie d'impact de méthode « mid-point » ainsi que le niveau de recommandation de la plateforme ILCD :

- I: recommandé et satisfaisant,
- II: recommandé mais nécessite des approfondissements,
- III: recommandé mais à appliquer avec prudence.

Les méthodes de niveaux I et II ont été implémentées dans EIME, mais les méthodes de niveau III ne sont pas encore implémentées dans EIME étant donné leur état de maturité (European Commission and Joint Research Center 2010a).

Catégorie d'impact	Méthode recommandée	Indicateur ou unité	
Climate Change	IPCC GWP100	kg eq. CO ₂	I
Ozone Depletion	WMO99	kg eq. CFC11	I
Particulate matter/ respiratory inorganics	RiskPoll Model	kg eq. PM2,5	I
Ionizing radiation, human health	Frischknecht et al, 2000	Human exposure efficiency relative to U235	II
Photochemical ozone formation	LOTOS EUROS (ReCiPe)	?	II
Acidification	Accumulated Exceedance	AE	II
Eutrophication, terrestrial	Accumulated Exceedance	AE	II
Eutrophication, freshwater	EUTREND model (ReCiPe)	Fraction of nutrients reaching freshwater end compartment (P) or marine end compartment (N)	II
Eutrophication, marine	EUTREND model (ReCiPe)	Fraction of nutrients reaching freshwater end compartment (P) or marine end compartment (N)	II
Resource depletion mineral, fossil, renewable	CML2002	kg eq. Sb	II
Human toxicity, cancer effects	Usetox	Comparative Toxic Unit for humans (CTU _h)	II/III
Human toxicity, non - cancer effects	Usetox	Comparative Toxic Unit for humans (CTU _h)	II/III
Ecotoxicity Freshwater	Usetox	Comparative Toxic Unit for ecosystems (CTU _e)	II/III
Land Use	Mila i Canals 2007	Soil Organic Matter (SOM)	III
Resource Depletion, water	Swiss Ecoscarcity	Water use related to local scarcity of water	III
Ionizing radiation, ecosystems	Pas de recommandation		
Ecotoxicity (terrestrial and marine)	Pas de recommandation		

Tableau 1 - Catégories d'impacts et méthodes recommandées par ILCD

La partie 2.6 propose une méthode d'évaluation de l'incertitude sur la base de ces résultats d'indicateurs d'impacts pour différents ensembles de données d'ICV de filature.

2.3 Formats de documentation d'un set ICV

La qualité des résultats d'une ACV dépend en grande partie de la qualité, de la pertinence et de la représentativité des ICV utilisés pour réaliser la modélisation du système. Pour **assurer une transparence sur la qualité de ces données**, toutes les informations relatives à l'obtention des ICV doivent être documentées pour pouvoir être vérifiées. La documentation prend beaucoup de temps et nécessite une méthode. Différentes méthodes de documentation des ensembles de données ICV existent et donnent des résultats significativement différents. Cette partie décrit en quoi consiste la documentation pour différents sets de données ICV, et compare différentes méthodes de documentation. Elle vise à guider le développeur d'ICV à travers les différents formats de documentation.

D'après l'encadré rouge de la Figure 9, la documentation doit inclure : le diagramme de flux du système modélisé, l'ICV correspondant et un rapport de l'étude qui a permis d'obtenir l'ICV. En général, ce rapport d'étude ICV intègre le diagramme de flux et il est présenté sous la forme d'un tableau appelé format de documentation. Ce format de documentation propose d'une certaine façon une méthode de documentation.

Tous les formats de documentation des ICV se réfèrent à la norme ISO 14048. Le format de documentation doit faciliter les échanges de données ICV sans perte de transparence. ISO 14048 ne définit pas de règles spécifiques à propos de l'échange mais permet la conception et le développement de différents formats de documentation et d'outils informatiques en accord avec les règles de documentation.

Un set ICV inclut toutes les informations utiles à la description d'un système ou d'un procédé, y compris l'étude qui a permis d'obtenir les données d'ICV. Conformément à ISO 14048, la documentation d'un procédé peut être classée en 3 sections (voir Figure 13) : les informations sur le procédé (nom, flux de référence, représentativité temporelle, représentativité géographique, représentativité technologique, modèle mathématique pour les ICVs à paramètres multiples); l'inventaire des intrants et des extrants ; les informations sur la modélisation (méthode ICV et allocations, règles de coupure, d'extrapolation et sources de données, complétude, validation); les informations administratives (commanditaire de l'étude, objectifs, auteur et valideur de l'étude ICV, publication et propriété).

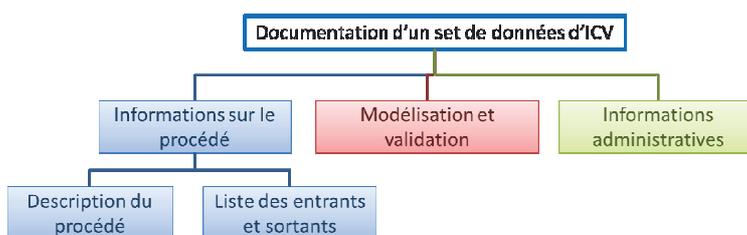


Figure 13 - Format de documentation ISO 14048

2.3.1 Comparaison de différents formats de documentation

Le Tableau 2 présente un comparatif de trois méthodes de documentation différentes : les formats de documentation Ecospold, ILCD et ISO y sont décrits. D'autres variantes de ces formats de documentation existent qui se rapprochent de l'un ou l'autre de ces trois modèles. Ainsi, le format de la base de données ICV suédoise a été établi en conformité à la norme ISO 14048 (Erlandsson, Pålsson, et Haggström 2006), le format de documentation des ICV sur la base de données américaine est basé sur le format Ecospold (NREL 2004), et la base de données Gabi est présentée au format conforme à ILCD (PE International 2006).

ISO 14048	ILCD Version 1.1 beta	Ecospold Version 2.2
Informations générales sur le système		Règles d'affectation (1) Scénario macro-économique (2)
Description du procédé Modélisation (3) Procédés exclus	Diagramme des flux Références associées (4)	Flux intermédiaires listés (UPR) Incertitude associée (3) Références associées (4)
Liste d'intrants et d'extrants Liste unique pour tous les flux Références associées (4)	Liste unique pour tous les flux Règles d'affectation associées	Liste séparée pour l'ICV
Résultats et interprétations (7)		Résultats d'impacts et autres indicateurs présentés Rapports ICV disponibles (4)
Validation (5) Déclaration conformité ISO	Évaluation de la qualité Déclarations de conformité	
Informations administratives		Accès versions précédentes (6)

Tableau 2 - Comparatif de trois formats de documentation d'un set ICV

Dans ce tableau, différentes options de documentation sont sélectionnées pour leur intérêt spécifique. Elles sont détaillées ci-dessous:

1. Dans Ecoinvent, les règles d'affectation appliquées sont indiquées dans les informations générales car le procédé équivalent sans règle d'affectation est également disponible. Ceci permet d'introduire de la flexibilité pour l'application d'une règle d'affectation.
2. Dans Ecoinvent, un champ est disponible pour décrire le scénario macro-économique associé à l'ICV dans le cas d'une modélisation conséquentielle. L'intérêt de ce champ est qu'il permet également de faire référence à des bases de données de type inputs outputs.

3. Dans ISO 14048 : les champs procédés inclus et flux intermédiaires sont renseignés pour détailler la construction d'un procédé agrégé. Pour décrire les règles de coupure appliquées dans la modélisation, différents champs sont disponibles: flux intermédiaires exclus, flux élémentaires exclus, et procédés externalisés. Dans le format de documentation ILCD, un champ est également disponible pour indiquer les procédés et flux inclus dans l'inventaire : « included data sets ». De plus, les flux intermédiaires sont consignés dans l'inventaire des flux sans être pris en compte dans les résultats d'indicateurs d'impacts. Les bases de données comme Ecoinvent et US NREL, fournissent des informations détaillées sur les « procédés élémentaires » inclus dans un système. Ces procédés élémentaires sont présentés dans un tableau décomposant le système complexe en un ensemble de procédés élémentaires (par exemple pour décrire un procédé de teinture, un tableau liste les ICV des produits chimiques et des procédés de foulardage utilisés). Ceci indique que les entrants et les sortants sont enregistrés par étape de production (Finnveden et al. 2009). La désagrégation en procédés élémentaires autorise les réalisateurs d'ACV à revoir les détails de la modélisation et les choix méthodologiques effectués ; et à modifier un inventaire comme le mix énergétique utilisé ou le système de production d'eau. Ce format de documentation améliore la transparence sur la construction de l'inventaire pour une donnée agrégée.
4. Tous les formats de documentation prévoient un champ pour faire référence aux sources bibliographiques. Dans ISO 14048 cependant, il existe plusieurs champs pour faire référence aux sources bibliographiques. En effet, pour chaque valeur de flux dans l'inventaire, un champ fait référence à la source de données correspondante. Ce format est très utile lorsque les intrants et les sortants de l'inventaire proviennent de différentes sources (ont été collectées sur différents sites par exemple). Un champ unique est suffisant pour référencer les sources de données, si toutes les données proviennent des mêmes sources. Dans ILCD et Ecospol le seul champ de références aux sources de données est situé dans la section modélisation. Cependant, en complément de la documentation des ICV, Ecoinvent ou ILCD mettent à disposition des rapports d'étude ICV complémentaires. Le format ILCD permet d'insérer des liens vers des rapports utiles : étude ACV du système, méthode d'ICV appliquée, méthode de validation appliquée, rapport de revue critique.
5. Dans la documentation ISO un champ général "déclaration sur la qualité des données" couvre la précision, les représentativités technologique, temporelle et géographique, la complétude, la pertinence et la cohérence des méthodologies appliquées de l'inventaire. Dans la section validation du format ILCD, différents champs sont disponibles pour noter la précision, la complétude, les représentativités géographique, technologique et temporelle et de la pertinence des choix méthodologiques du calcul de l'inventaire. A partir de ces notations, ILCD a défini une méthode de calcul d'un indicateur qualité de l'inventaire (European Commission 2010). Dans la section modélisation pour chaque processus élémentaire inclus du format Ecospol, il existe un champ renseignant l'incertitude correspondante sur la valeur de flux associée. De plus, le format de documentation des rapports bibliographiques inclut des champs numériques pour une notation de la représentativité temporelle, géographique et temporelle de la donnée (B. P. Weidema et Wesnaes 1996). Dans ILCD, plusieurs champs sont disponibles pour effectuer des

déclarations de conformité à un référentiel donné sur différents aspects, dans ISO un champ de déclaration de conformité à la norme est également prévu.

6. L'accès aux versions précédentes des bases de données Ecoinvent assure une traçabilité des données et des résultats obtenus pour les études réalisées sur des bases de données antérieures.
7. Le format ISO 14048 n'inclut pas de champ descriptif pour la présentation des résultats d'indicateurs d'impacts. Cependant, la partie 2.4 montre que les évaluations des incertitudes peuvent être présentées sur la base des résultats d'indicateurs d'impacts, d'où l'importance de les présenter. D'autre part, la présentation des résultats permet également de simplifier la procédure de validation de l'ICV puisque la vérification d'une douzaine de résultats d'indicateurs d'impacts s'effectue plus rapidement que la vérification de milliers de flux élémentaires dans l'ICV.

Ecospold et ILCD définissent aussi des formats de documentation pour les flux, les sources bibliographiques, etc., ce qui facilite et automatise le remplissage des champs du format de documentation d'ICV. Ces autres formats de documentation participent à l'organisation de la base de données et à ce titre sont décrits plus en détail dans la partie suivante.

2.3.2 Nouveau format de documentation

Nous avons conçu un nouveau format pour documenter les ensembles de données ICV dans EIME à partir des différents formats de documentation présentés ci-dessus et à partir du format de documentation EIME préexistant (Domingo et Orgelet 2009). Ce format de documentation doit pouvoir être utilisé par tous les consultants appelés à créer des ICV. Ainsi l'outil Excel a été choisi pour supporter ce format (voir Annexe 1).

La documentation peut se diviser en 6 parties majeures correspondant à 6 onglets dans un tableur Excel.

Le premier onglet rassemble les champs obligatoires pour la mise en conformité avec le niveau « entry level » d'ILCD ; différents niveaux de conformité existent (Joint Research Center et Institute for Environment and Sustainability 2010). D'autres champs ont été ajoutés pour intégrer les spécificités du logiciel EIME. Des macros ont également été développées pour faciliter et accélérer le travail de documentation, essentiellement pour le renseignement automatique de certains champs à partir d'autres champs déjà renseignés. Le format de documentation a également été conçu de façon à limiter les erreurs de remplissage : système de nomenclature automatisé sous Excel, ajout d'un commentaire descriptif avec exemple pour chaque champ à remplir, génération automatique de l'identifiant unique du set ICV sur le logiciel (UUID)...

Le deuxième onglet inclut un tableau plus complet sur le détail de la modélisation. Les flux intermédiaires ou procédés élémentaires qui ont permis la construction du système sont listés. Pour chaque valeur de flux intermédiaire dans ce tableau, un champ fait référence à la source de données correspondante. Ce champ est très utile puisque chaque donnée de flux intermédiaire peut provenir d'une source différente. Pour chaque valeur de flux intermédiaire, un champ permet de renseigner l'incertitude/précision correspondante sur cette valeur et des champs numériques pour la prise en compte d'une matrice pédigrée (B. P. Weidema et Wesnaes 1996). Les procédés et flux exclus du

système sont également listés avec les justifications d'exclusion correspondantes comme dans le format ISO 14048. Un champ est disponible pour présenter le diagramme de flux du système. Certains champs comme ceux renseignant le rendement, le traitement des pertes ou les constantes de modélisation permettent de guider le développeur d'ICV, d'assurer que le système est correctement modélisé et qu'il n'y a pas eu d'omission.

Dans certains systèmes complexes, des sous-systèmes sont modélisés pour répondre à un besoin ponctuel. Ces sous-systèmes ne sont jamais documentés dans les bases étudiées, mais dans le nouveau format de documentation, un onglet détaillant leurs modélisations a été proposé.

La liste des inputs outputs est disponible dans un onglet spécifique. L'inventaire de cycle de vie est présenté en premier, ensuite les flux de composition du flux sortant, puis l'inventaire des flux de déchets et l'inventaire des flux énergétiques sont présentés.

Ensuite, les résultats des différents indicateurs de design, de flux et d'impacts de l'ICV du système sont documentés. Cet onglet permet également d'assurer la traçabilité des résultats des différentes versions de l'ICV du système.

La dernière partie de la documentation concerne la validation de l'ensemble des données permettant d'obtenir l'ICV du système. La documentation de la validation prend la forme d'une check-list et le remplissage de cette documentation s'effectue en plusieurs étapes, ce qui nécessite des échanges de données entre l'auteur et le valideur (voir chapitre suivant). Pour la dernière partie, l'auteur évalue la qualité globale de l'ICV obtenu.

Les retours d'utilisateurs du format conçu ont permis d'identifier différentes pistes d'amélioration :

1. Un protocole commun d'évaluation de la qualité, de la complétude, de la représentativité de l'ensemble de données global devrait être mis en place. A l'heure actuelle la diversité des sources documentaires, des méthodes de collecte et des méthodes de modélisation rendent l'établissement d'un protocole commun ardu.
2. Le référencement des sources bibliographiques n'est pas suffisant, il faudrait prévoir un accès direct à la bibliographie.

En pratique, la documentation du set ICV est contenu dans un dossier qui lui-même doit contenir :

- un fichier qui représente la modélisation du système dans l'interface
- un dossier qui contient les sources bibliographiques pour qu'elles soient en accès direct
- la fiche de documentation du module qui contient, l'ICV, l'AICV, les informations administratives, les informations sur le système, les informations sur la modélisation, le rapport de revue critique interne.

2.4 Protocole de validation

La validation consiste en une vérification du travail effectué lors de la création de l'ICV du système. C'est une forme de revue critique pour l'ICV. Cette étape peut-être chronophage, et l'élaboration d'une méthode de validation permet d'assurer l'exhaustivité, la qualité et le rendement de la validation.

A l'heure actuelle, les normes 14040 et 14044 formulent quelques recommandations sur les qualifications du valideur et le contenu de la validation mais aucune méthode de validation n'est proposée. ILCD propose aussi des recommandations sur ces aspects (EC et JRC 2010a; EC et JRC 2010b).

D'un point de vue pratique, le protocole de validation que nous avons élaboré peut être divisé en quatre parties : la validation des informations générales et administratives, la validation de la modélisation et des sources bibliographiques utilisées, la validation de l'ICV et des résultats d'indicateurs d'impacts correspondants et enfin l'évaluation de la qualité générale de l'ICV.

La validation des informations générales et administratives comprend la vérification des noms du système représenté et du flux de référence. Ces noms ainsi que les informations générales forment la vitrine de la base de données. Cette documentation doit donc faire l'objet d'une validation.

La validation de la modélisation et des sources bibliographiques utilisées est l'étape la plus complexe pour le valideur. Il s'agit de comprendre les choix méthodologiques effectués, valider la pertinence de l'exploitation des sources bibliographiques, l'architecture du diagramme des flux, etc.

Pour la validation de la liste d'inputs/outputs l'application de la loi de conservation de la masse permet une vérification efficace (composition en matières premières du flux sortant, vérifier que les flux exclus ou non modélisés sont bien négligeables en masse). La formule suivante permet aussi de valider les valeurs des flux énergétiques :

$$PCI \text{ du produit sortant} + \text{énergie de procédé} = \text{Énergie primaire totale.}$$

Pour la validation des résultats d'indicateurs d'impacts, un suivi des versions de l'ICV peut s'avérer très utile, et c'est à cette étape que le valideur vérifie que les procédés exclus de la modélisation respectent bien la règle de coupure (European Commission 2010).

L'évaluation de la qualité globale de l'ICV du système s'effectue lors de la dernière étape de validation. ILCD propose une méthode d'évaluation de la qualité d'un ICV (European Commission et Joint Research Center 2010). Dans ce chapitre, la partie 2.1.5 présentait différentes méthodes d'évaluation de la qualité des données d'ICV et les parties 2.5.1 et 2.5.2 donnent des exemples d'évaluation d'incertitudes sur les ICV moyens. Cependant, ces évaluations ne sont pas effectuées dans le cadre d'une revue critique mais elles sont plutôt considérées comme des étapes supplémentaires lors de la modélisation. Il est vrai que seul l'auteur de la modélisation connaît suffisamment le système pour savoir comment l'évaluer. Ainsi, à l'instar des autres étapes, cette étape de validation est plus amenée à être réalisée par l'auteur de l'étude plutôt que par un valideur externe.

2.5 Cas de la filature

La création des sets ICV représentatifs de la décomposition du cycle de vie d'un textile, en suivant la méthodologie établie, a été la plus longue de cette thèse mais n'est pas détaillée pour des raisons de confidentialité. Seule l'étape de filature est présentée dans la partie suivante pour illustrer avec un cas pratique les efforts effectués de collecte et de traitement des données. Une vingtaine de processus de filature dans des localisations géographiques différentes et représentant des technologies différentes ont été modélisés.

2.5.1 Variations technologiques

Comme montré en partie 1.2.1, il existe différentes techniques de fabrication des fils. Les technologies les plus utilisées pour la fabrication de fils de coton ont été modélisées. On considère un fil fabriqué en Chine. La thermo-fixation et l'utilisation de l'air conditionné sont prises en compte.

Les différentes technologies ont été modélisées à partir de la méthodologie expliquée au paragraphe 2.1.2 et en utilisant le diagramme des flux de la Figure 10. Cette méthode ainsi que la consultation d'experts en filature à l'ENSAIT ont permis d'établir un fichier de collecte des données recherchées.

Le Tableau 3 présente les valeurs des différents paramètres de variation du procédé : la consommation d'énergie par rapport à la technique utilisée (Koç et Kaplan 2007), le diamètre du fil (Søren Ellebæk Laursen et al. 2007), la quantité de lubrifiants introduite et la proportion de déchets (European Commission 2003a).

Fibres de coton	Filature classique cardée		Filature classique peignée	Filature open-end	
Technologie	Toutes les fibres 		Fibres courtes enlevées 	Toutes les fibres 	
Pertes	15%		30%	9%	
Type de fil	Fin	Gros	Fin	Fin	Gros
Lubrifiants	40g/kg		60g/kg	20g/kg	

Tableau 3 - Différentes technologies de filature et fils correspondants

Nous allons comparer l'impact environnemental des différents procédés de fabrication de fil : il s'agit ici d'une comparaison entre 5 différents procédés de production de fil « du berceau à la porte ». Sept procédés de filature fibres courtes sont modélisés : la filature cardée d'un fil fin, la filature cardée d'un gros fil, la filature peignée d'un fil fin, la filature open-end d'un fil fin, la filature open-end d'un gros fil, et 2 procédés moyens de filature d'un gros fil et d'un fil fin.

L'étape de peignage de la filature peignée permet de séparer les fibres courtes des fibres longues. Ainsi, dans la filature peignée, seules les fibres longues sont transformées en fils. Au final, la voie cardée produit 17% de déchets de fibres contre 32% pour la voie peignée. Les fibres courtes issues du peignage sont le plus souvent récupérées et travaillées dans la voie cardée. La voie peignée n'est utilisée que pour fabriquer des fils fins. Le procédé de filature peignée donne un fil plus résistant que le procédé de filature par voie cardée. La filature open-end donne un fil « aggloméré ». Le fil open-end est souvent plus épais et moins résistant que les deux autres ; cependant, cette technologie génère moins de déchets étant donné qu'elle permet de filer même les fibres très courtes qui ne passent pas en filature classique.

Pour modéliser les procédés de filature moyens nous avons effectué une moyenne pondérée de deux ou plusieurs technologies donnant le même produit sortant par rapport aux statistiques de fabrication mondiale. Les différentes proportions mondiales pour les différents types de fils sont présentées dans la Figure 14. Ces proportions sont issues d'un rapport sur les capacités de production dans le monde publié par les fabricants de machines de production textiles (ITMF 2011).

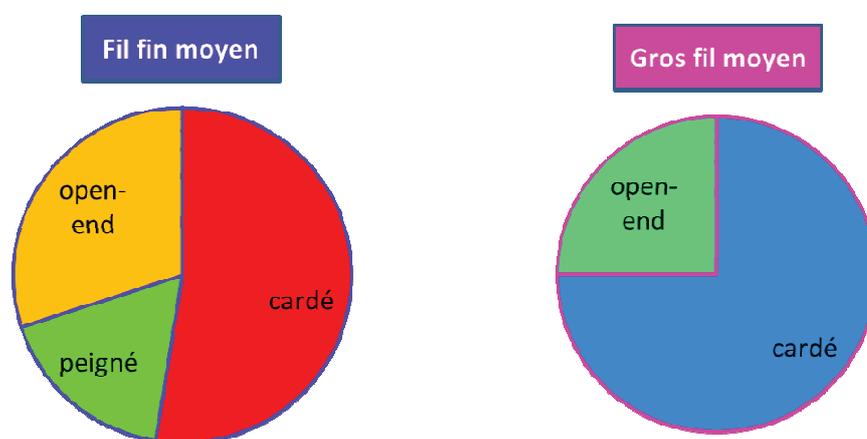


Figure 14 - Modélisation fil fin et fil gros de technologies moyennes (répartition technologique)

Pour les 7 ICV de filature, nous avons calculé les résultats sur les 5 indicateurs d'impacts et les 2 indicateurs de flux présentés partie 2.3.

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) est une méthode de la famille de l'analyse des données, qui consiste à transformer des variables liées entre elles en nouvelles variables décorréées les unes des autres. Ces nouvelles variables sont nommées "composantes principales", ou axes (vecteurs marron sur la Figure 15). Elle permet de réduire la complexité de la modélisation en un nombre de composantes plus limité que le nombre initial de variables.

L'ACP propose à partir d'un tableau rectangulaire de données comportant les valeurs de p variables quantitatives pour n unités (appelées aussi individus), des représentations géométriques de ces unités et de ces variables. Les représentations des unités permettent de voir s'il existe une structure, non connue *a priori*, sur cet ensemble d'unités. Ainsi, on cherchera si l'on peut distinguer des groupes dans l'ensemble des unités en regardant quelles sont les unités qui se ressemblent, celles qui se distinguent des autres, etc. Pour les variables, on cherchera quelles sont celles qui sont très corrélées entre elles, celles qui, au contraire ne sont pas corrélées aux autres, etc.

Dans la Figure 15, les résultats des indicateurs d'impacts et de flux obtenus à partir des différents ICV de filature font l'objet d'une analyse en composantes principales. Les 7 vecteurs marron représentent les axes de résultats sur les différents indicateurs. Les différents types de filature sont dispersés dans le rectangle en fonction de leurs résultats sur les différents indicateurs considérés.

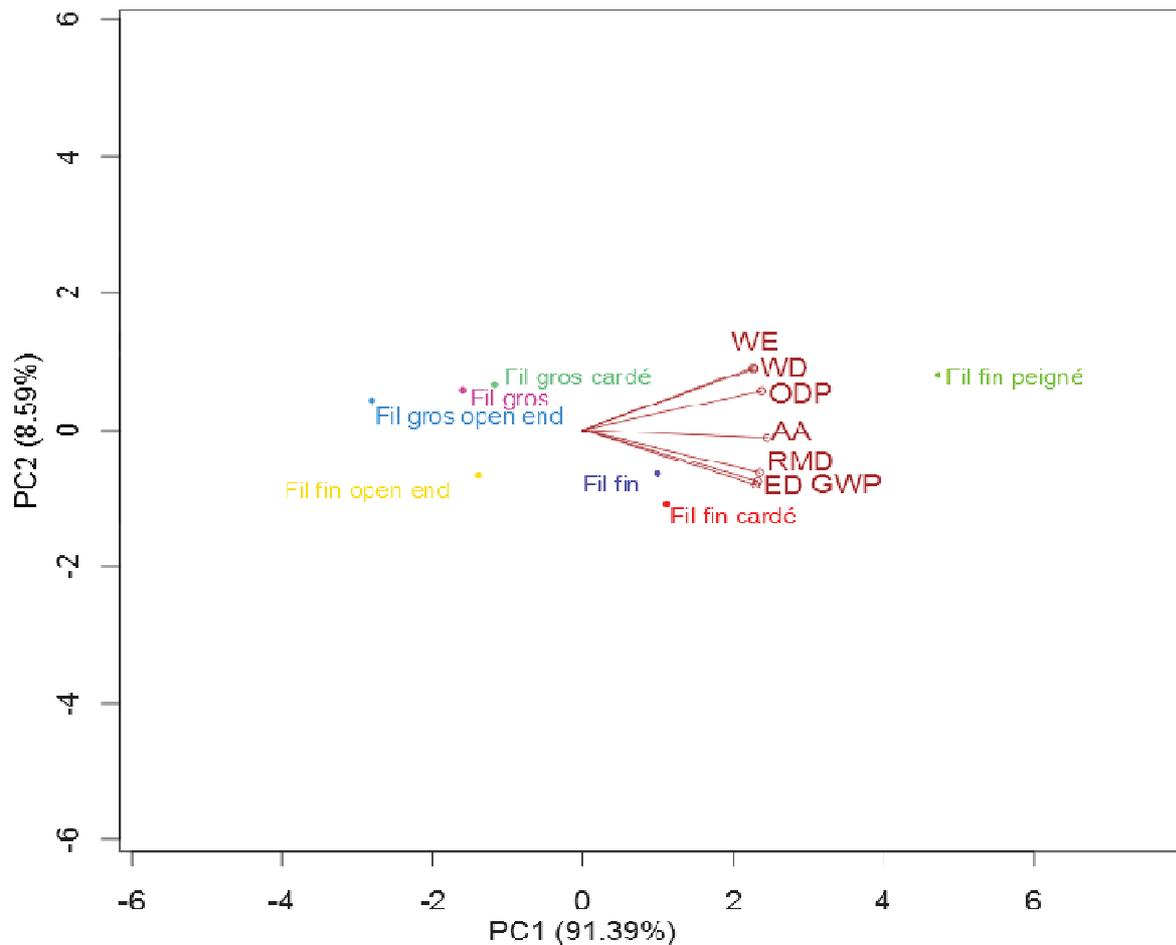


Figure 15 - Analyse en composantes principales des technologies de filature sur leurs résultats d'impacts

Les indicateurs d'impacts environnementaux :

- WE : eutrophisation de l'eau
- AA : acidification de l'air
- GWP : réchauffement climatique
- ODP : destruction de la couche d'ozone
- RMD : consommation de ressources naturelles

Les indicateurs de flux :

- WD : consommation d'eau fraîche potable
- ED : consommation d'énergie primaire

Les résultats de consommation d'eau (WD) et d'eutrophisation (WE), correspondent à une même variable, ils sont sur le même vecteur. Ceci s'explique par le fait que seule la culture du coton participe à l'eutrophisation, la filature consomme de l'eau sous forme de vapeur et les rejets sont donc atmosphériques. Ainsi quelle que soit la technologie de filature utilisée, la consommation d'eau et l'eutrophisation varient de la même façon.

Les résultats d'épuisement des ressources naturelles (RMD), de consommation d'énergie (ED) et de réchauffement climatique (GWP), sont corrélés également à une même variable orthogonale. En effet, la filature est essentiellement un procédé énergivore. La consommation d'énergie participe au réchauffement climatique et à l'épuisement des ressources naturelles étant donné que l'étape de filature qui a été modélisée ici est réalisée en Chine (mix énergétique constitué de 80% de charbon).

D'après la Figure 15, la fabrication de fils open end, bleu clair et jaune, et situés à l'opposé des vecteurs sont à l'origine des impacts environnementaux les plus faibles. Ceci s'explique parce que c'est la technologie la moins énergivore et avec le plus faible taux de déchets. A l'inverse, la fabrication de fil peigné, en vert vif, est à l'origine des plus forts impacts environnementaux. En effet, le fil peigné est la technique de filature qui génère le plus de déchets, ce qui nécessite une production de coton en amont plus importante pour la même quantité de fil obtenue en sortie.

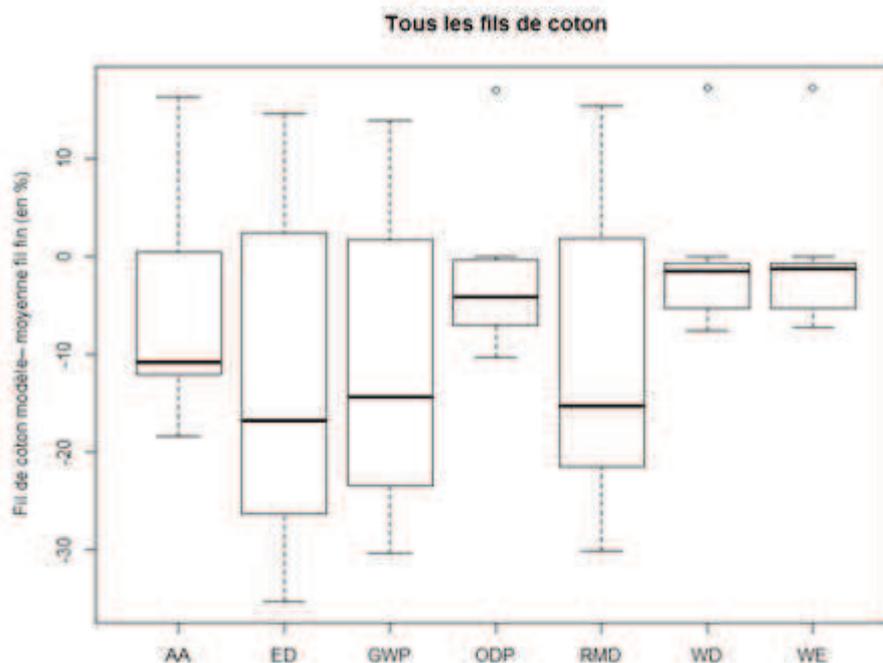


Figure 16 - Dispersion des résultats d'impacts pour différentes technologies de filature de coton

Selon la technologie de fabrication du fil considérée et les indicateurs sélectionnés, les boîtes de Tukey de la Figure 16 montre que les écarts sur les résultats d'impacts se situent entre -40 et 20%.

La boîte de Tukey est un moyen rapide de figurer le profil essentiel d'une série statistique quantitative sans effectuer d'hypothèses sur la distribution statistique de cette série de données. Cette présentation résume quelques caractéristiques de position de la série de données étudiées :

- les quartiles délimitent les bords supérieurs et inférieurs du rectangle,

- la médiane est présentée sous la forme d'un trait noir au milieu du rectangle,
- le minimum, et le maximum ou déciles sont aux extrémités des moustaches.

Pour chaque indicateur d'impact, il y a donc 7 résultats correspondant aux 7 cas de filature. Des réserves peuvent être émises sur les statistiques obtenues sur un échantillon aussi faible, cependant les intervalles de variation des résultats sont intéressants à eux seuls.

2.5.2 Variations géographiques

En 2010, la production des fils utilisés mondialement a eu lieu dans plus d'une quinzaine de pays différents (ITMF 2011). La Figure 17 montre la répartition géographique des usines de filature de coton dans le monde. Les différents ICV de filature pour les 15 pays considérés ont été construits à partir de la méthodologie expliquée au paragraphe 2.1.3.

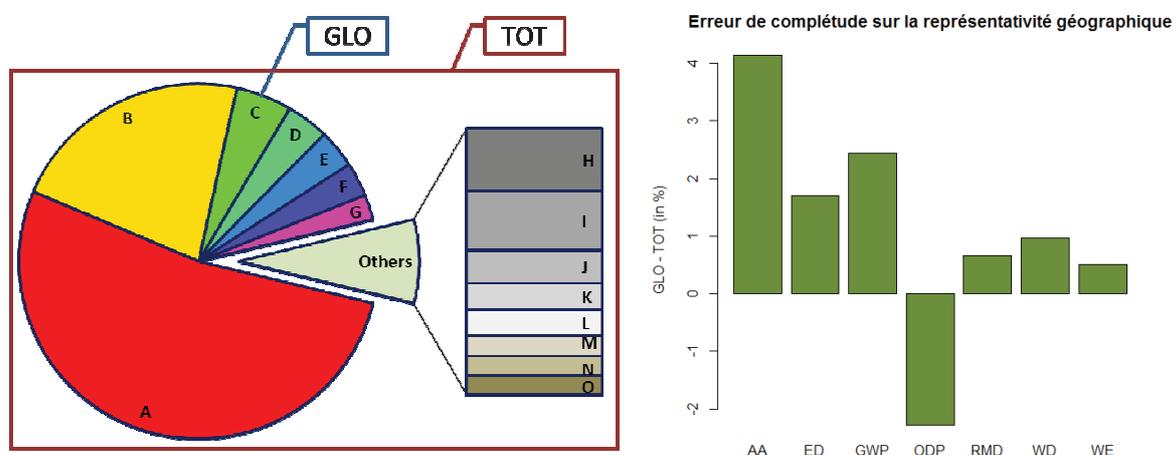


Figure 17 - Représentation de la répartition mondiale des usines de filature cardée et erreur liée à une représentativité géographique évaluée à 90% au lieu de 100%

Certaines bases de données proposent des ICV génériques de production mondiale ou continentale. Ces données sont basées sur des statistiques de production nationales en masse. Un procédé mondial est la moyenne pondérée de plusieurs procédés nationaux de même fonction sur différents sites de production.

Sur la Figure 17, on constate que plus de la moitié des usines de filature sont situées dans le pays A et environ un quart dans le pays B. 90% de la production mondiale est réalisée dans les 7 pays (A à G), représentée par « GLO ». Souvent, les développeurs d'ICV représentent statistiquement 90% de la production « GLO », au lieu de représenter 100% de la production « TOT ». Dans le cas de la modélisation de la « filature cardée moyenne mondiale » cette approximation permet d'éviter de modéliser la filature cardée dans plus de 8 pays (H à O) représentant moins de 10% de la production. Nous avons construit le modèle « TOT » en représentant la filature dans tous les pays concernés, pour le comparer au modèle « GLO ».

Les différences entre les résultats obtenus avec les deux modèles TOT et GLO sont présentées Figure 17. D'après le graphique, l'erreur de complétude liée à la représentativité géographique résultant d'une approximation de la production mondiale à 90% se situe entre -2 % et 4 % pour les

différents indicateurs considérés. La règle de coupure étant fixée à 5% par ILCD sur les critères environnementaux, cette erreur apparaît comme acceptable.

Nous avons aussi comparé les ICV de filature dans les différents pays considérés : il s'agit ici d'une comparaison entre les impacts environnementaux générés par différents procédés de transformation « porte à porte ». Le coton peut être cultivé dans un pays différent de celui de la filature ; ainsi, comparer des procédés « porte à porte » permet d'éviter de faire des hypothèses sur le lieu de culture du coton.

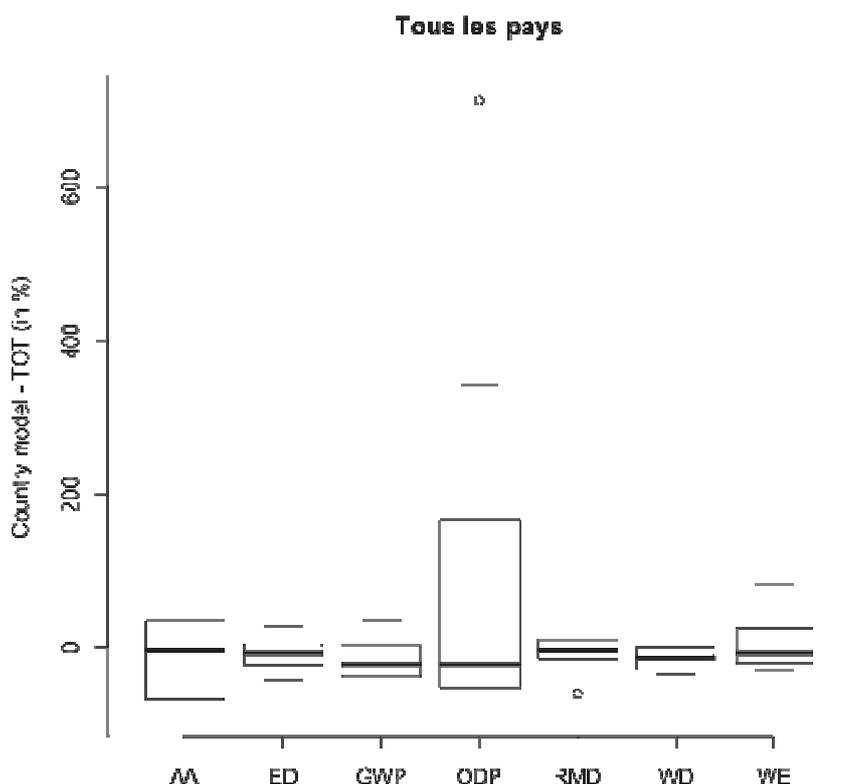


Figure 18 - Écarts d'impacts pour différentes localisations de l'étape de filature

Selon le pays considéré et les indicateurs sélectionnés, la boîte à moustaches de la Figure 18 montre que les écarts sur les résultats d'indicateurs d'impacts se situent entre -83 % et +384 %. Ces écarts sont nettement plus importants qu'entre deux technologies différentes.

Cette étude met en évidence pour l'étape de filature, le fait que la variation de localisation géographique entraîne de plus grosses erreurs de résultats que la variation des technologies employées.

Cette étude montre également que l'utilisation d'un ICV représentatif d'une situation mondiale au lieu d'un ICV dans une localisation géographique spécifique induit des incertitudes très fortes sur les résultats de l'étude.

Cette étude montre finalement que pour l'étape de filature la localisation géographique du procédé est une donnée primaire à collecter en priorité et cette conclusion pourra être étendue aux autres étapes de fabrication. Or, la bibliographie montre qu'à ce jour peu d'importance a été accordée à la localisation géographique des différents procédés de fabrication des textiles.

2.6 Bénéfices d'une démarche de simplification méthodologique pour la création d'ICV

Ce chapitre a décrit et analysé les différentes méthodes de création et de documentation d'un ICV. Il a mis en évidence des lacunes et des manques au niveau de la structure de l'ensemble de données et de leur documentation, de l'évaluation des incertitudes d'un ICV, de la validation d'un ensemble de données. C'est pourquoi une nouvelle méthodologie a été proposée et mise en œuvre. Elle inclut une méthode d'évaluation qualitative d'une donnée de flux intermédiaire, une méthode d'évaluation quantitative des incertitudes liées à l'utilisation de certains types d'ICV, un protocole de validation des données et une nouvelle méthode de documentation d'un ensemble de données ICV qui convient au logiciel EIME.

Ce chapitre montre que la création d'un ICV dans une base de données est constituée de nombreuses étapes. Le lecteur prend conscience de ce qu'implique la création d'ICV spécifiques pour les besoins d'une étude.

L'étape qui demande le plus de réflexion est l'étape de modélisation du système. Il est démontré que la modélisation répond aux problématiques d'affectation d'impact et de représentativité technologiques et géographiques.

Ainsi, l'évaluation de la qualité des données d'entrée et de sortie du système est évaluée à cette étape. La partie 2.2.5 montre comment évaluer la qualité de la modélisation sur un ICV. Toutes les étapes interagissent entre elles et certains biais méthodologiques de modélisation introduisent des erreurs. L'évaluation de la qualité d'une donnée permet d'améliorer les stratégies de collecte. Cette évaluation déterminera directement les résultats de l'évaluation globale de l'ICV. Il est démontré aussi que l'évaluation des incertitudes de données peut se faire également à partir de l'interprétation des résultats d'impacts du système (cas de la filature).

Finalement la partie 2.4 décrit comment automatiser le processus de documentation d'un ICV. La documentation est l'étape qui permet d'assurer la traçabilité des études effectuées. Elle peut même servir à restituer sous un format adéquat les données qui permettront la validation de l'ICV constitué.

La plupart du temps, dans les BDD, les ICV sont développés sans connaître au préalable les limites du système et l'unité fonctionnelle des études ACV dans lesquels ils seront utilisés. Or, différents objectifs nécessitent différents ICV et toutes les ACV ne partagent pas les mêmes limites et règles de modélisation. Souvent ces ICV moyens ne sont pas conformes au champ et à l'objectif de l'étude ACV à réaliser. Dans ce cas, de nouveaux ICV conformes aux objectifs et au champ de l'ACV doivent être créés pour répondre au besoin. Par exemple, les études ACV sur EIME ne prennent pas en compte les infrastructures, donc pour inclure un ICV d'Ecoinvent dans une étude ACV sur EIME, il faut lui soustraire les impacts de l'infrastructure.

Pour répondre à cette problématique, le chapitre 3 présente une méthodologie visant à cadrer et guider le réalisateur d'ACV dans l'utilisation des ICV mis à sa disposition.

3 Création d'une méthodologie d'ACV adaptée au secteur textile

L'outil EIME est un référentiel de mise en œuvre de l'ACV. Il est majoritairement à destination des industriels et non des experts en ACV. Il comprend le support informatique de la base de données, le contenu de la BDD et différentes interfaces de design (« produits électriques électroniques », « transports marins » et « produits génériques »). Ces différentes interfaces traduisent une approche sectorielle. En effet, chaque secteur industriel doit faire face à des problématiques environnementales différentes et applique donc des règles de modélisation du cycle de vie spécifiques.

Il a été créé selon le principe décrit Figure 19. Quatre types d'accès à l'outil informatique EIME sont possibles. L'administrateur a accès au code informatique du logiciel et donc à toutes les applications, il gère les droits des différents utilisateurs. Les Managers de projets et de la BDD sont des experts environnementaux, ils peuvent créer des modules ou réaliser des modélisations, ce sont des consultants chez CODDE. Le Designer a uniquement accès à une interface et peut modéliser des cycles de vie à partir de la base de données, le designer est le plus souvent un client qui paie une licence EIME.

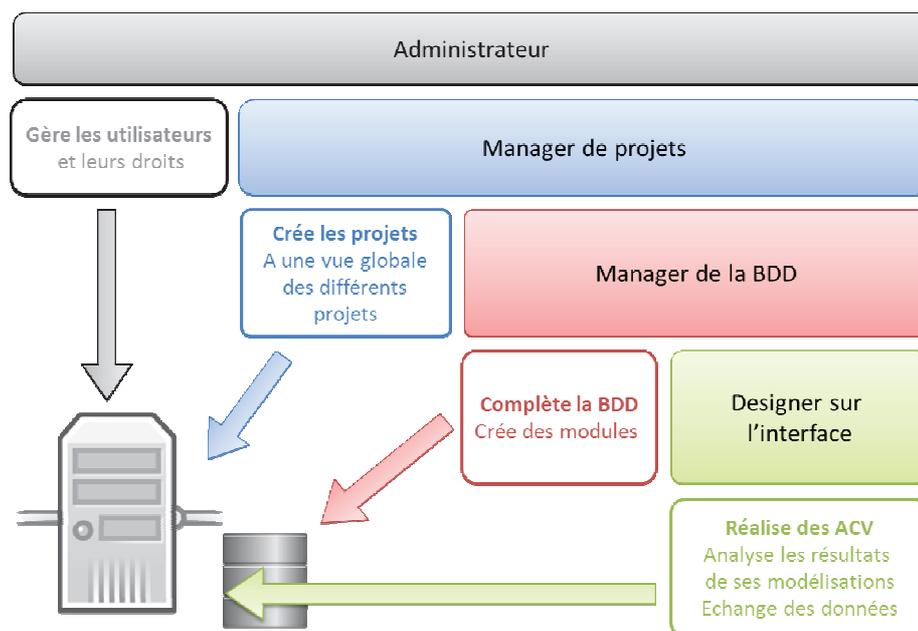


Figure 19 - Diagramme représentant les différents acteurs et leurs fonctions sur EIME V5

Ce chapitre vise à décrire la méthodologie développée pour la réalisation d'analyses du cycle de vie de produits textiles. Les problématiques à résoudre sont les suivantes :

- les supports de modélisation réalisés à partir d'EIME devront présenter de grandes facilités d'utilisation pour pouvoir être utilisés par des fabricants comme des distributeurs,
- la modélisation de la chaîne de fabrication devra respecter un enchaînement logique de procédés textiles,
- les modélisations des phases d'utilisation et de fin de vie devront prendre en considération les caractéristiques imputées au textile dans la phase de fabrication.

Cette méthodologie nécessite l'utilisation de trois outils : le fichier de collecte du produit, un support informatique pour la BDD de EIME et l'interface EIME-Designer. La BDD et l'interface de design sont intégrées dans le logiciel EIME V5.

Les supports informatiques : le support informatique de la BDD et l'interface et le fichier de collecte (tableur Excel), utilisés pour la modélisation sont présentés dans la première partie du chapitre 3. Le fichier de collecte est décrit en premier. C'est le fichier qui est envoyé au client et qui définit les données primaires à collecter. Ces données sont celles qui seront nécessaires à la modélisation du produit dans le logiciel EIME. La base de données contenue dans EIME V5 est décrite ensuite. Enfin, l'interface du logiciel EIME V5 utilisée pour modéliser les articles textiles est décrite. C'est l'interface sur laquelle l'architecture du cycle de vie du produit est modélisée.

En deuxième partie du chapitre 3, les règles de modélisation du cycle de vie textile sont décrites dans l'ordre chronologique selon la phase du cycle de vie considérée. Cette partie décrira en général comment l'utilisateur pourra s'organiser avec ces trois outils qui interagissent. La Figure 20 représente les liens entre les trois outils : la modélisation du produit réalisée via l'interface consiste à sélectionner des ensembles de données ICV paramétrables, appelés modules, dans la BDD et les caractériser à partir des données reportées dans le fichier de collecte. La méthode de modélisation de la phase de fabrication d'un article textile est décrite en premier. La méthode de modélisation de toutes des étapes de transports et des emballages est présentée en deuxième. La méthode de modélisation de la phase d'utilisation d'un article textile est présentée ensuite. Finalement la méthode de modélisation de la phase de fin de vie d'un article textile est présentée.

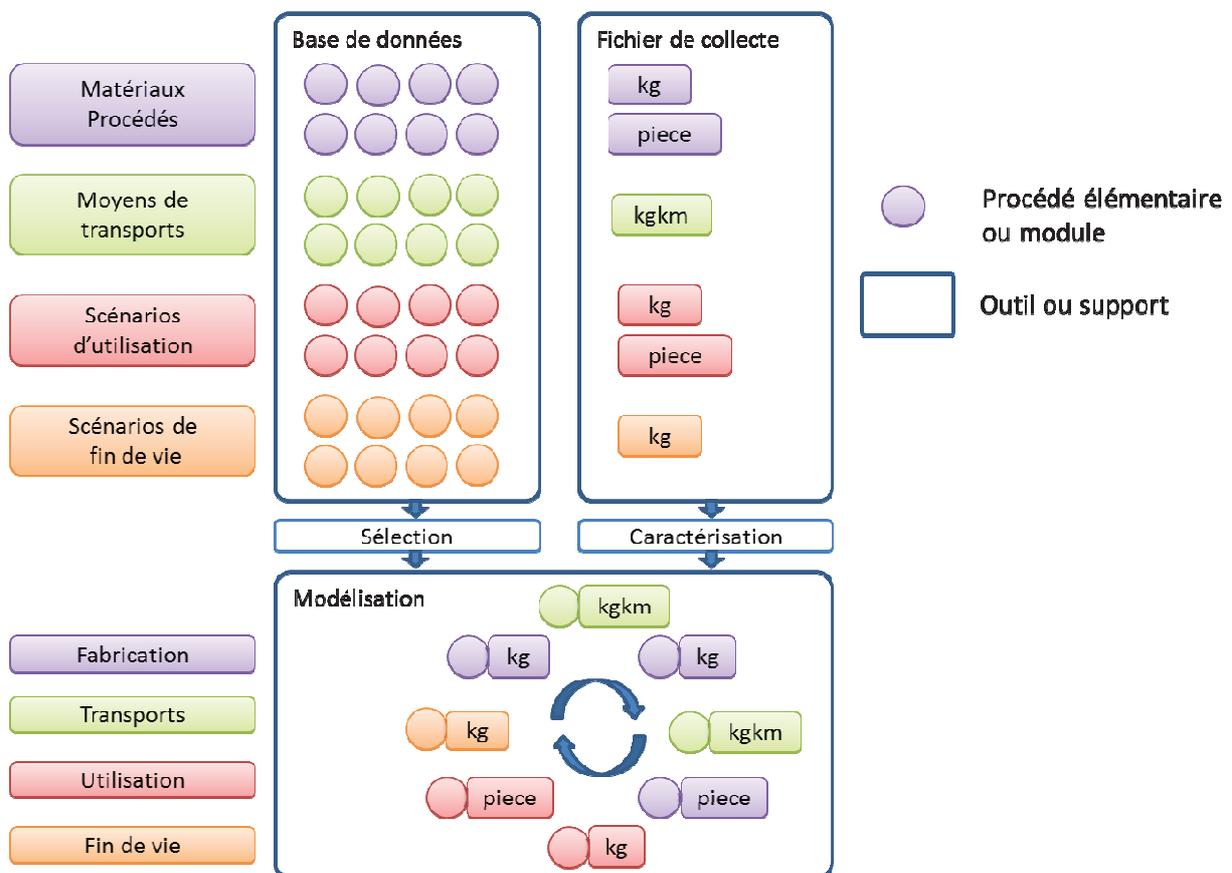


Figure 20 - Représentation de la modélisation d'un produit textile par le designer sur l'interface

3.1 Les supports de modélisation

La première partie présente la base de données sur EIME V5. Le support de la BDD a été développé par l'équipe informatique de Bureau Veritas CODDE pour être conforme aux recommandations ILCD (Orgelet et al. 2012).

La deuxième partie détaille comment le fichier de collecte a été conçu et offre une description du fichier de collecte dans une version complète.

Dans la troisième partie, l'interface décrite a été développée par l'équipe informatique de Bureau Veritas CODDE. Les choix fonctionnels sur l'interface sur EIME V5 ont été établis à partir de l'existant dans EIME V4.

3.1.1 Le support informatique de la base de données ou BDD

Cette partie présente l'organisation générale de la base de données. L'utilisateur doit pouvoir naviguer dans cette base de données afin de sélectionner les modules dont il pourrait avoir besoin. Ainsi, en plus du moteur de recherche, différents systèmes de nomenclature, de classification et de tri ont été implémentés pour faciliter les recherches.

3.1.1.1 *Structure de la base de données*

Le support informatique de la BDD permet de sélectionner, entre autres, les « sets de données ICV » créés selon la méthodologie décrite dans le chapitre 2. Cependant ces sets ICV sont paramétrables selon la quantité du flux de référence recherché et sont appelés des « modules » dans la BDD.

La base de données EIME contient 4 différents types d'ensemble de données : des « modules », des « flux », des « indicateurs » et des « groupes d'unité » pour simplifier la navigation de l'utilisateur (voir Figure 21). Dans le chapitre 4, d'autres types d'ensembles de données seront introduits. Sur la copie d'écran Figure 21, l'onglet sélectionné est celui des modules et le premier niveau du système de classification des modules y apparaît, il est présenté partie 3.1.1.2 plus en détail.

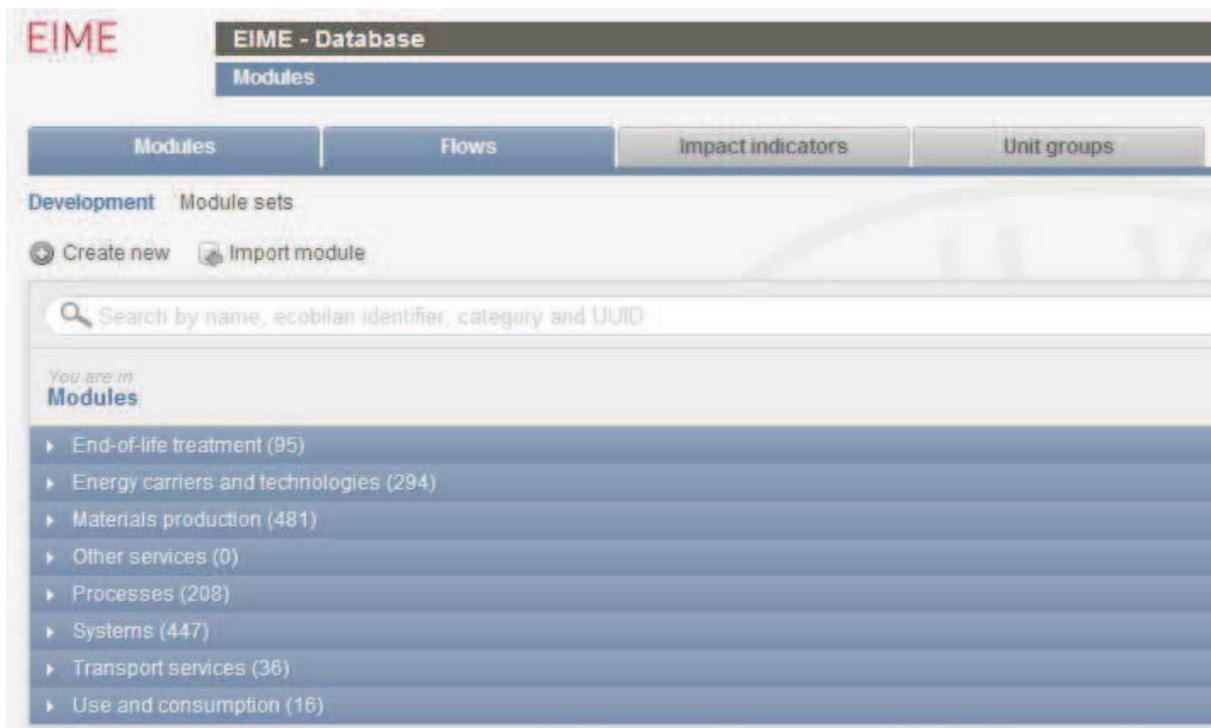


Figure 21 - Copie d'écran de la base de données EIME

Les quatre types de données présents dans la BDD sont décrits ci-dessous dans l'ordre suivant : les flux, les groupes d'unités, les modules, les indicateurs.

Flux

Il existe 4 types de flux sur EIME : les flux de produits, les flux énergétiques, les flux de déchets et les flux élémentaires. *Les flux élémentaires* EIME viennent directement de la base ELCD. En effet, pour pouvoir implémenter les méthodologies de calculs des indicateurs d'impacts conformes à ILCD, la base de données doit regrouper les même flux contributeurs. Ainsi, il existe déjà des fiches de documentation ELCD pour les flux élémentaires. *Les flux de produits sont des flux permettant de modéliser les mono-matériaux.* Un protocole de création et de documentation des flux de produits a été développé. Ces flux de produit peuvent être les flux de référence de modules lorsque les modules représentent la production de matières premières. Les flux de produit servent également à former la BOM : composition du flux de référence d'un module de production de matière (voir Figure 22). *Les flux de déchets* sont les flux permettant de modéliser les déchets générés par le système étudié. *Les flux énergétiques* servent de rappel sur les données d'énergie intermédiaires qui ont servi à obtenir l'ICV, ils ne sont pas inclus dans le calcul des indicateurs d'impacts.

Groupes d'unités

Pour proposer les groupes d'unité, EIME se réfère aux unités du système international. La plupart des modules sont paramétrables par rapport à la « masse de matière introduite ». Cependant, les modules de transports sont paramétrables selon les « kg.km parcourus » et d'autres modules sont paramétrables selon le « nombre de pièces à l'unité » produites. Des unités sont également associées aux flux élémentaires ou aux indicateurs.

Modules

Le module sur EIME représente un « set ICV paramétrable ». Les modules comprennent un flux de référence, des métadonnées (documentation disponible en ligne) et la liste d'Inputs/Outputs qui inclut : la liste des flux élémentaires ou l'ICV, la liste des flux de produits présentés dans la BOM, la liste des flux de rappels en l'occurrence flux énergies et eau, la liste des flux de déchets. Les modules peuvent être catégorisés selon qu'ils représentent des matériaux, des procédés ou des composants. Cette catégorisation reprend plus ou moins les différents types de systèmes décrits dans la partie 2.1 (« porte à porte », etc..). D'autre part chacun de ces modules est également étiqueté selon la base à laquelle il appartient. En effet, le logiciel EIME permet de réaliser différents types d'ACV : produits électriques électroniques, agroalimentaire, textiles, etc.. Dans EIME, les modules sont classés dans des familles en tant que « process », « component », ou material ». Ces familles reprennent en partie le système de classification expliqué partie 2.2.1 et illustré Figure 10. Les modules classés dans la famille « process » représentent des procédés simples n'incluant pas la production de matière, ce sont des systèmes de type « porte à porte ». Les modules classés dans la famille « material » représentent des systèmes de production d'une matière première. Les modules de la famille « component » intègrent plusieurs systèmes de production et a fortiori plusieurs matières. Les « components » peuvent plus ou moins être considérés comme des systèmes de production complexes.

Indicateurs d'impacts

Les méthodologies de calculs des indicateurs d'impacts sont également importées de la méthode ILCD. La documentation de ces méthodologies est également assurée par ILCD. Cependant, EIME propose en plus des indicateurs d'impacts des indicateurs de design et des indicateurs de flux. Les indicateurs de flux sont assez simples à calculer, deux indicateurs de flux sont présentés dans la partie 2.5.1 : la consommation d'eau et la consommation d'énergie. Les indicateurs de conception sont les suivants : le potentiel de recyclabilité du produit sortant et la composition du produit sortant (BOM).

Le potentiel de recyclabilité d'un produit de consommation peut être calculé sur EIME lorsque les filières de recyclage du produit considéré sont déjà bien mises en place. C'est le cas pour les produits électriques électroniques avec la filière DEEE, pour les textiles ce n'est pas encore le cas.

La Bill of Materials, appelée BOM construite selon le schéma Figure 22 est considérée comme un indicateur de conception dans EIME étant donné qu'elle est calculée au même titre que les autres indicateurs. La composition du produit sortant est obtenue en cumulant les différents flux de produits inclus dans la liste d'entrants et de sortants. Les BOM sont renseignées uniquement pour les modules des familles « material » ou « component ».

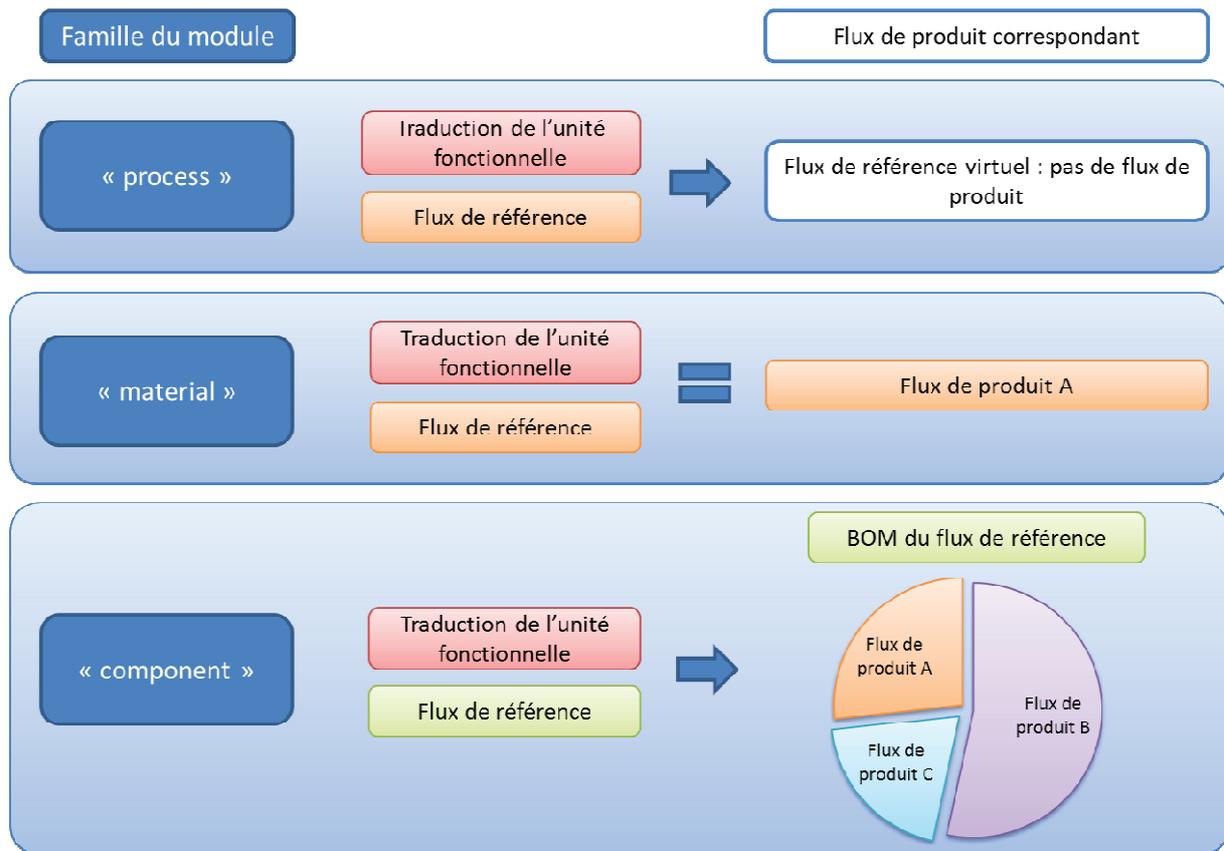


Figure 22 - Construction de la BOM, indicateur de design

Onglet Unit groups

3.1.1.2 Proposition de classification des modules et des flux élémentaires dans EIME-TEX

Parmi ces types de données : les « flux élémentaires » et les « modules » sont présents en grand nombre dans une base de données et ont donc besoin d'être organisés donc classés. Deux systèmes de classification ont donc été implémentés pour ces données dans EIME V5 ; celui pour les modules sera présenté en premier et celui pour les flux élémentaires en deuxième.

Proposition de classification des modules

Le système de classification ILCD identifie les « sets ICV » dans les différentes phases du cycle de vie :

- « du berceau à la porte » comme les matières premières, production d'énergies, mix de production ou de consommation, les systèmes
- « du berceau à la tombe » comme les cycles de vie de produits finis,
- « de la porte à la porte » comme les transports, services, l'utilisation, les imports ou exports, les transformations
- « de la porte à la tombe » comme les traitements de fin de vie

Le système de classification général des modules dans EIME-TEX est présenté Figure 23. La marge de manœuvre pour proposer un système de classification des modules textiles était assez étroite. D'une part, le nouveau système de classification devait rester conforme à ILCD et d'autre part, les niveaux de classification sont limités à 3 pour des raisons d'ergonomie. D'autre part, le système de classification pour les modules textiles des ICV a été établi le plus précis possible pour une future paramétrisation ou sélection automatique des procédés (voir chapitre 4). Ainsi, les cases bleues représentent les classes existantes dans le système de classification ELCD et dans EIME; les cases vertes représentent les classes créées dans EIME pour répondre à des besoins spécifiques ou pour classer les modules textiles.

Dans le système de classification EIME, il y a 3 niveaux de classification (Figure 23). La classe « Process » (au milieu de la Figure 23) rassemble les systèmes porte à porte. Cette classe est non modélisée dans ELCD parce que l'architecture de la base de données n'est pas adaptée. La base de données ELCD ne prévoit pas de décomposition des « sets ICV » en processus élémentaires. Les modules sous la forme de « Process » doivent pouvoir être disponibles dans une base de données textile parce que la phase de fabrication des textiles est séquentielle : les différents circuits de fabrication sont des enchaînements d'une suite de procédés dépendant les uns des autres.

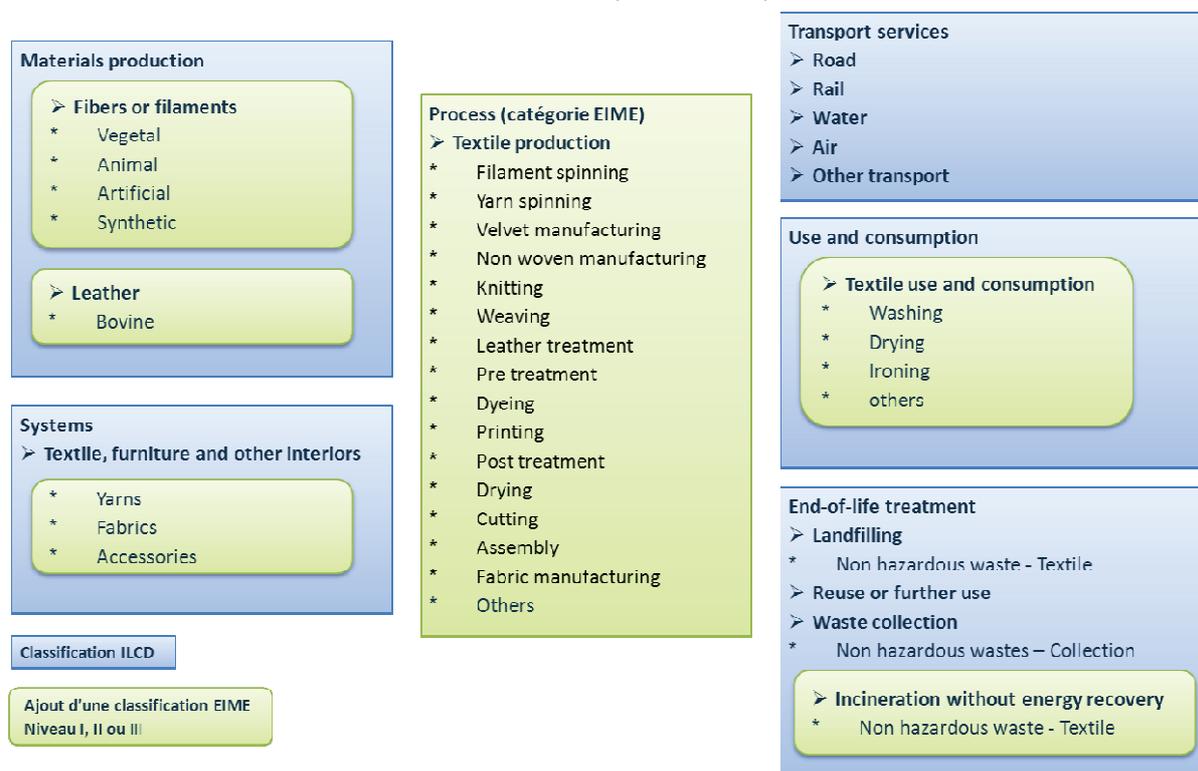


Figure 23 - Proposition de classification des modules textiles dans EIME-TEX, nouvelles classes en vert

Proposition de classification des flux élémentaires

Pour le système de classification des flux élémentaires, le système de classification des flux ILCD a été adopté dans la BDD EIME. Ce système de classification des flux élémentaires est présenté dans le Tableau 4 et comparé avec le système de classification des flux Ecoinvent.

Cette comparaison de deux systèmes de classification des flux élémentaires met en évidence les problématiques environnementales traitées par la base de données Ecoinvent. Par exemple,

concernant les problématiques d'émissions dans l'eau, ces distinctions entre les flux élémentaires déterminent quelles méthodes de calcul des impacts sont applicables pour la base de données. Ainsi, la prise en compte des émissions d'eau dans le sol permet de mesurer la pollution des eaux souterraines résultante. De la même façon, différencier les émissions d'eau dans les lacs, de celles dans les rivières permet d'associer des facteurs de caractérisation plus élevés pour les émissions participant à l'eutrophisation dans les lacs où l'eau ne circule pas. De même les émissions dans des espaces protégés doivent être prises en compte différemment des émissions dans des espaces non protégés. Enfin, la classification Ecoinvent intègre les différents procédés de traitement des déchets.

Le système de classification des flux Ecoinvent présente de nombreux avantages mais n'a pas été implémenté dans la base de données EIME parce que le contenu de la base de données EIME n'intègre pas encore certains flux déjà intégrés dans Ecoinvent : on ne distingue pas les sortants émis dans les espaces protégés des sortants équivalents émis dans des milieux non protégés par exemple.

	Classification flux élémentaires ILCD	Classification flux élémentaires Ecoinvent
Ressources	<ul style="list-style-type: none"> Dans l'air Dans le sol Dans l'eau Dans la biosphère 	<ul style="list-style-type: none"> Dans l'air Dans le sol Dans l'eau Dans la biosphère Eau Autres Utilisation des sols
Émissions dans l'air	<ul style="list-style-type: none"> Non spécifiée Non spécifiée (long terme) Air urbain proche du sol Air non urbain hautes cheminées Basse stratosphère et haute troposphère 	<ul style="list-style-type: none"> Non spécifiée Faible densité de population (long terme) Haute densité de population Faible densité de population Stratosphère Aire protégée
Émissions dans l'eau	<ul style="list-style-type: none"> Non spécifiée Non spécifiée (long terme) Eau douce de surface Eau salée 	<ul style="list-style-type: none"> Non spécifiée Sol, long terme Sol fossile Lac Rivière Rivière, long terme Océan Aire protégée
Émissions dans le sol	<ul style="list-style-type: none"> Non spécifiée Sol cultivable Sol non cultivable 	<ul style="list-style-type: none"> Autres Sol élevage et culture
Traitement des déchets		<ul style="list-style-type: none"> Décharge matériaux inertes Décharge matières résiduelles Enfouissement sanitaire Dépôt en profondeur Incinération déchets dangereux Incinération municipale Traitement des effluents aqueux Recyclage Démolition bâtiments

Tableau 4 - Proposition de classification des flux élémentaires dans ELCD et Ecoinvent, en vert les classes spécifiques à Ecoinvent

3.1.2 Conception et présentation du fichier de collecte

Le fichier de collecte est un tableur Excel. Le fichier est envoyé au distributeur ou fabricant du produit. Les données primaires pour réaliser l'Analyse du Cycle de Vie sont collectées et reportées sur ce fichier. Le fichier de collecte doit servir à rassembler les données primaires qui caractériseront le cycle de vie du produit dans la modélisation.

Les **données primaires** sont des valeurs quantifiées issues de mesures directes ou de calculs à partir de mesures directes d'une activité ou d'un processus du cycle de vie du produit.

Les **données secondaires** ou **données génériques**, en revanche, sont des valeurs quantifiées d'une activité ou d'un processus de cycle de vie du produit obtenues à partir de sources autres que la mesure directe ou le calcul à partir de mesures directes. Lors de la modélisation d'un article textile sur EIME ces données sont représentées par les modules. Grâce à la méthodologie établie dans le chapitre 2 et plus spécifiquement la partie 2.2.3., certaines données génériques ont déjà été collectées et sont représentées par des « sets ICV paramétrables » ou « modules ». La plupart de ces modules sont paramétrables par rapport à la masse de matière introduite en entrée sauf précision contraire. Ainsi, la plupart des données primaires à collecter sont des masses (voir partie 3.2.2 également).

Les **données semi-spécifiques** sont des données secondaires ou génériques précisées par défaut mais pouvant être spécifiées par l'opérateur afin d'améliorer l'évaluation environnementale. Lors de la modélisation du cycle de vie d'un article textile sur EIME ces données sont représentées par les constantes de modélisation ou par des données d'ICV paramétrables.

La mise à disposition de données génériques dans la base de données a permis de réduire de façon conséquente le nombre de données primaires à collecter. Par exemple, les consommations énergétiques des procédés de fabrication n'ont plus besoin d'être collectées sur site.

Comme expliqué dans l'introduction du chapitre 2, avant d'obtenir la version finale du fichier de collecte, différentes versions de fichiers ont été envoyées à des fabricants par l'intermédiaire de distributeurs ou non. Une des versions antérieures du fichier prévoyait une collecte de données sur les consommations énergétiques aux étapes de production. Les collectes de données sur les étapes en amont de la fabrication se sont avérées infructueuses. Ce qui a montré la nécessité de développer des données génériques à cette étape pour simplifier la collecte.

Le paragraphe suivant présente les frontières du cycle de vie d'un produit de consommation textile qui ont été définies pour concevoir le fichier de collecte dans sa version finale. L'utilisation de ce fichier de collecte et de la base de données EIME entraîne la prise en compte des frontières du système décrites ci-dessous pour n'importe quelle modélisation. Les étapes suivantes sont incluses :

- les étapes de production des matières premières
- la production et la fin de vie des composants non textiles (attaches, gaines, coque...)
- la production et la fin de vie des emballages primaires

- les étapes de fabrication des pièces de l'ensemble lingerie (incluant les étapes de production de fibres, filature, ennoblissement, fabrication de l'étoffe, confection)
- les étapes de distribution jusqu'au magasin (transport depuis l'usine de confection jusqu'aux entrepôts de livraison ou aux plates-formes distribution).
- les étapes de transport de fabrication
- les étapes d'utilisation
- les étapes de fin de vie (non prise en compte des bénéfices environnementaux liés à la récupération d'énergie à l'incinération et liés à la production évitée de matière première).

Selon les phases du cycle de vie, certaines étapes sont exclues des frontières du système. Ces étapes sont exclues des frontières du système parce qu'à l'échelle de l'Analyse du Cycle de Vie d'un produit de consommation produit en plusieurs centaines d'exemplaires, leurs impacts peuvent être négligés. Ces étapes sont listées ci-dessous :

- le transport des utilisateurs de machines
- la fabrication et la maintenance des machines utilisées
- la construction et la maintenance de l'infrastructure
- les flux des départements administratifs, de gestion, de R&D
- les installations de restauration des utilisateurs de machines
- le transport de collecte des déchets d'emballages après utilisation

Pour chaque étape du cycle de vie, la localisation géographique doit être collectée. Comme vu dans la partie 2.3.2, les variations sur la localisation géographique du même procédé de filature sont à l'origine de -80% à 300% de variations sur les résultats d'impacts. Ainsi, la localisation géographique des activités influe énormément sur les résultats, pas nécessairement parce que les distances de transports entre les étapes ne sont pas les mêmes mais plutôt parce que la localisation géographique détermine le mix énergétique utilisé, les systèmes de traitements des déchets et des effluents utilisés. La BDD textile développée représente environ 90% de la répartition géographique des technologies de fabrication dans leurs localisations géographiques respectives puisque pour la réalisation des transferts géographiques de technologies nous sommes basés sur les statistiques de l'ITMF (ITMF 2011).

Pour chaque étape du cycle de vie, la technologie utilisée doit également être collectée. Comme vu dans la partie 2.3.1, les variations sur la technologie utilisée pour la filature sont à l'origine de -30% à 50% de variations sur les résultats d'impacts. Ces variations sur les résultats d'impacts peuvent être très différentes d'une technologie à l'autre selon les innovations technologiques du secteur. La BDD textile développée représente environ 90% des technologies de fabrication utilisées.

Sur la plupart des procédés de transformation, les pertes matières ne sont pas collectées comme des données primaires. Ceci s'explique par le fait que pour une technologie donnée, des moyennes des rendements obtenus d'un site à l'autre sont utilisés; des rapports sur les différentes industries de fabrication textile donnent les pertes moyennes pour les différentes technologies et les systèmes traitements de ces pertes (Payet 2011; ADEME 2002). Par exemple, le traitement des pertes en ennoblissement n'est pas complètement pris en compte. La plupart des usines en ennoblissement appliquent une procédure de recyclage en interne qui consiste à reteindre en noir les teintures ratées. De ce fait, la plupart des « modules » représentant des activités de transformation de la matière incluent déjà les pertes et le traitement de pertes en tant que données génériques.

Le fichier de collecte proposé est divisé en 5 onglets. Dans la méthodologie établie, les informations à collecter sont : les données administratives, les données primaires sur la phase de fabrication telles que le lieu de fabrication et les procédés de fabrication utilisés, les données primaires sur la phase de distribution, les données primaires sur la phase d'utilisation et les données primaires sur la phase de fin de vie. La BDD contient des modules paramétrables représentant ces procédés. Il suffira juste de trouver dans la BDD le procédé qui convient et de paramétrer le module correspondant selon la masse de la pièce.

-> *Le premier onglet* rassemble les **données administratives** et fournit une description du système représenté. Le système étant le cycle de vie du produit étudié. Les données administratives doivent être renseignées pour aider la gestion du projet (par exemple : les dates de début et de fin de collecte, l'auteur de la collecte)

-> *Le deuxième onglet* rassemble les **données primaires à collecter sur la phase de fabrication** du produit. Un article textile est généralement composé de plusieurs pièces, le nombre de pièces composant un article textile peut être supérieur à 25 pour un soutien-gorge par exemple. Ces pièces peuvent être issues du même tissu ou non. La collecte sur la phase de fabrication d'un produit textile se divise selon le nombre de pièces, textiles ou non, incluses dans le produit final. Deux données caractérisant ces pièces sont renseignées : leurs compositions et leurs masses.

Les informations relatives à la fabrication de ces pièces sont ensuite renseignées pièce par pièce. Le circuit de fabrication des pièces textile est divisé en 5 étapes en moyenne : la production des matières premières, la fabrication du fil, la fabrication de l'étoffe, l'ennoblissement et la découpe (se référer à la Figure 5 partie 1.2 pour retrouver les 5 étapes). Chacune de ces étapes correspond à un site particulier. Dans la méthodologie établie, les informations à collecter concernent le lieu de fabrication et les procédés de fabrication utilisés.

Les pièces ou composants non textiles, incluant les emballages primaires, ne suivent pas le même circuit. Leur circuit de fabrication se divise le plus souvent en deux étapes, la production de matière première et la fabrication du produit. Exemple du bouton : le polyester est fabriqué à partir du pétrole et la matière est ensuite moulée sous forme de bouton.

Les différentes pièces sont ensuite assemblées pour former le produit final. A cette étape : la zone géographique du site d'assemblage, les technologies utilisées, et les taux de pertes à la découpe doivent être collectés comme données primaires. Les pertes à l'étape de découpe sont sujettes à de

grosses variations selon le type d'article fabriqué (Dias et al. 2009). C'est pour cela que cette donnée de perte constitue une donnée primaire.

Pour les transports de matière effectués dans la phase de fabrication les données primaires à collecter sont les suivantes : les kg de matières transportés, la distance parcourue, le moyen de transport utilisé et les taux de charge à l'aller et au retour.

-> *Le troisième onglet* rassemble les **informations à collecter sur la phase de distribution** du produit. La phase de distribution rassemble les étapes de fabrication des emballages secondaires, les transports du site d'assemblage aux sites de stockage jusqu'à la mise à disposition en magasin. La distribution rassemble en général 2 étapes de transports : celui du site d'assemblage jusqu'au site de stockage et celui du site de stockage jusqu'aux sites de distribution. Pour les transports de textiles effectués, les données primaires à collecter sont les mêmes que pour les transports dans la phase de fabrication. La collecte de données pour la fabrication des emballages secondaires contient les mêmes éléments que pour la modélisation des emballages primaires.

-> *Le quatrième onglet* rassemble les **informations à collecter sur la phase d'utilisation** du produit. Les fabricants ou distributeurs peuvent selon les caractéristiques de leurs produits prévoir des scénarios d'utilisation. Le comportement de l'utilisateur restant difficile à prévoir, il est fortement conseillé au fabricant ou au distributeur de prendre en compte des statistiques d'utilisations réelles et de s'appuyer sur des résultats de tests qualité pour estimer la durée de vie de leur produit (voir partie 1.4 et 3.4). Si la durée de vie est calculée à partir de tests qualité, alors le fichier de collecte devra contenir les résultats de ces tests voir partie 3.4.2 pour un exemple.

-> *Le cinquième onglet* rassemble les **informations à collecter sur la phase de fin de vie** du produit. Cependant, le comportement de l'utilisateur restant difficile à prévoir, il est fortement conseillé au fabricant ou au distributeur de prendre en compte des statistiques de fin de vie réelles (voir partie 1.5 et 3.5).

3.1.3 Développement d'une interface générique

L'interface de design désigne l'emplacement sur lequel le dessin du cycle de vie est effectué. L'interface Designer sur EIME V4 était adaptée à l'Analyse du Cycle de Vie de produits électriques et électroniques. Pour les besoins de cette thèse entre autres, une interface générique a été conçue. L'interface générique doit permettre à un utilisateur de modéliser des produits appartenant à différents secteurs (ameublement et textile par exemple).

Cette interface propose à l'utilisateur de diviser sa modélisation en 5 parties : la fabrication, la distribution, l'installation, l'utilisation et la fin de vie. Ce découpage est important parce que des analyses de contribution sur les impacts seront en partie effectuées selon ce découpage. La phase d'installation est proposée pour les modélisations des textiles étant donné que dans certains cas cette phase a un impact qui lui est lié ; par exemple la pose d'un filet de pêche en pleine mer. Chaque phase du cycle de vie possède une plage de design (présentée Figure 24 et Figure 25).

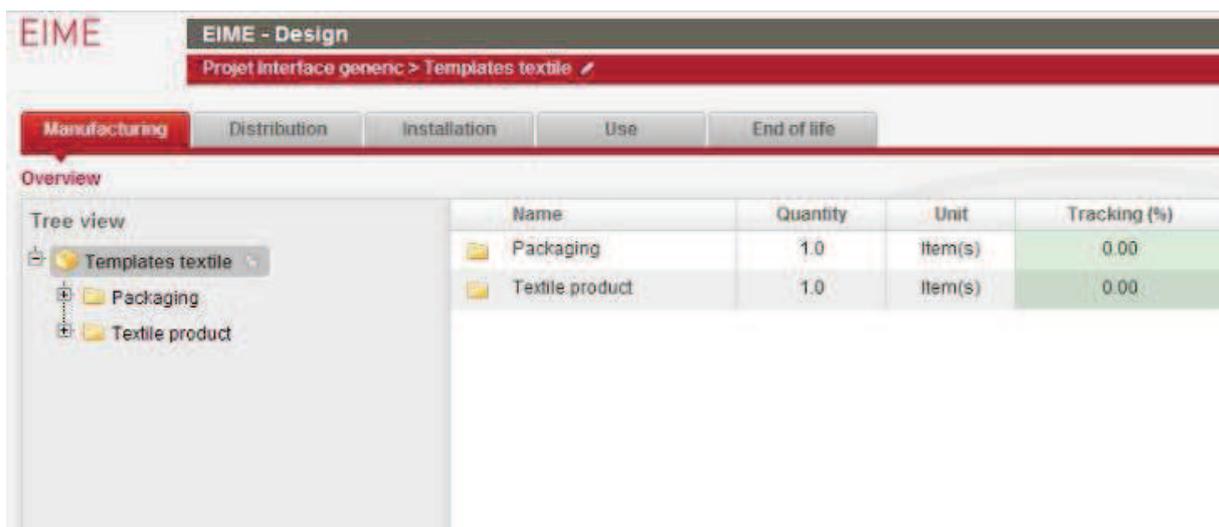


Figure 24 - Espace de modélisation sur l'interface générique EIME Design

Les espaces de modélisation des phases de fabrication, d'installation, d'utilisation et de fin de vie sont les mêmes à quelques exceptions près (voir partie 3.3.3). L'utilisateur modélise la phase en insérant des modules dans l'espace de design. Les « part », « sub-assembly » et « folder » sont des conteneurs qui servent à structurer la modélisation (voir Figure 25). Tous les modules et tous les flux de la base de données sont accessibles à partir d'un moteur de recherche ou dans des classes déroulantes dans l'espace BDD à gauche (Figure 25).

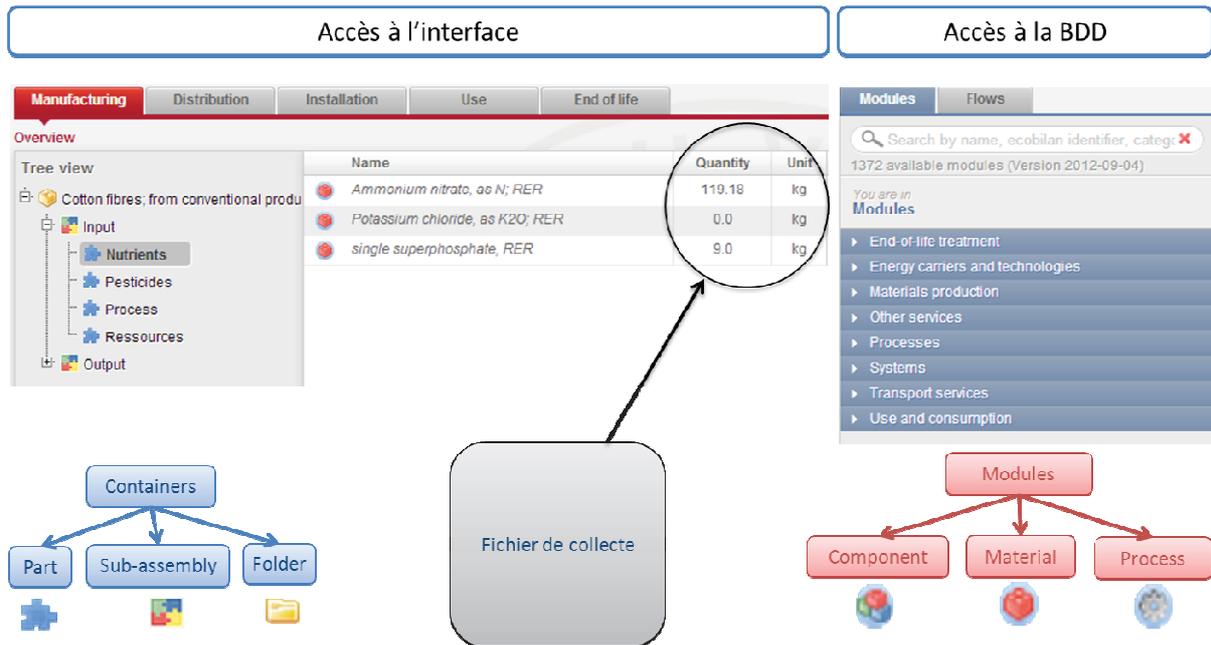


Figure 25 - Exemple de modélisation sur l'interface à l'aide des données du fichier de collecte et de la BDD

Les textiles sont utilisés dans un grand nombre de secteurs : transports, ameublement, électronique, habillement, agroalimentaire, emballages etc... Donc finalement, l'utilisation d'une interface générique pour modéliser les systèmes incluant du textile se justifie. Cependant, dans le chapitre 4, les problématiques de création d'une interface spécifique permettant de modéliser des systèmes incluant du textile sont exposées.

3.2 Modélisation de la fabrication

La modélisation de la phase de fabrication peut être très chronophage. Les mêmes fibres peuvent être travaillées dans beaucoup de circuits différents. Si le fichier de collecte est mal rempli, l'utilisateur de l'interface n'a aucune indication pour effectuer un choix parmi les modules qui sont à sa disposition. Deux cas de figure se présentent : soit la personne qui réalise l'ACV connaît le secteur de fabrication textile en détail, et, déduit elle-même quelle technologie a probablement été utilisée ; soit la personne qui réalise l'ACV n'a aucune connaissance du secteur de fabrication textile auquel cas, il a besoin de guides de modélisation.

Ainsi, différents guides ont été établis à partir d'entretiens avec différents acteurs et experts dans les différents secteurs d'activités considérés. Ces différents guides de modélisation adaptés à chacune des étapes de fabrication sont présentés et comprennent les règles pour transformer les fibres en fils, les règles pour transformer les fils en étoffes, et les règles pour ennoblir les différentes matières textiles.

3.2.1 Règles de sélection des modules sur la phase de fabrication

Les étapes de fabrication traduisent la transformation d'un matériau en un autre. Or, chaque matériau ne peut être transformé qu'avec certains procédés. D'après le modèle présenté Figure 26, seulement 3 étapes de fabrication nécessitent l'utilisation de guides de modélisation : la fabrication des fils, la fabrication de l'étoffe et l'ennoblissement.

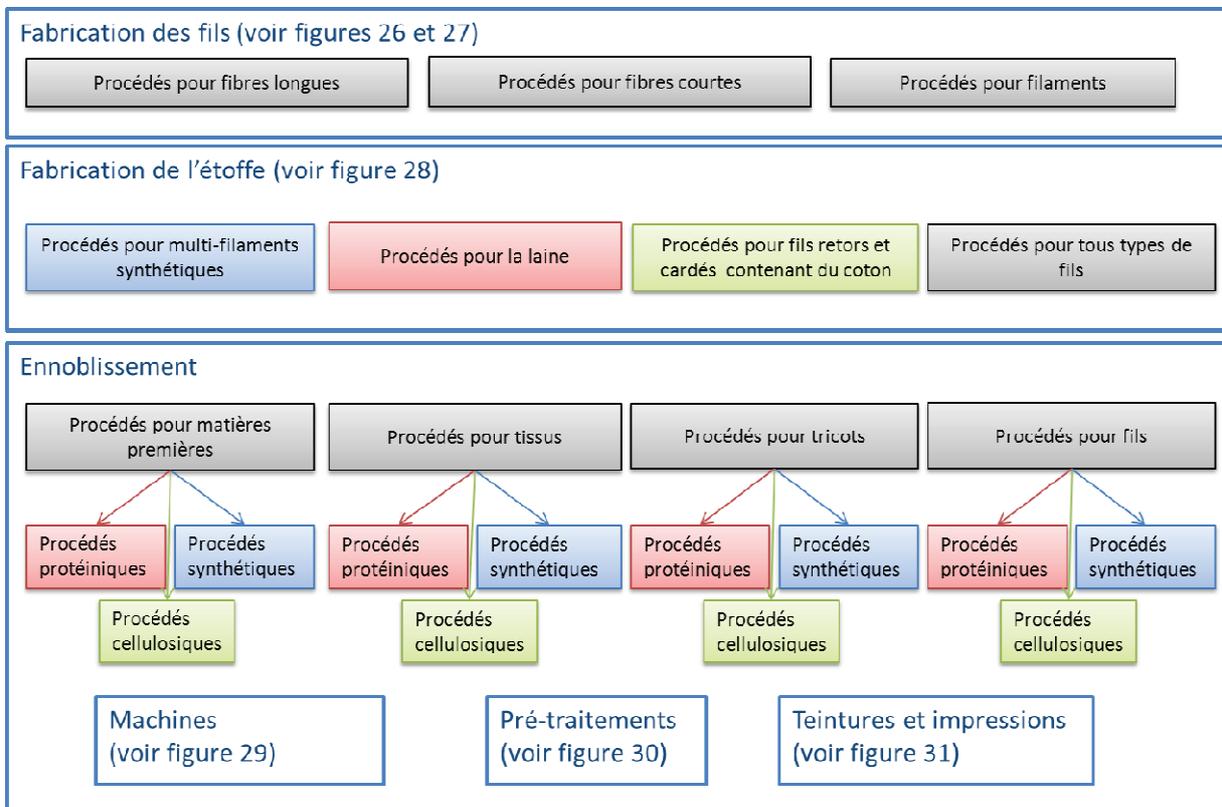


Figure 26 - Les trois étapes de fabrication nécessitant des guides de modélisation

Le premier guide traite des règles de modélisation pour la transformation des fibres ou filaments en fils. Les figures sont présentées ci-dessous sous forme de diagrammes arcs-points. Sur l'étape de filature, les procédés de fabrication diffèrent selon la longueur des fibres : les fibres longues, les fibres courtes (Figure 27) et les filaments (Figure 28).

La filature fibres courtes concerne tous les mélanges de fibres contenant du coton. Le coton est une fibre naturelle relativement courte par rapport aux autres fibres et les technologies de filature appliquées pour assembler ce type de fibres sont donc spécifiques.

La filature fibre longue concerne tous les mélanges de fibres contenant des fibres longues comme la laine, le lin, le jute ou le chanvre.

Les fibres synthétiques et cellulosiques sont d'abord filées sous forme de filaments, le moulinage sert à texturer les filaments et à les assembler sous forme de fils multi-filamentaires. Cependant ces filaments peuvent aussi être découpés par craquage ou convertissage et passer en filature fibres courtes.

Les fils retors issus du retordage, sont fabriqués à partir de fils cardés ou peignés. Tous les fils à coudre sont des fils retors.

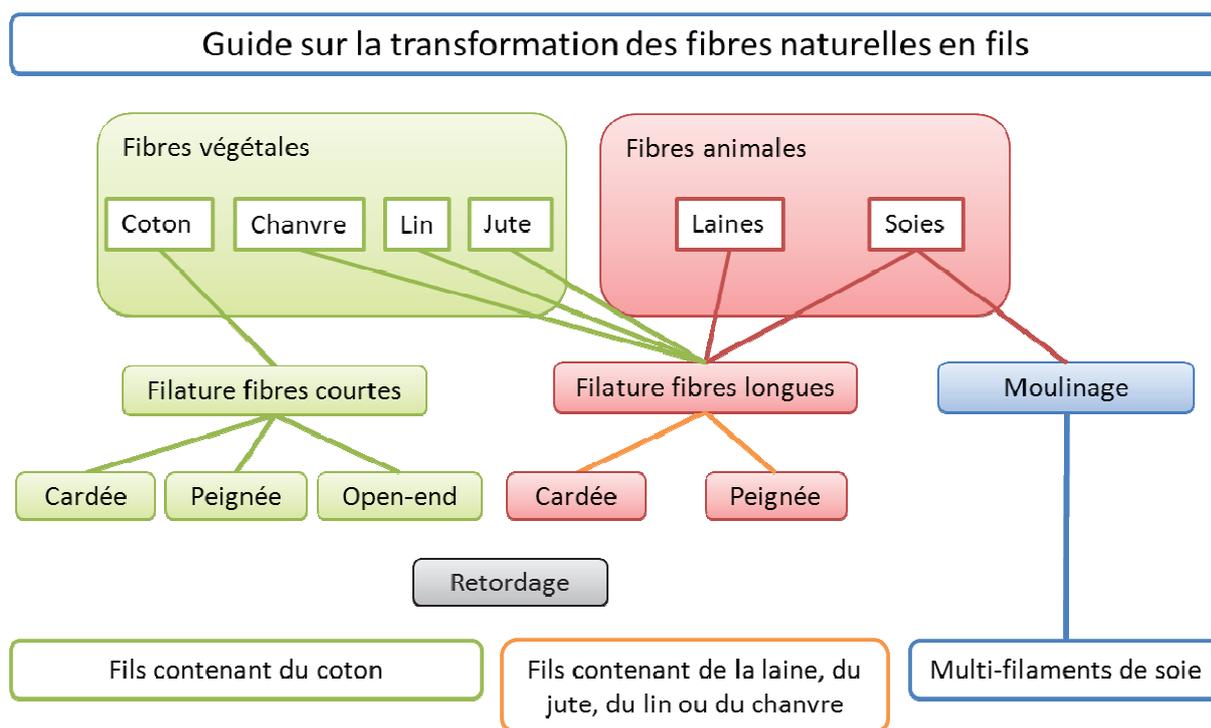


Figure 27 - La fabrication des fils à partir des fibres naturelles

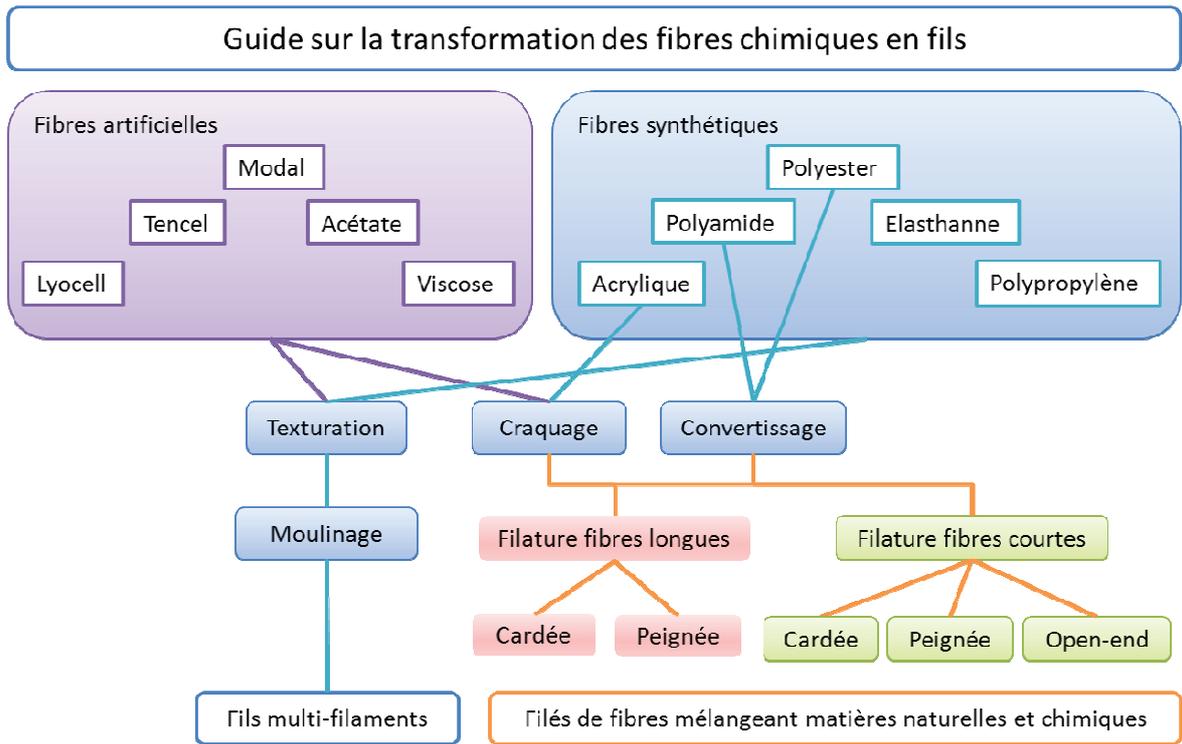


Figure 28 - La fabrication des fils à partir des fibres chimiques

Le deuxième guide concerne la fabrication des étoffes, il est présenté Figure 29. Pour fabriquer les différentes étoffes, différents matériaux sont utilisés.

Pour les non-tissés la nature chimique des fibres détermine la voie et le type de liage utilisé. Ainsi, seules les fibres synthétiques thermoplastiques peuvent passer en voie fondue. Et seuls les mélanges de fibres cellulosiques peuvent passer en voie humide, proche de la voie papetière.

Pour les tissus, la solidité du fil joue un rôle important dans le type de machine utilisé. Les métiers pour tisser des fils multi-filamentaires sont spécifiques. Les métiers utilisés pour tisser les filés de fibres utilisent au moins 50% de fils retors étant donné que ceux-ci doivent être solides s'ils sont placés comme fils de chaîne. Les métiers utilisés pour filer les fils de laine sont aussi spécifiques de même pour les produits d'encollages appliqués sur la laine.

Pour la technologie de fabrication des moquettes modélisée dans EIME-TEX, des fils multi-filamentaires sont utilisés. Pour la technologie de tissage des tapis représentée, des filés de fibres épais en matière naturelle sont utilisés. Pour les technologies de tricotage représentées, il n'y a pas de précisions sur le type de fils à utiliser.

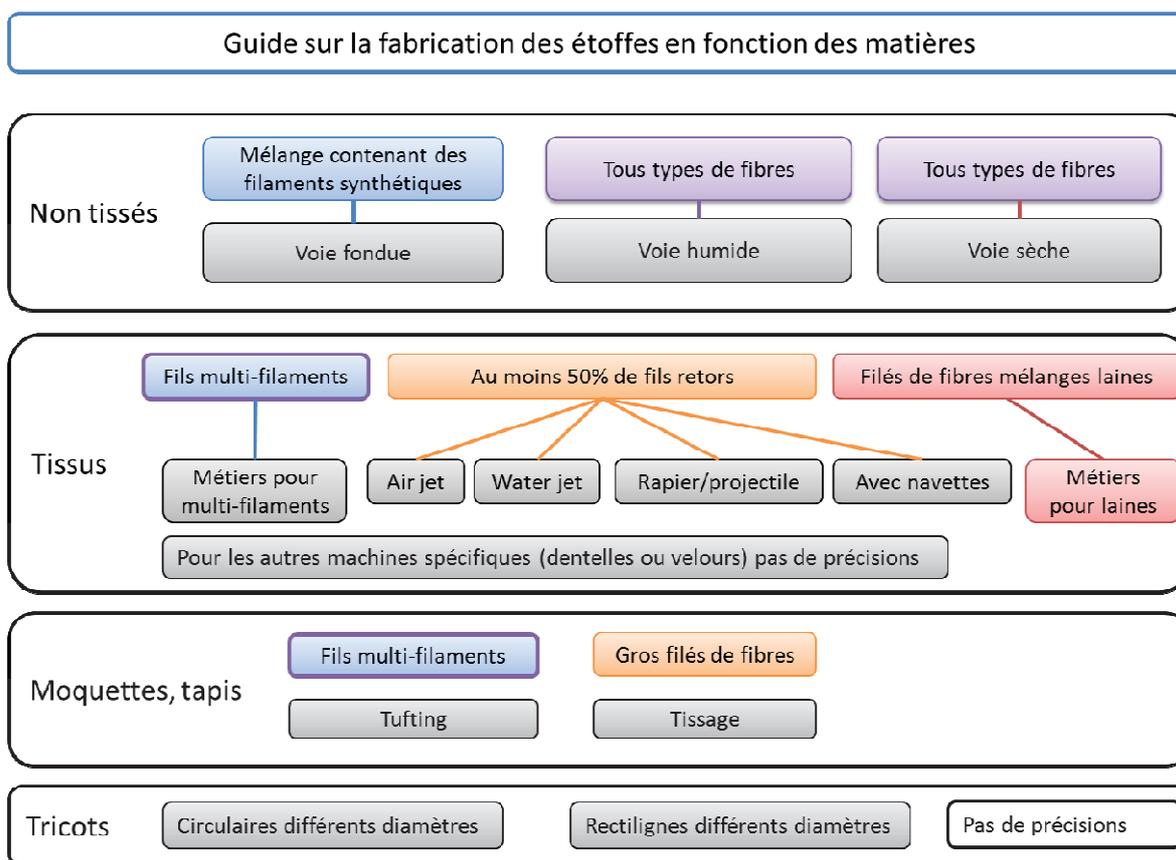


Figure 29 - Guide sur la fabrication des étoffes selon les matériaux et les matières premières

Les trois derniers guides concernent l'étape d'ennoblissement des matériaux textiles. C'est une étape complexe qui peut avoir lieu à différentes étapes chronologiques (voir Figure 5, partie 1.2).

Selon l'étape où le traitement intervient, la matière textile ne se présente pas en entrée sous la même forme, et les machines conçues pour traiter la matière ne sont pas les mêmes. Les choix de technologies sont plus ou moins variés selon l'état de la matière textile à traiter; le premier guide méthodologique donne les machines correspondant à l'état de la matière (voir Figure 30).

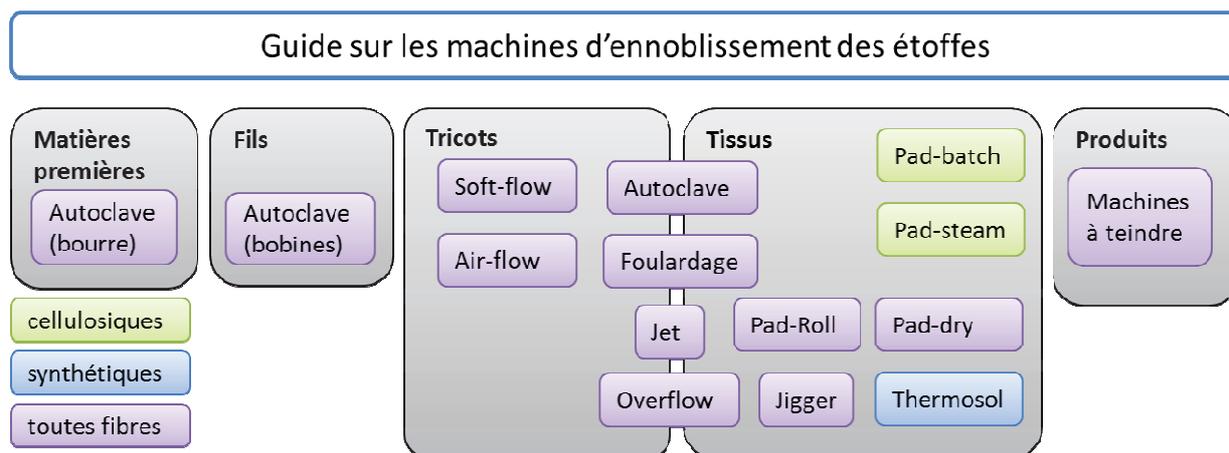


Figure 30 - Guide sur l'utilisation des machines d'ennoblissement selon les étoffes

L'ennoblissement se divise en trois étapes, le prétraitement, la coloration du tissu et le post-traitement. Le prétraitement sert à débarrasser la matière première de ses impuretés et prépare la matière à la teinture. La coloration peut être faite par impression ou par teinture. Le post-traitement est optionnel et sert à ajouter des propriétés au textile. Par exemple, certains articles font l'objet d'un traitement easy-care. Cet apprêt a pour but de faciliter l'entretien des articles.

Le deuxième guide méthodologique concerne le prétraitement. Il décrit quels sont les procédés les plus adaptés selon la matière textile et le résultat recherché (voir Figure 31). Il existe une règle assez simple qui permet de savoir quel traitement correspond à quelle matière fibreuse. Les traitements d'ennoblissement peuvent se diviser en trois principaux types de recettes : le traitement des fibres cellulosiques, des fibres protéiniques et des fibres synthétiques.

Pour les tissus, une étape de désencollage est nécessaire parce qu'il faut débarrasser les fils de chaîne de l'encollage dont on les a enduits pour les solidifier.

Pour les étoffes composées partiellement ou intégralement de coton, un traitement particulier est réalisé : le débouillissage. Le débouillissage consiste à nettoyer le coton afin d'éliminer les impuretés (cires, graisses...) naturellement présentes dans les fibres. Le blanchiment concerne seulement les articles teints en nuance claire pour un meilleur rendu de la couleur. Le mercerisage transforme la cristallinité et la surface de la fibre pour améliorer ses propriétés tinctoriales, il est optionnel. Le flambage sert à diminuer la pilosité de l'étoffe, qui est assez importante étant donné que le coton est une des fibres les plus courtes. Ce traitement n'est effectué que dans le cas où l'étoffe doit ensuite être imprimée.

Pour les étoffes composées partiellement ou intégralement de laine, des traitements supplémentaires sont réalisés : le lavage et le carbonisage. Le lavage de la laine consiste à nettoyer

la laine afin d'éliminer les impuretés (graisses, poussières...) naturellement présentes dans les fibres. Le blanchiment concerne seulement les articles teints en nuance claire pour un meilleur rendu de la couleur.

Pour les étoffes en synthétique, les étapes de pré traitement sont plus rapides, car, contrairement aux matières naturelles, les fibres synthétiques sont naturellement blanches et propres dans l'ensemble. Le blanchiment n'est effectué que pour produire du blanc.

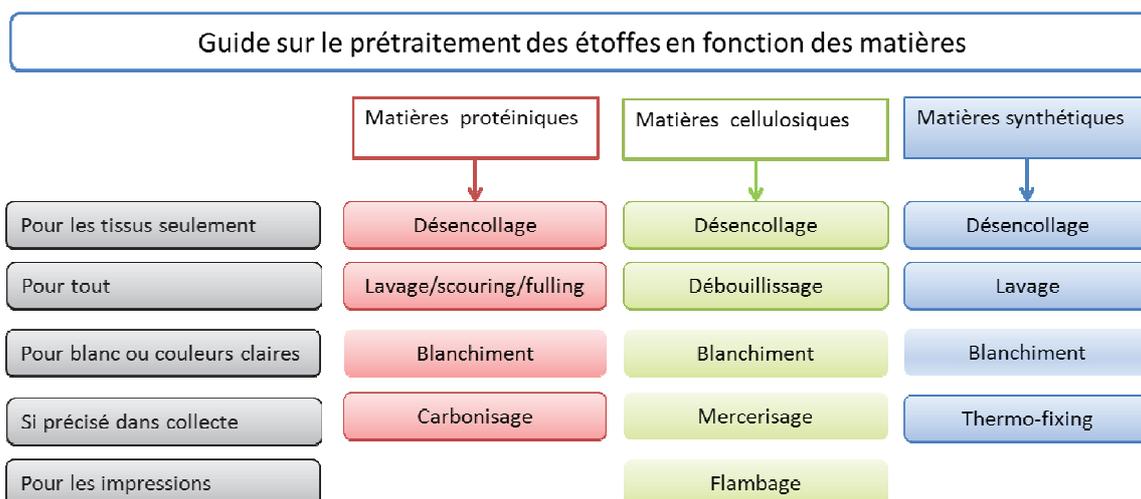


Figure 31 - Règles pour le pré-traitement des textiles

L'étape de coloration peut être réalisée avec différents types de colorants. Les recettes de bains de teinture et de pâtes d'impression sont rarement collectées. La Figure 32 ci-dessous décrit de façon plus explicite et détaillée quels colorants correspondent à quelles fibres. Le colorant utilisé déterminera le bain de teinture donc une partie des émissions dans l'eau du procédé.

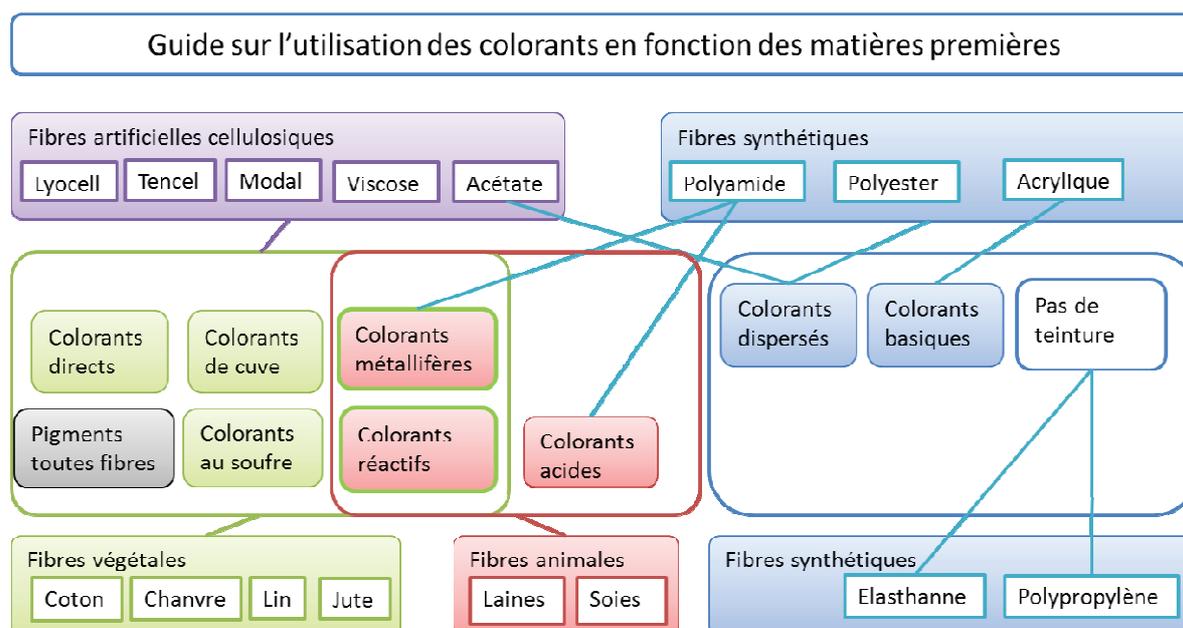


Figure 32 - Les colorants adaptés aux différentes matières premières

3.2.2 Calcul des entrants à la fabrication en tenant compte des pertes

La succession des étapes de fabrication présentée Figure 5 de la partie 1.2 est une source d'erreurs dans la modélisation. En effet, chaque étape engendre des pertes qui doivent être traitées. Ces pertes doivent être comptabilisées dans la masse entrante. Selon les étapes de fabrication et les résultats de la collecte de donnée, les pertes sont : soit, calculées par rapport à la masse de produit sortant (les rebuts), soit, par rapport à la masse initiale de produit. Dans l'un ou l'autre des cas, les formules de calcul à appliquer ne sont pas les mêmes. La Figure 33 présente un exemple de circuit de fabrication pour une pièce textile constituée d'une seule matière première dans un système. Les formules des masses initiales sont calculées par rapport à la masse finale M_f de la pièce en rouge et par rapport aux pertes à chaque étape en bleu.

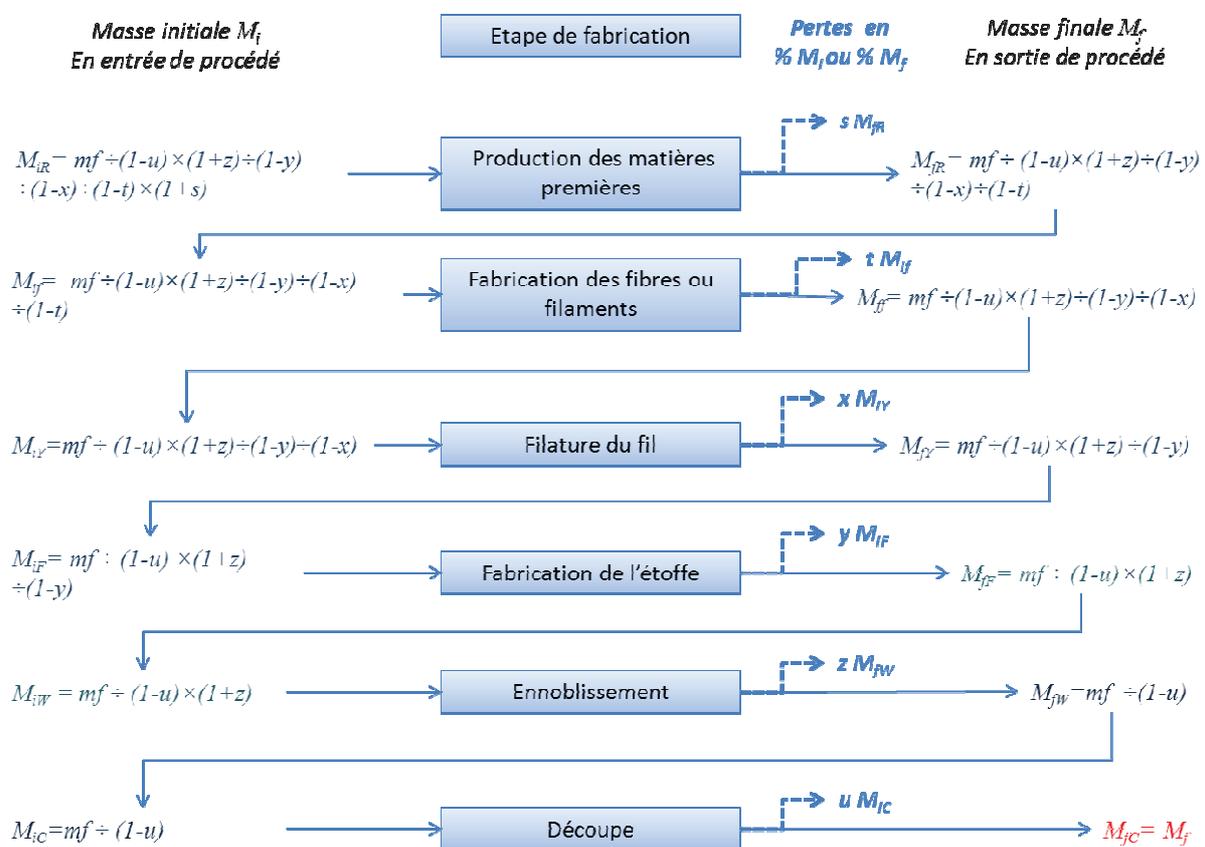


Figure 33 - Calculs pour obtenir les masses entrantes requises à chaque étape de fabrication

Un fichier de calcul automatique des pertes à chaque étape a été développé et sera mis à disposition de l'utilisateur dans une boîte à outils (toolbox). Ce fichier permet de traiter les différents circuits de fabrication possibles et calcule automatiquement les masses entrantes à introduire en fonction de la masse finale recherchée, du procédé appliqué, et des pertes collectées. La Figure 5 partie 1.2 identifie environ 4 circuits de fabrication d'une étoffe en fonction de la position de l'étape d'ennoblisement dans la chaîne. Mais il faut également prendre en considération le fait que les

matières textiles sont souvent mélangées dans une même étoffe et ces mélanges peuvent intervenir au niveau de l'étape de filature ou au niveau de la fabrication de l'étoffe. D'autre part, ces mélanges peuvent contenir plus de 2 matières premières.

Pour la plupart des étapes, les pertes sont des données génériques (voir fichier de collecte partie 3.1.2). Ainsi ce tableur Excel s'appuie sur une table de données répertoriant tous les modules, les pertes et les traitements de ces pertes.

3.3 Modélisation des transports et des emballages

Les étapes de transports au sein de la phase de fabrication sont considérées comme en amont et les étapes de transport de la distribution sont considérées comme en aval.

Comme indiqué dans la partie 3.1.2, la fabrication des emballages primaires et secondaires est prise en compte et modélisée de la même façon que la fabrication des composants non textiles.

Les modules de transports sont des sets ICV paramétrables en kg.km (transport d'un poids de 1kg sur une distance de 1km).

Pour les transports routiers, la norme sur la qualité environnementale des produits de construction (NF P01 010 2006) calcule la quantité de gasoil « g (Q) » consommée pour transporter une quantité Q d'un produit de la façon suivante:

$$g(Q) = \frac{38}{100} km \left(\frac{1}{3} \frac{C_r}{24} + \frac{2}{3} + 0,3 \frac{2}{3} \right) N = \frac{38}{300} km \left(\frac{C_r}{24} + 1,3 \right) N$$

km : est la distance de transport du produit, en kilomètres ;

Cr : est la charge réelle dans le camion, comprenant la masse des emballages et des palettes ;

Q : est la quantité de produit transporté (produit + emballages éventuels) ;

N : est le nombre de camions nécessaires pour transporter cette quantité. $N=Q/Cr$

38/100 : représente la consommation de gasoil pour un camion plein : 38 l pour 100 km

$2/3 * 38/100$: représente la consommation de gasoil pour un camion vide

La charge utile du camion est estimée à 24 tonnes. La consommation du camion est supposée linéaire en fonction de la charge, pour les charges intermédiaires. Les retours à vide des camions sont estimés à 30%.

La charge réelle du camion peut être justifiée par un descriptif du remplissage des camions, en fournissant, par exemple, le nombre de palettes par camion et le nombre d'unités de produits par palette.

Cette formule présente plusieurs inconvénients, notamment le fait que le volume par rapport au poids transporté n'est pas pris en considération. Dans le cas du transport de produits très volumineux, le volume de la marchandise peut-être un critère limitant. Ce point n'est pas encore résolu et ne peut pas être pris en compte automatiquement dans EIME.

Pour les transports par rail, mer ou fleuve, des valeurs de consommation de carburant et d'électricité par kg.km transportés sont proposées dans la même norme.

La distribution rassemble en général 2 étapes de transports : celle du site d'assemblage jusqu'au site de stockage et celle du site de stockage jusqu'aux sites de distribution. Mais le template¹ « distribution » calcule automatiquement, pour chaque étape de transport les kg.km à comptabiliser en fonction des données primaires collectées (voir Figure 34). Plusieurs étapes de transports peuvent se succéder.

Figure 34 - Questionnaire sur une étape de transport dans la phase de distribution

3.4 Modélisation de la phase d'utilisation

Dans cette partie, une approche est proposée pour la modélisation des textiles. En premier, un exemple de modélisation de la phase d'utilisation de draps de lit prenant en compte leur durée de vie est proposé. Ensuite, une approche de modélisation de l'utilisation d'un produit de consommation textile est proposée par rapport aux conclusions émises dans l'étude précédente. Les scénarios décrits dans la partie 3.4.2 donnent une méthodologie à suivre.

3.4.1 Introduction de la phase d'utilisation avec un exemple sur des draps de lit

Dans une étude précédente, nous avons montré l'importance de la durée de vie dans le cas de draps de lits (de Saxcé *et al.* 2012).

Pour comparer l'impact environnemental de 8 draps de lit de caractéristiques différentes, une Analyse du Cycle de Vie comparative des 8 draps a été réalisée. L'unité fonctionnelle choisie était « couvrir un matelas avec une surface textile non abîmée ».

¹ Modèle de conception

Les 8 draps de lit ont été soumis à des tests qualités. Pour mesurer la résistance à l'abrasion de chaque tissu, la norme ISO 12 9347 sur l'utilisation du Martindale a été suivie. L'échantillon était frotté contre un tissu en laine et plus les détériorations apparaissent rapidement plus sa résistance à l'abrasion était faible. Pour déterminer la résistance de la couleur aux frottements, les draps de lit ont été frottés 260 fois aller-retour au Crock Meter contre un tissu blanc en coton selon la norme ISO 105X12. Les pertes de couleur ont été mesurées avec un colorimètre. Pour déterminer la résistance de la couleur au lavage les draps ont été lavés huit fois suivant la norme ISO 105C06. La perte de couleur a également été mesurée à l'aide d'un colorimètre.

Nous avons proposé de traduire les résultats de ces tests en indicateurs de durée de vie. La formule proposée suppose que les cotations obtenues à l'aide du colorimètre sont proportionnelles à la durée de vie des draps de lit, que la durée de vie est proportionnelle à la résistance à l'abrasion et que la durée de vie est proportionnelle au nombre de lavages.

L'indicateur de durée de vie calculé pour chaque drap a permis de relier les propriétés physiques du drap à sa durée de vie. D'autre part, les scénarios d'utilisation appliqués tenaient compte des caractéristiques de fabrication des draps. Ainsi, l'étape de repassage a été retirée pour les draps traités avec un apprêt easy-care et pour le drap composé partiellement de polyester qui ne se froisse pas.

Cette étude montre qu'il est essentiel de lier la durée de vie aux procédés de production correspondants. En effet, les procédés de production déterminent la qualité du textile. La qualité influence la durée de vie du textile et qui elle-même influence de façon conséquente les résultats d'une ACV.

Cette étude analyse l'influence de certains procédés de fabrication en filature et finition textile. Les conditions de fabrication vont modifier l'étape de production mais aussi fortement influencer sur la durée de vie des textiles, estimée à partir de mesures de la qualité

- on retrouve l'influence bien connue de la nature des fibres
- on trouve que le gain de durée de vie apporté par une filature de meilleure qualité n'est pas suffisant pour compenser l'impact à la production sauf si on prend en compte l'étape de recyclage des pertes industrielles de cette étape
- la présence d'une résine de finition easy-care abaisse l'impact environnemental. Cependant, nous avons émis des réserves sur l'aspect gain de durée de vie (cf partie 3.2.3)

Cette étude permet d'illustrer l'importance de la prise en compte de la durée de vie dans la modélisation de la phase d'utilisation et également l'intérêt de la mise en place de scénarios d'utilisation adaptés à la matière textile disponible en entrée. Les scénarios d'utilisation proposés en partie 3.4.2 prennent en considération ces deux points.

3.4.2 Scénario d'utilisation d'un article textile moyen

Comme vu dans l'état de l'art partie 1.4, la qualité d'un article textile peut-être exprimée en nombre de lavages au bout desquels l'article a perdu ses propriétés fonctionnelles. Exprimer la durée de vie d'un textile en nombre de lavages présente certains avantages malgré le fait qu'il ne tient pas

compte de façon évidente de l'usure due à l'utilisation. En premier lieu, le cycle de lavage/séchage/repassage est à l'origine d'une bonne partie de l'usure du textile. En effet, l'usage des détergents, les variations de température et les différentes torsions et frottements dont le textile fait l'objet lors de ce cycle dégradent le textile notamment dans les tambours du lave-linge et du sèche-linge. D'autre part, cet indicateur permet également de tenir compte d'une durée temporelle, à condition d'établir une fréquence de porté/lavé moyenne. La Figure 35 montre comment ce chiffre est intégré lors de la modélisation de la phase d'utilisation du textile

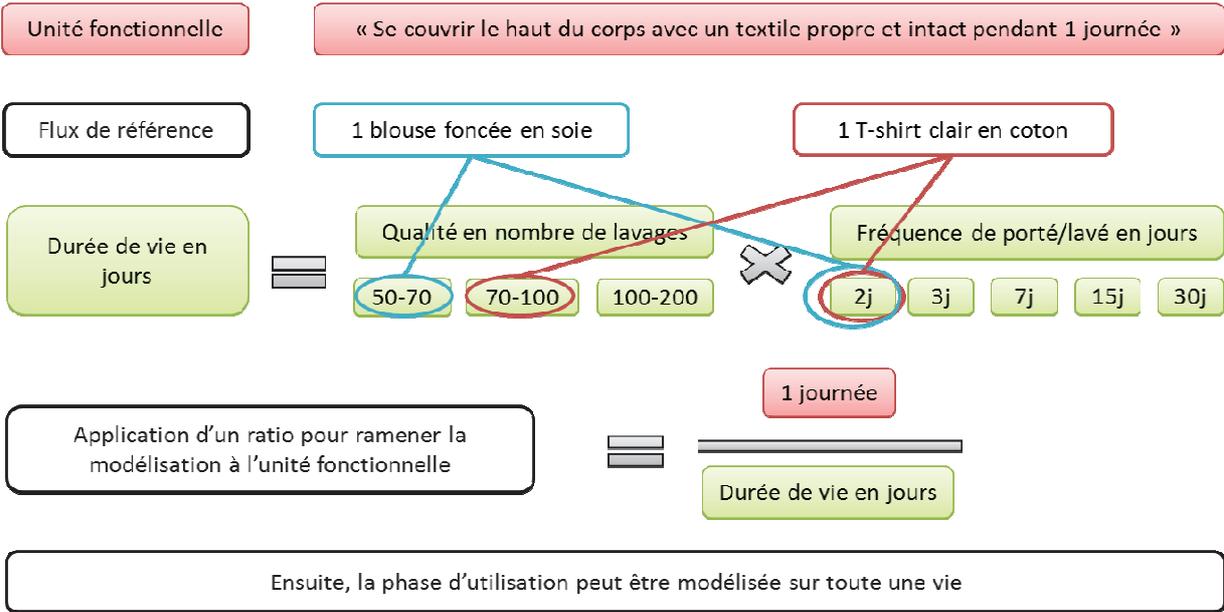


Figure 35 - Prise en compte de la durée de vie d'un article dans la modélisation

Pour modéliser la phase d'utilisation des articles lavables, c'est assez simple, il faut proposer une architecture qui comprend des lavages, des séchages et des repassages.

3.4.2.1 Lavages

La modélisation des lavages pour deux types d'articles différents est présentée Figure 36. Le chapitre 1 a permis de lister les différents paramètres influant lors du lavage des vêtements : température, type de machine. Et ainsi les différents modules proposés tiennent compte de ces variations. Les données statistiques peuvent être collectées lors d'enquêtes sur le comportement du consommateur. Une partie des résultats d'enquête sont proposés dans le chapitre 1 mais ils sont souvent trop généraux pour pouvoir être appliqués à un type d'article précis.

90, 60 et 30 sont les températures de lavage. Les notations A B C donnent des informations sur la consommation énergétique des machines. La durée de lavage est prise en considération selon la température de lavage appliquée mais n'est pas prise en compte en tant que paramètre indépendant.

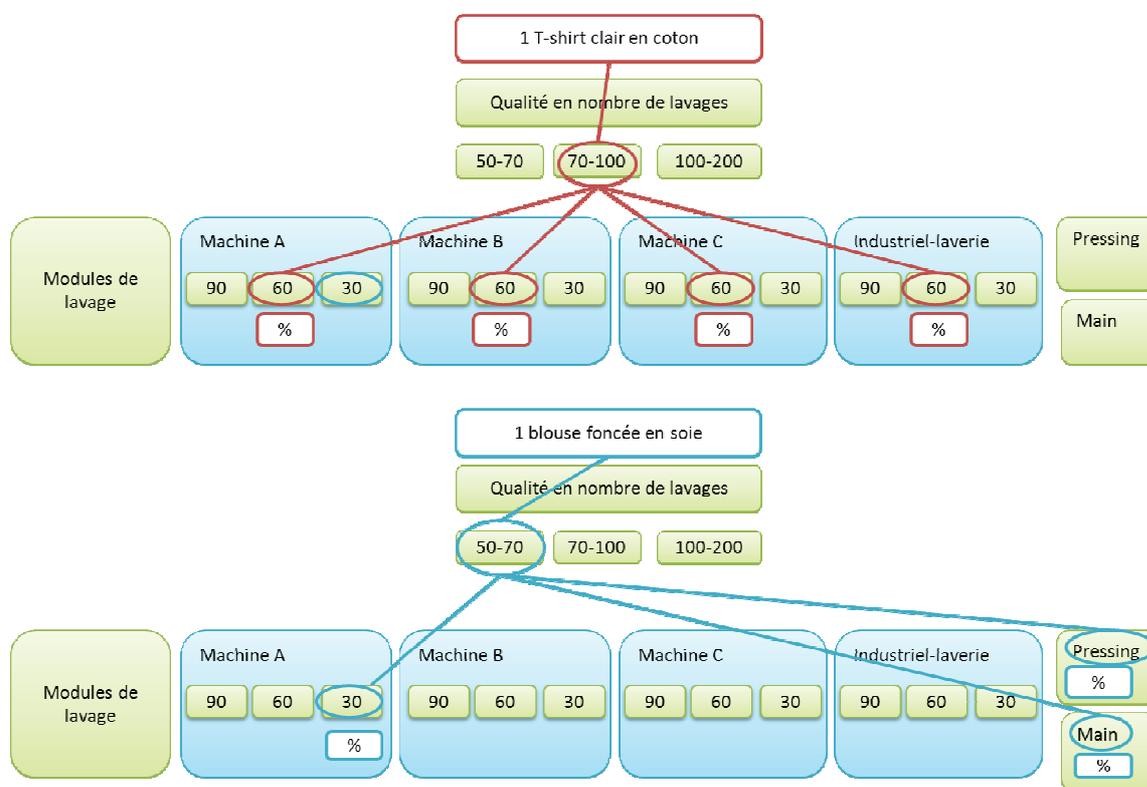


Figure 36 - Modélisation des lavages sur la phase d'utilisation pour 2 textiles différents

3.4.2.2 Séchages et repassages

La modélisation du séchage se fait selon le schéma de la Figure 37. Pour choisir entre différents temps de séchage il suffit de considérer la matière première du textile. S'il est composé majoritairement de fibres cellulosiques le temps de séchage est estimé à 80 min, s'il est composé majoritairement de fibres synthétiques, le temps de séchage est estimé à 60 min. L'influence de la température de séchage qui peut varier selon les programmes de séchage n'a pas été prise en compte à ce jour dans la création des modules. Ainsi, pour la modélisation des scénarios d'utilisation

deux approches se complètent : celle qui représente le comportement du « consommateur moyen » s'appuyant sur des statistiques nationales d'utilisation d'un textile considéré. Dès lors que les statistiques sont disponibles, l'approche appliquée est celle qui représente le comportement du « consommateur sensibilisé » qui sait tenir compte des avantages inhérents à la matière et qui applique les instructions de l'étiquette de lavage. La prise en compte de cette approche est nécessaire car elle met en évidence les solutions d' « écoconception » apportées par le fabricant du textile.

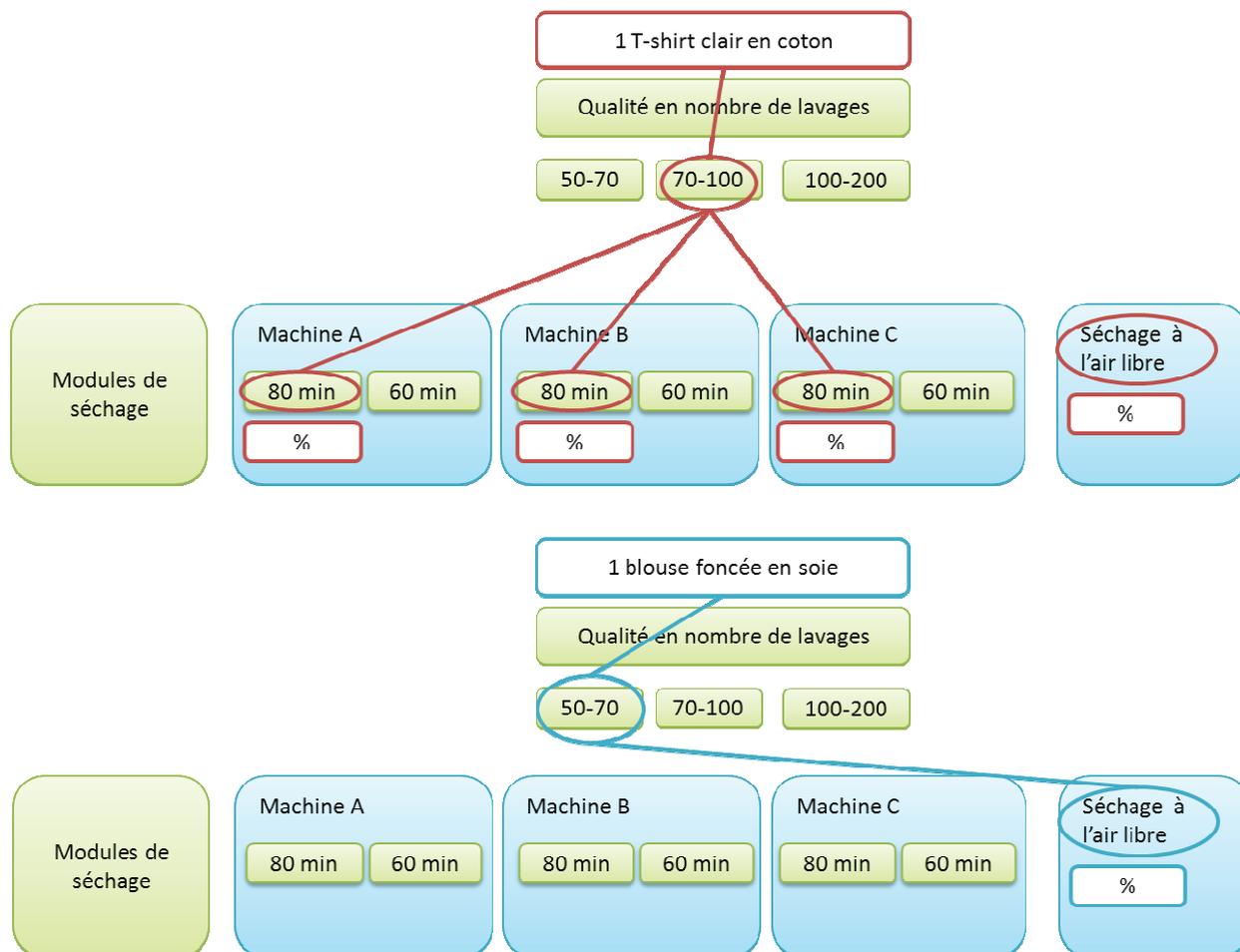


Figure 37 - Modélisation du séchage lors de la phase d'utilisation pour 2 articles différents

La modélisation du repassage se fait selon le schéma de la Figure 38. Pour choisir entre différents temps de repassage, il suffit de considérer le type de textile étudié et pour choisir la puissance de repassage, il suffit de considérer la matière première utilisée. Selon le type d'article textile, le temps de repassage est estimé à 5 min ou à 15 min. Ainsi, pour la modélisation des scénarios d'utilisation deux approches se complètent : celle qui représente le comportement du « consommateur moyen » s'appuyant sur des statistiques nationales d'utilisation d'un textile considéré.

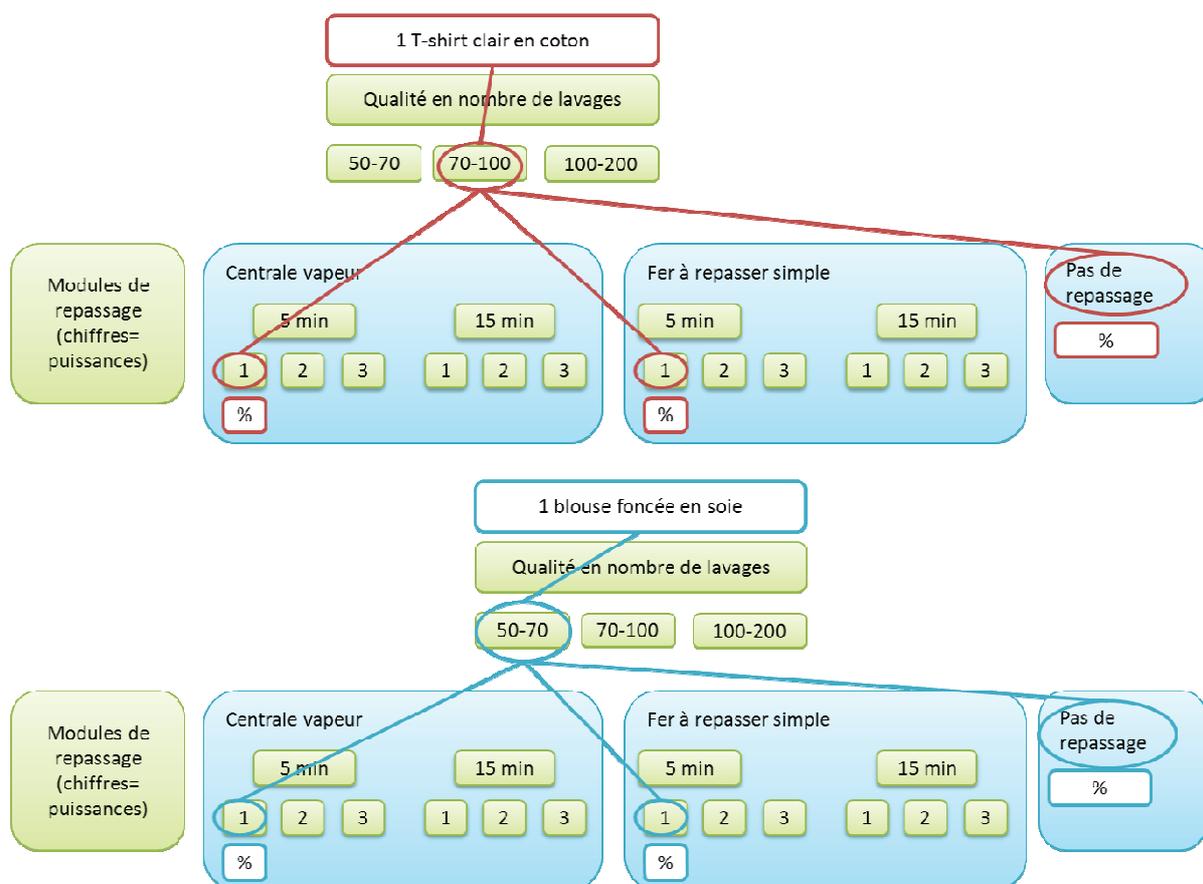


Figure 38 - Modélisation des repassages lors de l'utilisation de deux articles textiles différents

Il existe de nombreux modèles et aussi de nombreux réglages et la modélisation proposée ici est une première approche simplifiée qui s'appuie sur les différences de matière. Une étude plus poussée auprès des fabricants de machines d'électroménager permettrait de combler les imprécisions résultant d'un manque de données dans la BDD.

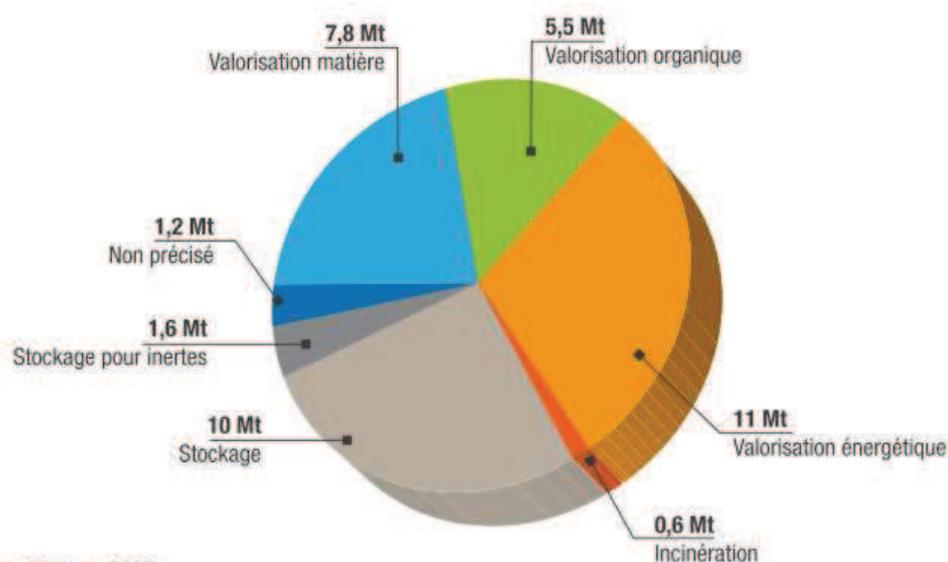
3.5 Modélisation de la phase de fin de vie

L'organisme collecteur de l'écoparticipation est Eco-TLC pour les Textiles d'habillement, Linge de maison et Chaussures. Cet organisme conventionne les centres de tri, soutient financièrement les collectivités territoriales sur leurs actions de communication pour le tri des textiles et finance des projets de recherche et développement sur la valorisation de ces articles en fin de vie (Giusiano et al. 2010; FEDEREC 2010).

Les scénarios de fin de vie sont modélisés à partir d'une situation nationale. Cependant il existe des variantes selon le type de matières à traiter. Il existe aussi des variations selon l'unité fonctionnelle du produit. ELCD propose des ICV de scénarios d'incinération pour une matière textile type...

D'un point de vue général, il existe deux cas de figure présentés en rose dans la Figure 40 :

- l'article est introduit dans les déchets municipaux. La modélisation de la filière de traitement des déchets municipaux est représentée en violet Figure 40. Pour les déchets textiles jetés en filière municipale, les statistiques de traitement de fin de vie sont publiées dans le rapport de l'ADEME sur la gestion des déchets en France (Mathery et Heyberger 2012), voir Figure 39.



Source : ADEME enquête Collecte 2009

Figure 39 - Destination des déchets collectés en France (Mathery et Heyberger 2012)

- l'article peut-être collecté, trié et valorisé. Des filières de collecte existent pour ce type d'articles. La partie 1.5 présente les différentes possibilités de traitement des textiles collectés par Eco TLC. Différentes ACV ont évalué les bénéfices environnementaux de ces filières de traitement. Mais dans ce chapitre, l'objectif est de modéliser simplement la fin de vie moyenne d'un article textile collecté ou non.

L'application de la méthode des stocks présentée dans la partie 1.5 simplifie considérablement la modélisation. Aucune donnée n'est requise en dehors du système produit évalué et seul l'ACV du produit incluant la matière recyclée prend en compte les impacts du recyclage. Dans la Figure 40, l'application de la méthode des stocks sur un article fabriqué en industrie est présentée en vert.

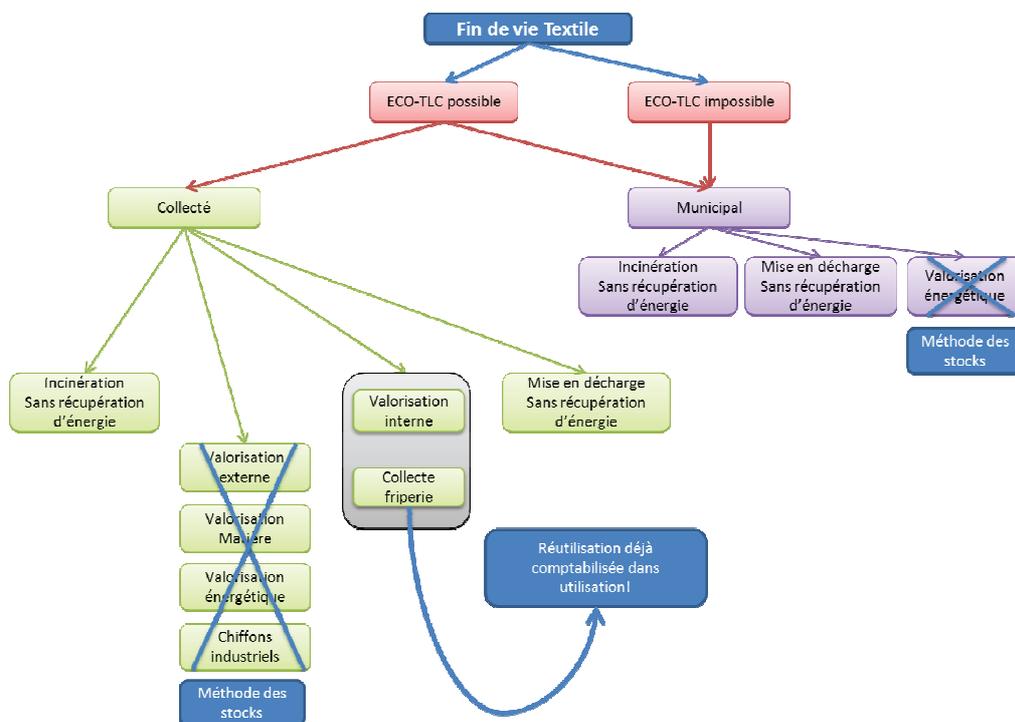


Figure 40 - Modélisation de la fin de vie d'un article textile moyen

La méthode des stocks décrite en 1.5.2 a été appliquée dans cette approche de modélisation de la fin de vie. La valorisation interne ou la réutilisation de l'article textile après collecte est prise en compte dans la phase d'utilisation. En effet, la durée de vie est établie par rapport à une dégradation de l'article et ainsi, les possibles réutilisations de l'article sont prises en compte dans la modélisation de la phase d'utilisation.

Avec la méthode des stocks, les impacts de valorisation externe de l'article textile en chiffons industriels, ou en matériaux d'isolations ou en énergie etc... sont attribués au nouveau produit issu du recyclage.

L'existence de la taxe sur la fin de vie des produits, obligatoire pour les produits textiles d'habillement, linge de maison et chaussures, permet d'appliquer le scénario 2 pour la fin de vie de ces textiles. Un nombre important de textiles n'est cependant pas couvert par cette taxe, par exemple, les produits d'ameublement incluant des textiles comme la moquette, les sommiers, les textiles techniques utilisés dans de nombreux domaines comme l'hygiène et la santé ou encore l'isolation des bâtiments...

3.6 Une méthode qui diminue la complexité de modélisation du secteur textile

Dans ce chapitre, nous avons présenté les trois outils de modélisation développés (le fichier de collecte du produit, la base de données (BDD) et l'interface de design) et les protocoles de modélisation proposés pour chacune des phases du cycle de vie des articles textiles. Ils permettent de visualiser comment la modélisation ACV d'un produit de consommation courant peut-être systématisée.

La BDD disponible au travers du logiciel a été conçue pour être conforme à ILCD « entry level », pour préserver la confidentialité de certaines données et pour être simple d'accès. Ces trois objectifs nous ont amenés à revoir la structure de la base de données pour qu'elle soit conforme à ILCD et à simplifier l'accès et la prise en main du support informatique. Ils ont aussi introduit des contraintes pratiques. C'est pourquoi le format de documentation des sets de données ICV décrit au chapitre 2, est seulement partiellement disponible sous forme de métadonnées sur le support informatique. Ces contraintes expliquent également le choix du système de classification qui n'est pas forcément adapté aux processus textiles et la limitation à 4 types de sets de données.

Le fichier de collecte a été conçu pour être utilisé avec la BDD. Ils sont indissociables. Le choix des données primaires effectué ne peut être justifié si les modules ne sont pas disponibles. La construction d'une base de données a permis de diminuer considérablement le nombre de données primaires à collecter.

L'interface de design générique présente l'avantage d'être adaptable à tous types de produits. Pour les phases de fin de vie et de distribution les protocoles de modélisation ont été largement simplifiés grâce à ces trois outils. La mise en place des guides de modélisations mettent en évidence le caractère séquentiel de la phase de fabrication textile. Les guides de modélisation permettent de prendre en considération les implications du remplacement d'une matière première par une autre sur l'ensemble de la chaîne de fabrication. Une partie du savoir-faire des ingénieurs textiles a été utilisée et retranscrite dans les guides pour faciliter la modélisation.

D'autre part, les méthodes de modélisation des phases d'utilisation et de fin de vie établies permettent de prendre en compte les caractéristiques du produit déterminées pendant la fabrication comme le montre l'étude sur la durée de vie des draps de lit brièvement présentée partie 3.4.1.

Cependant, les modélisations des phases de fabrication et d'utilisation restent longues et complexes. Les guides de modélisations et fichiers de calculs devraient pouvoir être intégrés dans l'interface pour qu'une partie des choix de procédés se fasse automatiquement. Ainsi, l'ajout de certaines fonctions spécifiques aux textiles permettrait de simplifier les protocoles de modélisation établis. Si l'affichage environnemental devient obligatoire pour les distributeurs textiles, ces simplifications seront bienvenues. Différentes possibilités de développement sont présentées dans le chapitre 4.

4 Perspectives d'évolution des outils supports de modélisation

La complexité du secteur textile et le temps imparti n'ont pas permis d'implémenter tous les développements possibles dans les différents outils de modélisation du cycle de vie d'un textile.

La première partie de ce chapitre présente les différentes possibilités d'amélioration de la base de données. Cette partie rassemble : une proposition sur l'ajout de sets de données qui modifierait la structure de la base de données générique, une proposition d'implémentation d'un nouveau système de classification des modules de fabrication textile et une proposition sur l'implémentation de nouveaux indicateurs environnementaux, économiques et sociaux. Ces améliorations portent plus particulièrement sur la structure de la base de données. Les perspectives d'enrichissement du contenu de la BDD sont décrites dans la partie 2.

La deuxième partie de ce chapitre décrit les perspectives d'évolution du fichier de collecte en fonction du contenu de la base de données. Effectivement, comme expliqué dans le chapitre 3, une simplification du fichier de collecte devra s'accompagner du développement de nouvelles données génériques dans la base de données. Les différents enjeux d'une éventuelle simplification du fichier de collecte sont présentés. Cette partie contient également les cahiers des charges de différents projets de collecte non aboutis à ce jour.

La troisième partie de ce chapitre expose les perspectives d'évolution de l'interface générique proposée actuellement. Dans cette partie, le projet de développement d'une interface spécifique aux produits textiles est présenté. Les développements pour les différentes phases du cycle de vie sont présentés dans l'ordre chronologique.

4.1 Perspectives d'évolution de la base de données

Cette partie détaille les différentes perspectives d'évolution de la BDD. En premier lieu, l'intérêt d'ajouter de nouveaux sets de données dans la base de données est présenté. Ensuite, l'intérêt de l'implémentation un système de classification spécifique des modules textiles est exposé. Finalement les différents développements que nécessiterait l'implémentation de nouveaux indicateurs sociaux et économiques dans EIME sont présentés.

4.1.1 Modification du support informatique de la BDD

4.1.1.1 Ajouts de nouveaux sets de données

A l'heure actuelle, toute la documentation des modules est disponible sous la forme de tableaux décrits dans le chapitre 2. L'ensemble de cette documentation pourrait être mise à disposition sur EIME. Une partie de la documentation pourrait être mise à disposition sous forme de méta-données. Une autre partie nécessiterait la création de nouveaux types d'ensembles de données. Cette partie décrit plus précisément quels types d'ensembles de données pourraient être créés et les avantages résultant de leur création.

Pour rappel, un ensemble de données contient plusieurs champs descriptifs ; et la base de données EIME en contient, à l'heure actuelle, quatre types d'ensemble de données : les modules, les flux, les méthodes de calculs des indicateurs d'impacts et les systèmes d'unités (voir partie 3.1.1).

Cependant, cette base de données pourrait également répertorier d'autres types de données, le Tableau 5 présente une liste de données qui pourraient être accessibles à partir de la BDD. Les guides de documentation Ecospond ou ILCD, définissent déjà des formats de documentation spécifiques pour ces types de sets de données.

Nouveaux sets de donnée	Description	Exemple
Documents externes	Guides méthodologiques, de conformité	EC, JRC, 2010, ILCD handbook – General guide for LCA, detailed guidance
Systèmes de classification	Des flux, des modules, de la bibliographie	ISIC Rev 4
Entreprises	Commanditaire, Propriétaire	BV CODDE
Règle d'affectation	Physique, économique	affectation massique
Personnes, contacts	Commanditaire, valideur, auteur	Marie de Saxcé, adresse mail...
Propriétés des flux		Masse sèche, contenu en eau
Sources bibliographiques	BDD, articles scientifiques...	International energy agency database

Tableau 5 - Liste d'ensembles de données non inclus dans EIME pour lesquels des formats de documentation ont été définis

L'accès direct à certains des données spécifiques présentés dans le Tableau 5 offre différents avantages qui sont listés ci-dessous. D'un point de vue administratif, l'accès à tous les contacts qui ont créé les données peut s'avérer très utile. D'un point de vue valideur, l'accès aux sources de données permettrait une validation plus complète de la documentation d'un module. Dans le cas d'une mise en conformité, l'accès aux documents externes comme les guides et les normes pourrait être utile. L'accès à différents systèmes de classification des modules ou des flux permettrait de retrouver plus facilement des correspondances entre les systèmes de classifications des différentes bases de données.

D'autre part la mise en place de ces listes de sets de données pourrait permettre d'établir des liens entre les différents types de données et de retrouver les modules effectués par un contact particulier par exemple, ou de retrouver tous les modules en conformité avec un référentiel donné.

La création de ces liens facilite la maintenance de la base de données, son organisation et son extension.

4.1.1.2 Un système de classification des modules de fabrication textile

Pour les modules de fabrication, un système de classification qui traduit la représentativité technologique et géographique des procédés a été développé. Ce système ne permet de classer que les procédés de transformation de la matière textile.

Pour différencier les procédés de fabrication textile à la même étape chronologique, il faut prêter attention :

- Au type d'input traité par le procédé : par exemple, la filature fibres courtes permet de transformer les fibres courtes seulement.
- Au type d'output recherché : par exemple, les machines de filature ne sont pas utilisées de la même façon selon le diamètre du fil voulu
- Au traitement ou aux produits auxiliaires textiles utilisés : par exemple, en filature différents agents d'ensimage peuvent être utilisés en différentes quantité
- A la machine utilisée : différents procédés de filature existent pour les fibres courtes
- A la localisation géographique du procédé considéré (voir cas de la filature partie 2.3.2).

Cette décomposition s'applique également pour les autres étapes de fabrication par exemple, pour l'étape de pré-traitement de la matière. L'input matière (bourre, tissu étoffe) détermine les traitements à effectuer, l'output détermine le traitement à appliquer (par exemple le blanchiment) et selon le traitement à appliquer différentes machines sont possibles. Grâce aux statistiques d'export des machines textiles dans le monde, différentes localisations géographiques sont sélectionnées.

La Figure 41 présente ce système de façon explicite. C'est un système de classification à 6 niveaux. Le premier niveau décrit l'étape chronologique de fabrication : la production de matières premières, la filature, la fabrication des étoffes, le prétraitement, la teinture, l'impression, le post-traitement. Le deuxième niveau décrit le type d'input requis pour le procédé de transformation considéré. Le troisième niveau décrit le type d'output obtenu avec le procédé de transformation considéré. Le quatrième niveau donne des précisions sur le traitement appliqué. Le cinquième niveau, sur la machine utilisée, et le dernier niveau précise les localisations géographiques possibles pour la machine considérée.

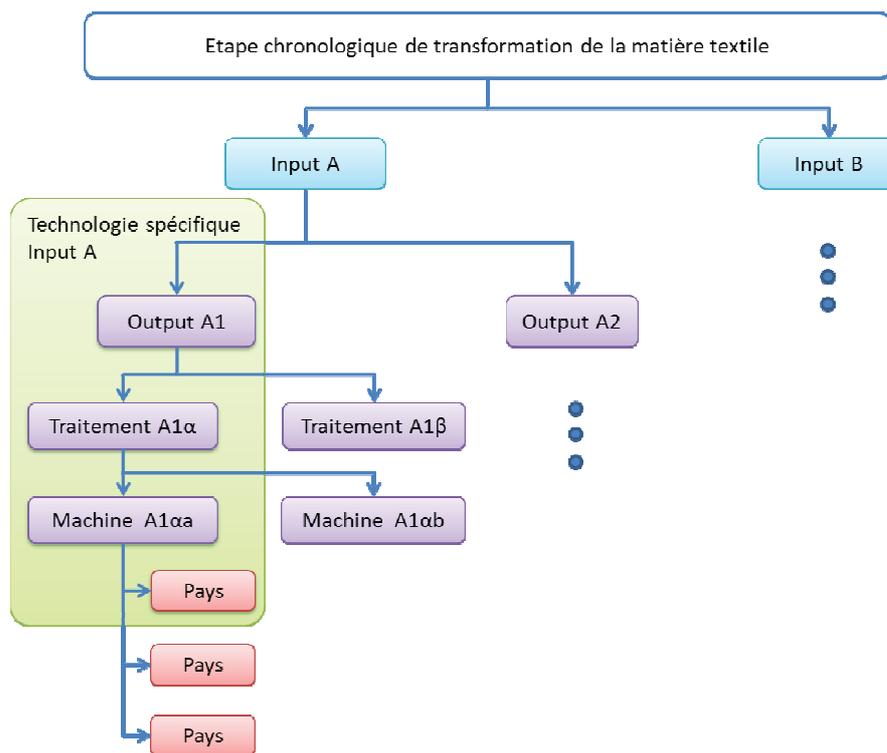


Figure 41 - Système de classification des procédés de transformation textile

Des liens existent entre ces 5 paramètres différents et sont détaillés en partie dans le chapitre 3. Le type d'input détermine souvent les traitements à appliquer et la machine à utiliser. Selon l'output recherché, le traitement à appliquer n'est pas le même. Finalement, les différents procédés de filature sont localisés à différentes places dans le monde selon les statistiques de l'ITMF. Les flux intermédiaires textiles seront donc classés en tant qu'inputs et outputs.

L'intérêt de ce système de classification est qu'il permet d'évaluer la représentativité technologique du système représenté par le module et également de s'assurer que les différenciations entre les différentes technologies ont bien été effectuées lors de l'utilisation du module. Il permettra également à terme d'appliquer des règles de sélection des modules par rapport à la classe dans laquelle ils se trouvent.

4.1.2 Modification du contenu de la BDD

4.1.2.1 Les indicateurs

A l'heure actuelle, la base de données propose une douzaine de méthodes de calculs d'indicateurs mid-points avec les flux contributeurs correspondants (voir partie 2.3.2). Cette partie présente d'abord, des indicateurs mid-points qui pourraient être ajoutés avec leurs flux contributeurs : l'occupation des sols, les futures mises à jour de l'indicateur Use-tox, un indicateur sur la raréfaction de l'eau potable. Ensuite, les possibilités d'ajout d'indicateurs end-points sont présentées. Enfin, la possible implémentation de méthode de normalisation et son intérêt sont présentés. A savoir, l'ajout de nouveaux indicateurs implique la plupart du temps l'ajout de nouveaux flux contributeurs et donc une mise à jour des modules. En effet, la valeur de ce nouveau flux devra être recherchée et renseignée pour tous les modules présents dans la BDD. Les exemples suivants illustrent cette problématique.

La méthode de calcul sur l'indicateur d'occupation des sols agricoles pourrait être implémentée sur EIME. Dans ce cas, il faudrait ajouter les flux élémentaires contributeurs à cet indicateur dans la base de données. Lors de la création de modules, des données sur l'occupation des sols devront être collectées. L'ajout de cet indicateur permettrait de prendre en compte les impacts sur l'occupation des sols de la fabrication de colorants naturels par rapport aux colorants synthétiques

La méthodologie USE-Tox propose une méthodologie de calcul des résultats sur les indicateurs de toxicité, notamment une méthode complète d'évaluation du potentiel de l'écotoxicité de l'eau fraîche. Elle contient 28 000 flux et leurs facteurs de caractérisation associés variant de 10^{-50} à 10^8 . Cependant, cette méthode n'est pas mature, tous les rejets dans l'eau fraîche présentant un potentiel de toxicité ne sont pas encore intégrés. Dans le cas des textiles, il faudrait calculer un facteur de caractérisation correspondant à chaque produit auxiliaire textile utilisé et rejeté. L'évaluation des potentiels de toxicité marine et humaine pose les mêmes problématiques. La méthodologie USE-Tox devrait être finalisée en 2013. Nous avons déjà implémenté une partie des flux USE-Tox et leurs facteurs de caractérisation associés dans EIME.

La question de la consommation d'eau ressort également comme un enjeu significatif dans les ACV de textiles. Cette question soulève des problématiques de localisation de l'impact. Berger et Finkbeiner ont publié une revue sur les méthodes d'évaluation de l'impact de l'utilisation d'eau. Cette revue révèle que les périmètres méthodologiques diffèrent en fonction : des différents types d'eau utilisés, du stress hydrique dans la localisation géographique considérée, des cours d'eau et de la qualité de l'eau (Berger et Finkbeiner 2010). La norme water footprint est également en cours de développement, elle devrait statuer sur la meilleure méthode à utiliser pour traiter la problématique de la consommation d'eau. A titre d'exemple, une des méthodes retenues dans certaines études pour la prise en compte de l'impact de l'utilisation de l'eau est celle de l'évaluation de la rareté des ressources environnementales (ecological scarcity). Les flux élémentaires de l'inventaire sont

simplement multipliés par des éco-facteurs. Pour calculer les éco-facteurs de l'utilisation d'eau, aucun facteur de caractérisation n'est appliqué sur la qualité ou le type d'eau utilisée. En ce qui concerne la normalisation par rapport à une région de référence, le retrait total d'eau douce annuelle pour l'usage humain dans une région spécifique est affecté à 1 éco-point. Dans le cadre de la pondération pour l'évaluation de l'utilisation de l'eau, la méthode intègre l'objectif politique de prévention du stress hydrique dans la région considérée. Selon l'OCDE le stress hydrique apparaît lorsque plus de 20% de l'approvisionnement en eau renouvelable annuellement disponible est utilisé par les activités humaines. Ainsi, comme illustré dans l'équation, le facteur de pondération peut varier de 0,0625 à 56,3.

$$\text{Weighting} = \left(\frac{\text{current flow}}{\text{critical flow}} \right)^2 = \left(\frac{\text{total annual freshwater withdrawal for human uses (W)}}{\text{annually available renewable water supply (A)} \cdot 20\%} \right)^2 = (WTA)^2 \cdot \left(\frac{1}{20\%} \right)^2$$

La plupart de ces méthodes demandent une localisation spécifique des flux étant donné que les problématiques de consommation et de pollution de l'eau sont locales. Les méthodologies de calcul de certains indicateurs s'orientent de plus en plus vers de la localisation spécifique de flux (European Commission 2010). Cette utilité est d'autant plus importante selon "la région" qui est étudié pour l'impact ou le dommage ; en effet, des impacts sur l'eau seront peut-être moins important en Europe (qui possède de nombreuses stations d'épuration), qu'en Afrique ou en Asie (ou il y en a très peu).

Les méthodes « end-point » permettent d'évaluer les impacts environnementaux au niveau dommage par opposition au niveau problème. Ce sont les dégâts environnementaux entraînés par les émissions qui sont quantifiés. Ces dégâts deviennent la valeur commune de référence par rapport à laquelle l'indicateur est exprimé. Les caractéristiques correspondent à des effets d'ordre supérieurs. Par exemple, le réchauffement climatique mid-point est caractérisé en end-point par le niveau de dommages sur la santé humaine, exprimé en années de réduction de l'espérance de vie (Lees-Perasso 2012). Les indicateurs « end-points » regroupent les catégories d'impacts engendrant des effets sur un même aspect. Le passage du niveau « mid-points » au niveau « end-points » fait face à la contrainte d'incertitude dans la classification et la caractérisation des indicateurs (Heijungs et al. 2003).

L'exemple de l'émission de CO2 illustre bien la différence entre les deux niveaux d'évaluation. Dans une approche « end-point » comme dans la méthode Eco-indicator 99 par exemple, cette catégorie est caractérisée dans les dommages à la santé humaine engendrés par le réchauffement climatique à un facteur équivalent à 0,00000021 DALY12 pour 1 kg de CO2. Elle est aussi regroupée avec d'autres catégories comme l'appauvrissement de la couche d'ozone, les effets de la radiation etc.

Des méthodes de normalisation des résultats pourraient également être proposées sur EIME. La normalisation est une opération donnant un résultat sans grandeur visant à comparer les impacts ou les dommages du cycle de vie par rapport aux impacts ou dommages engendrés par le monde, un continent, un pays, une région, ou encore un habitant.

La normalisation peut avoir plusieurs utilités :

- en premier lieu pour la communication. Les unités d'impact (kg éq Sb, kg éq C₂H₃Cl, kg éq 1,4-DB, ...) ou de dommages (DALY, PDF*m²*yr, ...) utilisées en générale dans les études sont difficilement appréhendables pour les personnes non initiées. Il devient donc plus parlant d'exprimer un résultat comme, par exemple, "équivalent à l'impact sur le changement climatique d'une ville 1 000 habitants en Europe de l'ouest ou en France".

- en deuxième lieu pour permettre une hiérarchisation des impacts. Plus clairement, si le cycle de vie engendre un impact de 50 kg éq. CO₂ sur le réchauffement climatique et un impact de 10 kg eq. PO₄³⁻ sur l'eutrophisation de l'eau, il semble impossible de savoir quel impact est le plus important. La normalisation permet de hiérarchiser ces impacts. Par exemple, dans la thèse de Boufateh, un poids pour chaque impact est attribué en calculant la part de l'impact maximal des scénarios par rapport à la moyenne mondiale journalière d'une personne (CML 2001, facteurs de normalisation). Cette pondération montre que par rapport aux autres activités domestiques le cycle de vie d'un textile a un fort potentiel d'impact sur la toxicité de l'eau fraîche et de l'eau de mer (Boufateh 2011).

Des indicateurs sociaux et économiques pourraient être introduits. Des facteurs de monétisation des indicateurs existants également.

4.1.2.2 Pérennisation de données

Des mises à jour de données seront nécessaires si des flux élémentaires sont ajoutés dans la BDD en même temps que de nouveaux indicateurs. Les ICV devront être mises à jour pour inclure la valeur correspondant au flux ajouté non renseigné.

D'autre part, la représentativité géographique et technologique de la base de données est valable pour les années 2010 et 2011. Cependant, l'étalement géographique de la filière textile sur les étapes de fabrication sera amené à évoluer dans les années à venir, auquel cas, le développement de nouvelles données dans d'autres pays s'avèrera nécessaire. De nouvelles technologies apparaîtront également probablement et remplaceront les technologies actuelles qui seront devenues obsolètes.

Par ailleurs, le développement de nouvelles données permettrait d'enrichir le contenu de la BDD. Différents projets de collecte de données sur les accessoires et sur la confection pour la création d'ICV génériques ont été lancés mais n'ont pas aboutis faute de ressources.

4.2 Perspectives d'évolution du fichier de collecte

La représentation du Cycle de Vie des textiles est rendue complexe à cause de certaines caractéristiques inhérentes au secteur textile : son étalement géographique, et les difficultés d'évaluation de la durée de vie des articles textiles.

Cette partie présente d'abord comment l'utilisation de modules représentant des agrégations de systèmes pourrait permettre de simplifier le fichier de collecte et quels sont les enjeux d'une telle simplification. Ensuite, comment la collecte sur la phase d'utilisation pourrait se traduire en une collecte de résultats de tests qualité. Enfin, les différents projets de collecte sur les différentes phases de fabrication.

4.2.1 Les agrégations géographiques ou technologiques

Les outils présentés dans la partie 3.1 ont été mis en place pour répondre à un besoin de simplification de la démarche d'ACV pour les produits de consommation textile. Ils ont été testés par différents distributeurs et fabricants. Certains utilisateurs voudraient simplifier davantage la procédure pour son usage dans le cadre de l'affichage environnemental. La diversité des produits textiles et la complexité du cycle de vie rendent difficiles les démarches de simplification. L'objectif de cette partie est d'évaluer si une simplification plus poussée du fichier de collecte pour un gain de temps peut être envisagée.

Le fichier de collecte tel qu'il est conçu à l'heure actuelle est déjà simplifié étant donné qu'il repose en grande partie sur des données de la BDD. Chaque simplification du fichier de collecte nécessite la création de données agrégées dans la BDD.

Dans les parties 2.3.1 et 2.3.2, des modules représentant des agrégations technologiques et géographiques sont présentés. Cette étude montre que l'utilisation de modules moyens à la place de modules spécifiques génère des incertitudes conséquentes sur les résultats (par exemple l'utilisation d'un module mondial au lieu d'un module national). Cette étude montre également que : les variations technologiques étant à l'origine d'écart de résultats entre -20 et 40% et les variations géographiques d'écart de résultats entre -80 et 380% ; il paraît plus important de collecter des données sur la localisation géographique du procédé plutôt que sur la technologie utilisée. Cependant, il est impossible, à ce stade, de conclure que la technologie de filature utilisée n'a pas besoin d'être connue. Il faudrait effectuer ces comparaisons à toutes les étapes de fabrication et comparer les écarts obtenus à chaque étape.

Par ailleurs, le risque pris en faisant de plus amples simplifications serait de gommer les différences entre les différents cycles de vie. Ainsi, sur la phase d'utilisation, les différences dans le scénario sont déjà gommées, en pratique, par l'utilisation de statistiques nationales qui ne sont pas assez précises ou ne reflètent pas exactement le scénario voulu.

En conclusion, l'utilisation de données agrégées présente de nombreux inconvénients. A l'heure actuelle, trop peu d'évaluations d'incertitude sur les résultats d'ACV textile sont disponibles pour justifier l'utilisation de données agrégées.

4.2.2 Calcul de la durée de vie d'un article textile

Cette partie a pour objectif de montrer comment une méthode d'évaluation de la qualité des articles peut être étendue à un large panel de produits de consommation textile. L'exemple de la partie 3.4.2 montre déjà comment les résultats de tests qualité peuvent être exploités pour estimer la durée de vie de plusieurs draps.

Dans le référentiel pour l'affichage environnemental sur les chaussures, la collecte de résultats de tests qualité a également été proposée pour évaluer la durée de vie d'une paire de chaussures (Afnor 2010). Cinq essais de performance ont été retenus pour déterminer le flux de référence. Ces essais sont listés dans le Tableau 6.

Tableau 6 - Essais retenus pour la détermination du flux de référence pour l'affichage environnemental pour les chaussures (Afnor 2010)

Chaussure ville homme		
Chaussure		
Résistance de la liaison tige-semelle	NF EN ISO 17708	daN/cm
Semelle		
Abrasion de la semelle élastomère	NF EN 12770 — ISO 20868	mm ³
Résistance à la flexion semelle (Bennewart)	NF EN ISO 17707	Cycle
Tige		
Déchirure tige	NF EN 13571 — ISO 17696	daN
Doublure		
Résistance à l'abrasion doublure et première	NF EN 13520 — ISO 17704 — NF EN ISO 12947-2	Cycle

Des notes sont ensuite allouées en fonction des résultats obtenus aux essais. Chaque note est affectée d'un coefficient de manière à prendre en compte la criticité de l'essai. Une procédure permet ensuite de traduire les résultats des essais en flux de référence. Cette procédure peut être automatisée dans le fichier de collecte.

Dans le cadre de cette thèse, un expert du département Bureau Veritas CPS a été consulté pour établir selon le type d'article textile la liste des tests qualité à effectuer permettant d'établir une durée de vie. La liste d'article textile a été établie à partir de la base de données d'inputs outputs PRODCOM qui classe et répertorie les imports et exports des différents produits de consommation au sein de l'union européenne. Cependant les protocoles de traduction de ces résultats en flux de référence n'ont pas été établis.

Dans ces procédures d'évaluation de la durée de vie, le nombre de tests à effectuer retenu est en général inférieur à 5. Une partie de ces tests sont systématiquement effectués dans le cadre du contrôle qualité du prototype.

L'ajout de 5 champs à renseigner dans le fichier de collecte pourrait permettre de résoudre et de structurer l'étape d'évaluation de la durée de vie.

4.3 Perspectives d'évolution de l'interface

La partie suivante décrit les perspectives d'évolution de l'interface. La plupart des développements proposés dans cette partie visent à simplifier le travail de modélisation de la phase de fabrication pour l'utilisateur.

Deux modifications sont prévues sur la phase de fabrication de l'interface : le calcul automatique des flux de matières entrants à chaque étape de fabrication, et un système de pré-sélection automatique des modules les plus probables.

4.3.1 Utilisation d'un procédé de transformation incluant les pertes

Pour rappel, la fabrication d'un textile consiste en une succession d'étapes avec des rendements différents. Or, généralement, seule la masse finale du textile est connue. Sur l'interface EIME actuelle, les masses intermédiaires entrantes de matière textile à chaque étape doivent être calculées et insérées pour modéliser le cycle de vie. Une des premières évolutions à considérer sur l'interface serait d'automatiser le calcul présenté partie 3.2.2 pour éviter d'avoir recours à un tableur Excel et limiter les insertions manuelles de masses intermédiaires.

La Figure 42 présente 3 possibilités de modélisations du cycle de fabrication d'un textile sur une interface de design :

- à gauche, une modélisation d'un cycle de fabrication sur l'interface actuelle, avec le recours à un tableau excel pour le calcul des masses intermédiaires, qui sont ensuite insérées manuellement
- au milieu, une possibilité de traduction du tableur Excel sous forme de requêtes obéissant à un algorithme. L'intégration de cet algorithme permettrait d'insérer une seule donnée de masse manuellement : la masse sortante finale du textile (v encadrée en bleu).
- à droite, une possibilité de création d'un lien entre différents modules successifs pour effectuer les calculs automatiquement à partir de la masse finale du textile (v encadrée en bleu). La mise en place de cette solution demanderait une remise en question du système d'utilisation des modules dans la phase de fabrication pour l'interface textile. Les flux intermédiaires pourraient être ajoutés pour lier deux modules entre eux. Cette connexion permettrait d'indiquer automatiquement que le flux de référence du module précédent constitue l'input du module suivant. L'utilisation de modules paramétrables selon la masse introduite sera toujours possible sur les autres phases. La différence réside dans le fait que les modules de la phase de fabrication seront paramétrables à partir de la valeur introduite dans le module auquel ils sont connectés.

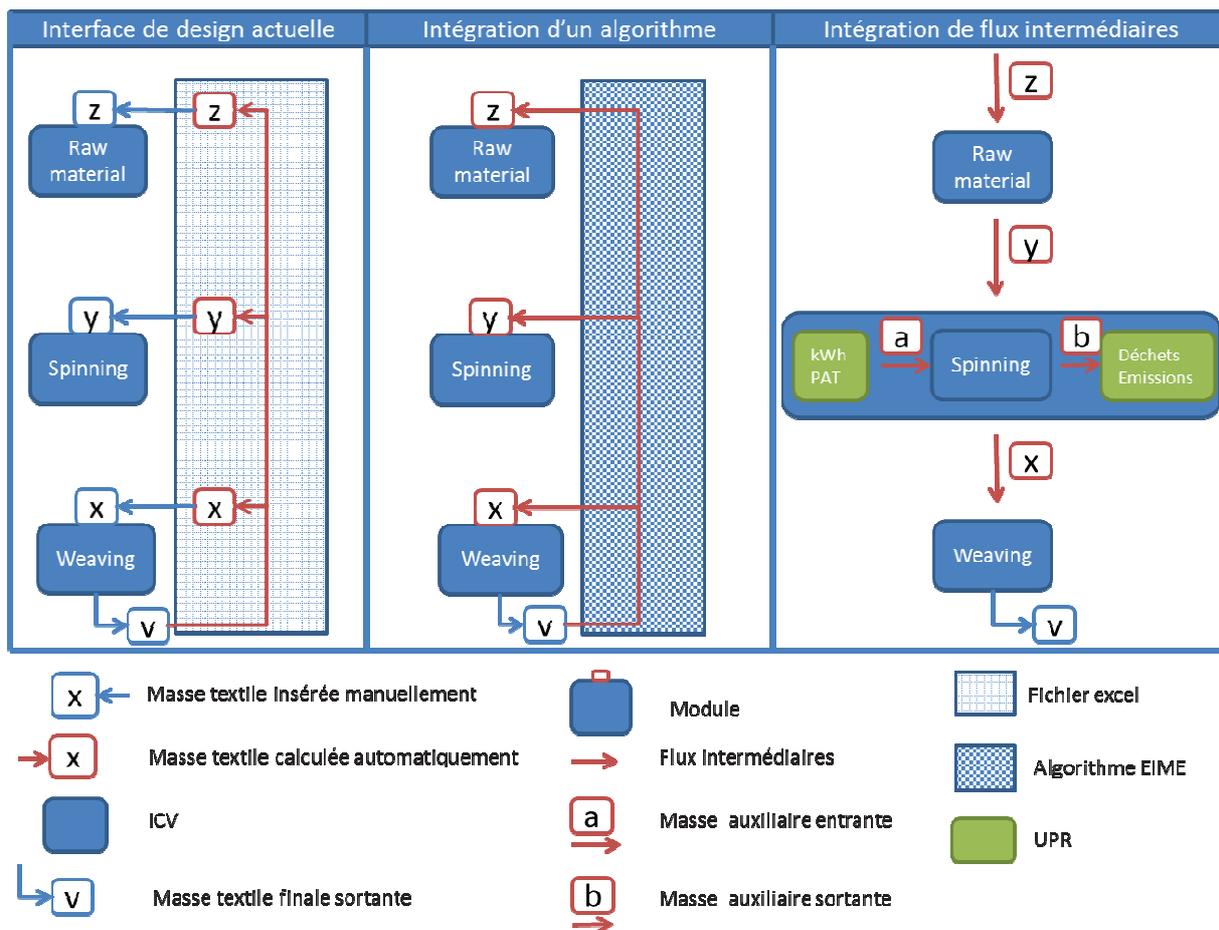


Figure 42 - Architecture à niveaux multiples pour modéliser les procédés de transformations

4.3.2 Aide à la sélection automatique de modules

Une autre modification à effectuer sur la phase de fabrication de l'interface serait l'implémentation d'un système de sélection automatique des procédés. Cette sélection automatique serait effectuée à l'aide de requêtes sous forme de « boucles » établies à partir des guides de modélisation et du système de classification présenté partie 4.1.2 dans la Figure 41. La mise en place de ces requêtes permettrait d'automatiser le processus de sélection du module le plus adapté. Se référer aux guides de modélisation est chronophage et nécessite une phase de transmission de connaissances à l'utilisateur qui ne connaît pas la chaîne de fabrication textile. La sélection peut se faire à partir des flux de référence des modules lorsque la sélection du module dépend de l'input disponible et/ ou de l'output recherché. Dans les autres cas, la sélection pourra se faire à partir d'autres caractéristiques du module.

Les étapes de transports amont sont très nombreuses dans la phase de fabrication textile. Ceci est dû à la succession des nombreuses étapes de fabrication réalisées sur des sites de fabrication différents (voir Figure 5). La mise à disposition d'un écran et d'une architecture pour la modélisation des transports amont sur l'interface de modélisation de la phase de fabrication permettrait de simplifier et d'automatiser le processus de modélisation de ces transports amont. Cette architecture pourrait être réalisée sur le modèle de l'écran disponible sur la phase de distribution. La Figure 34 montre le template disponible pour l'insertion d'une étape de transport.

4.3.3 Interfaces d'utilisation

Sur la phase d'utilisation, la mise à disposition d'une architecture et d'un écran permettrait :

- de sélectionner le pays d'utilisation du produit
- de sélectionner si l'article peut être lavé, les types de lavages effectués (avec suggestion de statistiques)
- de sélectionner si un séchage machine a été effectué, les types de séchages effectués (avec suggestion de statistiques)
- de sélectionner si un repassage été effectué, les types de repassages effectués
- de proposer une méthode d'évaluation de la durée de vie correspondant au type d'article considéré
- de traduire automatiquement la phase d'utilisation pour qu'elle corresponde à l'unité fonctionnelle dans le cas où l'unité fonctionnelle n'est pas égale à la durée de vie du produit.

4.3.4 Indicateurs de fin de vie

Sur la phase de fin de vie, un potentiel de recyclabilité pourra être intégré une fois que la filière ECO-TLC aura installé de nouvelles filières de traitement et que le traitement de fin de vie des articles textiles sera automatisé.

5 Conclusion

L'objectif de cette thèse était de concevoir et développer une base de données et son interface permettant de réaliser des Analyses du Cycle de Vie de produits textiles.

Il s'agit d'une contribution au domaine de l'écoconception industrielle de produits, plus spécifiquement dédiée au secteur textile. En effet, l'état de l'art a mis en évidence le manque de données représentatives géographiquement ou technologiquement sur les phases de fabrication et de distribution dans ce secteur. Il a montré également que la non-uniformisation des pratiques d'ACV sur la modélisation de la phase d'utilisation ou de fin de vie conduit à de fortes disparités sur les résultats.

Les travaux de cette thèse sont à l'origine des apports transférables suivants :

- La réalisation d'ACV à grande échelle nécessite la mise à disposition de sets de données ICV génériques dans une base de données. Ces sets de données génériques doivent pouvoir être utilisés sans pour autant diminuer la qualité des ACV dans lesquelles ils ont été intégrés. De plus, ils doivent être construits selon les mêmes principes et méthodes pour pouvoir être utilisés les uns avec les autres. C'est pourquoi une méthode de création de set ICV a été développée, respectant les impératifs de conformité avec d'autres bases de données ICV. La mise en place de cette méthode a permis d'automatiser une procédure lourde pour la construction de données génériques dans n'importe quel domaine. Cette étape s'est accompagnée de la transmission de connaissances à l'ensemble de l'équipe.
- Une base de données a été conçue en suivant la méthode de création d'ICV développée. Cette base de données a permis de pallier aux difficultés de collecter des données spécifiques à certaines étapes du cycle de vie, notamment sur les étapes de fabrication en amont. En effet, la construction de la base de données constitue, en elle-même, une collecte et une documentation sur un grand nombre d'étapes du cycle de vie des textiles. Ainsi, sur ces étapes, des collectes de données sur site n'auront plus besoin d'être effectuées.
- Pour exploiter la base de données créée, différents outils ont été conçus : le support informatique de la base de données, le fichier de collecte, et l'interface de design. Le support informatique de la base de données sert à recenser tous les ICV créés. Le fichier de collecte et l'interface ont pour objectif de faciliter la réalisation d'ACV textiles. Le fichier de collecte sert à guider la collecte d'informations spécifiques sur le cycle de vie du textile. L'interface de design est le support logiciel qui est utilisé pour combiner les données de collecte spécifiques et la base de données génériques pour réaliser des ACV.

Malgré les outils et la base de données mis en place, la réalisation de l'ACV d'un produit textile reste complexe. Dans, les circuits de fabrication un grand nombre d'étapes s'enchaînent. Cet enchaînement est à l'origine d'une logistique complexe. Et l'étendue des domaines dans lesquels sont utilisés les textiles se traduit par une grande variété de scénarios d'utilisation possibles. Ainsi, cette complexité a nécessité la mise en place de différents guides de modélisation sur chaque phase du cycle de vie. Sur la modélisation de la phase de fabrication par exemple, les guides de modélisation illustrent les implications sur les circuits de fabrication du remplacement d'une matière première par une autre.

L'ensemble de ces méthodes et outils dont le concept peut être généralisé à d'autres domaines, ont permis, en particulier, d'étendre l'expertise du Bureau Veritas CODDE à tous les produits contenant des textiles.

Différentes voies d'amélioration du support de la BDD, du fichier de collecte et de l'interface ont été proposées. Pour le support informatique de la base de données, un système de classification des étapes de fabrication tenant compte des contraintes technologiques a été conçu. Son implémentation permettrait une pré-sélection automatique des différents procédés de fabrication les plus probables en fonction des inputs disponibles ou des outputs recherchés. Sur le fichier de collecte, l'ajout de champs sur les résultats de tests qualités permettrait de cadrer le processus d'évaluation de la durée de vie et d'uniformiser les méthodes. Pour l'interface, une possible modélisation des flux intermédiaires automatiserait les calculs de quantités de matières premières entrantes à partir de la masse du produit sortant.

Les perspectives d'améliorations du contenu de la base de données avec l'ajout de nouveaux indicateurs et de nouveaux sets de données sont les plus intéressantes mais également les plus chronophages.

Sur un plan plus conceptuel, la réalisation de cette thèse est également à l'origine des apports suivants :

- L'analyse de certains ICV de la base de données a démontré et quantifié l'influence des représentativités géographique et technologique sur les résultats d'impacts. Différentes études ont également permis d'évaluer l'influence de la durée de vie sur les résultats en introduisant un indicateur de durée de vie pour différents articles. Ces influences sur les résultats sont évidentes mais n'avaient pas été évaluées auparavant.
- La mise en place des guides de modélisation du cycle de vie des textiles prend en considération les implications d'un choix de production sur les autres étapes de fabrication, d'utilisation et de fin de vie. Ce point est la confirmation d'un fait connu des textiliens mais non mis en évidence dans les ACV textiles à ce jour.
- L'utilisation de ces outils et méthodes facilitera la réalisation d'ACV sur les textiles. Pour un effort de collecte moindre, les modélisations du cycle de vie des textiles seront plus représentatives et permettront des comparaisons de résultats entre différents produits.

6 Annexes

6.1 Annexe 1 : Format de documentation

		Process Info	
Index			
Champ obligatoire			
Champ optionnel			
Process data set		Data set for unit processes, partly terminated systems, and LCI results	
version	Automatiquement choisie (format ILCD choisi, version 2011)		
location	Automatiquement rempli		
Meta data only	no		
Process information		Corresponds to the ISO/TS 14048 section "Process description". It comprises the following information:	
Key Data set information		General data set information. Section covers all single fields in the ISO/TS 14048 "Process description".	
UUID of process data set	ec874af0-00d4-0130-4722-12313b066118		
Ecobilan identifier	TEX-0235		
Name	base name	treatment standards, routes	
	Carded thin yarn spinning	long fibres	
Complete name	Carded thin yarn spinning; long fibres; production mix, at plant; 20 Tex; CN		
Short name	Carded thin yarn spinning; long fibres; 20 Tex; China, CN		
Synonyms	spinning long fibres, wool carded spinning		
CAS number	N/A		
Tags	Textile		
Identifier of sub-data set	production stage		
Complementing process	long fibres		
Classification	classification system name	classes	
	Modified ILCD classification for EIME	EIME Classification	
Class name	Hierarchy level n1	Hierarchy level n2	
	Process	Textile production	
General comment on data set	N/A		
Data set LCA report, background info	Manufacturing of 1kg thin carded thread with long fibres requires the following steps: open		
Quantitative reference		This section names the quantitative reference used for this data set, i.e. the reference to the data set.	
Type of quantitative reference	Reference flow(s)		
Reference flow	base name	treatment standards, routes	
	carded thin yarn	long fibres	
Reference flow name	carded thin yarn; long fibres; production mix, at plant; 20 Tex		
Functional unit, production period or other parameter	Manufacturing of 1kg thin carded thread with long fibres.		
Category of reference flow	Product flows / Process/Textile production/Yarn spinning		
Amount	1.0		
Unit/ reference weight	kg (units of mass)		
Time representativeness		Provides information about the time representativeness of the data set.	
Reference year	2007		
Data set valid until	2014		
Time representativeness description	Major contributing unit process source is dated in 2007, other sources are dated 2003, 20		
Geographical representativeness		Provides information about the geographical representativeness of the data set.	
Location	CN		
Latitude and longitude			
Geographical representativeness description	Good geographical representativeness. Energy mixes, waste treatments, water consump		
Sub-location			
Technological representativeness		Provides information about the technological representativeness of the data set.	
Technology description including background system	Manufacturing of 1kg thin carded thread with long fibres requires the following steps: open		

Figure 43 – Copie d'écran du premier onglet de la fiche de documentation : champs obligatoires ILCD "entry level"

UPR Table			
Présents dans le Cas d'un module complexe Ne pas tenir compte de ces lignes si le module est simple (ne contient que des modules préexistants dans la base de données)			
Reference flow name	Amount	Unit	
carded thin yarn; long fibres; production mix, at plant; 20 Tex	1.0	kg (units of ma	
Yield / Efficiency	Amount	Unit	Comment
textile input (long fibres type wool ONLY)	1,14		15%
Waste treatment	Amount	Unit	Comment
Landfill of textiles; landfill including landfill gas utilisation and leachate treatment and without collection, transport and pre-treatment; at landfill site: EU-27	0,0290055	kg	
EOL characteristics	<i>only for components/systems</i>		
Specific eol treatment	N/A		
Specific eol treatment of packaging	No		
Scenario*	N/A		
Recycling potential	N/A		
Energy recovery potential	N/A		
Comments and advices	N/A		
Physical characteristics	Amount	Unit	Comment
Net calorific value (Feedstock energy)	0		module in "pro
Non renewable energy	53,15850575		
Renewable energy	2,263154507		
Total primary energy	55,42166025		
Fuel energy	55,42166025		
Recycled content		N/A	
Included processes and intermediate flows (version number)	Matching Name in other DB	Amount	Unit
	Inputs	0	0
Lubricating oil, from petroleum refinery; production mix, at refinery; RER	Lubricants	0,04	kg
Electricity mix; AC; consumption mix, at consumer; 220V; CN	Electricity	9,45	MJ
Process steam; consumption mix, at consumer; MJ; CN	heat setting thermal energy consumption	4,7	MJ
Water consumption; for process; consumption mix, at consumer; 1L; CN	conditioning water consumption; heat setting water consumption	3,2	L

Figure 44 – Copie d'écran du deuxième onglet de la fiche de documentation : flux intermédiaires inclus dans l'ICV

PARTIE 1: Validation de la fiche de documentation et du

Modélisateur	Marie de Saxcé
Modèle et institution	Axel Roy

Données dans la fiche de doc (Onglets suivants)

Information & Modeling and Validation & Administrative Information

- Vérifier que l'éco-bilan n'a pas déjà été sélectionné dans la liste des modules disponible dans Z:\9 - EIME - BDD\Liste des r
- Nomenclature : vérifier que le nom du module est conforme à la nomenclature ILCD
- Classification : vérifier que le module est correctement classé
- Flux de référence : vérifier que le nom du flux de référence est conforme à la nomenclature ILCD (pas de différenciation géo
- Unité du flux de référence: Vérifier qu'elle correspond bien à l'unité par défaut de l'unit group du "reference parameter" (exel
- Représentativités : géographique, temporelle, technologique sont bien renseignées
- Module à paramètres multiples : bien documenter de quoi il s'agit
- Modelling : vérifier que les méthodes choisies et leurs déviations sont bien renseignées
- Données sources : Vérifier qu'elles sont bien listées
- Complétude : vérifier présence du « no statement » si inconnues
- Administrative information : vérifier qu'il y a bien le nom de la personne qui a fait le module

Module, Validation of modelling assumption

- Vérifier que les frontières du modules sont cohérentes avec le système modélisé
- Vérifier que les concordances (matching) des produits ou des procédés définis pendant la collecte de données et les cons
- Vérifier que les règles d'allocations sont cohérentes
- Excluded flows and processes: Vérifier que les données non modélisées sont bien négligeables (en masse et en impact)
- Les caractéristiques de fin de vie Vérifier qu'elles correspondent à la réalité.
- Vérifier que les formules de calcul pour obtenir les "Amount finaux" sont correctes
- Vérifier que la technologie modélisée est bien utilisée dans la zone spécifique
- Sources: Vérifier que toutes les sources de données sont bien précisées
- Représentativités: Vérifier que les représentativités technologiques, géographiques et temporelles des sources sont rense
- Cas d'un module complexe: vérifier que les liens hypertextes vers l'onglet "integrated module" fonctionnent bien.

Modèles

- Vérifier que le matching est bien fait et que les justifications d'exclusion de procédés sont justes

Données dans le Case study

Concordance avec la fiche de doc

Données définit l'architecture du cas d'étude, et donc la procédure de vérification.

Port Ecoinvent via EIME V4

Pour chaque part, il faut vérifier:

La quantité du flux de référence est la même que celle de la fiche de doc Ecoinvent.

Que les modules choisis pour le matching correspondent à ceux choisis dans la fiche de doc onglet

Out of boundaries	Vérifier que toutes les infrastructures hors des frontières du système sc Vérifier que les autres aspects hors du système comme occupation des	
Outputs Vérifier que les différents parts contiennent soit des flux élémentaires soit des waste flows	Outputs treated	Air emissions Water emissio Soil emission Waste Vérifier
	Outputs untreated	Vérifier que le
Inputs	Energy	Vérifier que le Vérifier que le Natural Gas, C
	Processes	Rarement ren
	Components	Quasiment ja
	Materials	Vérifier que le
	Ressources	Ce part contie
To be defined Vérifier à la racine de « to be defined » qu'il n'y ait plus aucun flux. Déplacer "water cooling" dans sous catégorie "untreated".	From EIME F Waste treatm From Ecoinv Untreated Pla Vérifier que le	

Figure 45 – Copie d'écran du cinquième onglet de la fiche de documentation : protocole de validatyon du set ICV

7 Bibliographie

- ADEME. 1998. *L'analyse De Cycle De Vie De La Production Des Peupliers Sur Pied*. Référence N°AGBI 1526, France : Ademe/Derf.
- . 2002. *Industrie Textile Française, Partie Destination Des Déchets Suivant Les Activités Textiles. Rapport De l'ADEME, Etat Des Lieux 4-2*. France, Rapport de l'ADEME, Etat des lieux 4-2.
- ADEME, and RDC-Environnement. 2009. "Etat De L'art Du Tri Et De La Valorisation Des Textiles D'habillement, Du Linge De Maison Et Des Chaussures (TLC) Consommés Par Les Ménages." *Rapport De l'Ademe*: 1–90.
- APME. 2007. "PlasticsEurope, Life Cycle and Eco-profiles." *Association of Plastics Manufacturers Publication*.
- Aalto, Kristiina. 2003. *Who Washes the Laundry in Finland ?* National Consumer Research Centre, Helsinki, Finland.
- Act Environnement. 2009. *Analyse De Cycle De Vie De L'isolant Textile Du Relais: "Le Métisse", Note Sur Les Impacts Évités Par Le Recyclage Des Fibres Naturelles*. GDF Suez, Le Relais, France.
- Afnor. 2010. "Référentiel De Bonnes Pratiques, Partie 1 : Méthodologie D'évaluation Des Impacts Environnementaux Des Chaussures." *Publication De l'AFNOR* (Octobre). doi:BPX 30-323-1.
- Allwood, J., S. Laursen, S Russell, C Derodriguez, and N Bocken. 2008. "An Approach to Scenario Analysis of the Sustainability of an Industrial Sector Applied to Clothing and Textiles in the UK." *Journal of Cleaner Production* 16 (12) (August): 1234–1246. doi:10.1016/j.jclepro.2007.06.014. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652607001643>.
- Allwood, Julian, Søren Ellebæk Laursen, Cecilia Malvido De Rodríguez, and Nancy M P Bocken. 2006. "Well Dressed ? The Present and Future Sustainability of Clothing and Textiles in the United Kingdom." *University of Cambridge Publication*. doi:ISBN 1-902546-52-0.
- Althaus, H.-J., M. Chudacoff, Roland Hischier, N Jungbluth, Maggie Osses, and Alex Primas. 2007. "Life Cycle Inventories of Chemicals." *Final Report Ecoinvent Data V2.0 No. 8*. (8).
- Althaus, H.-J., F. Dinkel, C. Stettler, and F. Werner. 2007. *Life Cycle Inventories of Renewable Materials. Final Report Ecoinvent Data V2.0 No. 21*. EMPA, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH.
- Audsley, E., S. Alber, R. Clift, S. Cowell, P. Crettaz, G. Gaillard, J. Hausheer, et al. 1997. *Harmonisation of Environmental Life Cycle Assessment for Agriculture. Report on Concerted Action AIR3-CT94-2028*. European Commission, DG VI Agriculture, Brussels.

- Aumônier, Simon, and Michael Collins. 2005. *Life Cycle Assessment of Disposable and Reusable Nappies in the UK*. Environment Agency, UK.
- Babacan, Thomas, Andreas Engelhardt, Norbert Walter, Terry Townsend, Mohamed ali Hassen, Roger Berrier, Volker Siejak, et al. 2010. "The Fiber Year 2009/10: A World Survey on Textile and Nonwovens Industry." *Oerlikon Corporation AG Publication* (10).
- Banerjee, P.K. 2003. "The Relevance of Jute and Coir Products as Environmental Goods." In *Expert Meeting on Definitions and Dimensions of Environmental Goods and Services in Trade and Development*. Palais des Nations, Geneva.
- Barber, A., and G. Pellow. 2006. "Life Cycle Assessment: New Zealand Merino Industry Merino Wool Total Energy Use and Carbon Dioxide Emissions." *The AgriBusiness Group*.
- Bartl, A, A Hackl, B Mihalyi, M Wistuba, and I Marini. 2005. "Recycling of Fibre Materials." *Process Safety and Environmental Protection* 83 (B4): 351–358. doi:10.1205/psep.04392.
- Belhani, Mehdi. 2008. "Analyse De Cycle De Vie Exergétique De Systèmes De Traitement Des Eaux Résiduares". Thèse de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy.
- Benessahraoui, El Habib, Sibi Bonfils, Jean Pierre Ndoutoum, Maryse Labriet, Sylvie Riou, Jean Louis Ciesielski, and Joric Marduel. 2002. "Le Diagnostic Énergétique D'une Entreprise Du Secteur Textile."
- Berger, Markus, and Matthias Finkbeiner. 2010. "Water Footprinting: How to Address Water Use in Life Cycle Assessment?" *Sustainability* 2 (4) (April 5): 919–944. doi:10.3390/su2040919. <http://www.mdpi.com/2071-1050/2/4/919/>.
- Biswas, Wahidul K., John Graham, Kevin Kelly, and Michele B. John. 2010. "Global Warming Contributions from Wheat, Sheep Meat and Wool Production in Victoria, Australia – a Life Cycle Assessment." *Journal of Cleaner Production* 18 (14) (September): 1386–1392. doi:10.1016/j.jclepro.2010.05.003. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652610001769>.
- Blackburn, Richard, and John Payne. 2004. "Life Cycle Analysis of Cotton Towels: Impact of Domestic Laundering and Recommendations for Extending Periods Between Washing." *The Royal Society of Chemistry: Green Chem*: 59–61.
- Blok, Kornelis, and José Potting. 1996. "Life-cycle Assessment of Four Types of Floor Covering." *Journal of Cleaner Production* 3 (4): 201–213. doi:0959-6526/95.
- Boufateh, Inès. 2011. "Contribution à L'évaluation De La Supply Chain Pour La Filière Textile : Définition De Critères De Développement Durable". Thèse de l'Université de Lille 1.
- Boufateh, Inès, Anne Perwuelz, Besoa Rabenasolo, and Anne-Marie Jolly-Desodt. 2007. "Optimization of Environmental and Social Criteria in the Textile Supply Chain : European State of the Art and Perspectives of Research." In *Chapitre 10 Life Cycle Engineering and Assessment, PLM-SP3: Product Lifecycle Management: Assessing the Industrial Relevance*, ed. Milan M. Garetti, S. Terzi, P. Ball, S. Han, pp. 667–676. Milan.

- Boustead, I. 1997. *Eco-profiles of the European Plastics Industry, Nylon 6.6*. Association of Plastics Manufacturers, PlasticsEurope, Brussels.
- . 2002. *Eco-profiles of the European Plastics Industry, Polyethylene Terephthalate*. Association of Plastics Manufacturers, PlasticsEurope, Brussels.
- . 2005a. *Eco-profiles of the European Plastics Industry: Crude Oil*. Association of Plastics Manufacturers, PlasticsEurope, Brussels.
- . 2005b. *Eco-profiles of the European Plastics Industry, Polyurethane Flexible Foam*. Association of Plastics Manufacturers, PlasticsEurope, Brussels.
- . 2005c. *Eco-profiles of the European Plastics Industry: Acrylonitrile*. PlasticsEurope, Association of Plastics Manufacturers (APME).
- . 2005d. *Eco-profiles of the European Plastics Industry: Polypropylene*. Plastics Europe, Association of plastics manufacturers (APME).
- Boutin, Marie-Pierre, Cyril Flamin, Samuel Quinton, Ghislain Gosse, and INRA Lille. 2006. "Etude Des Caractéristiques Environnementales Du Chanvre Par L'analyse De Son Cycle De Vie." *Publication Du Ministère De L'Agriculture Et De La Pêche* (Septembre).
- CIPEC. 2006. *Benchmarking and Best Practices in Canadian Textiles Wet Processing*. Canadian Textile Institute and Natural resources Canada.
- CSTB. 2007. "Règles D'affectation Des Recyclages Dans Les FDES Françaises Pour Les Produits De Construction." In *33ème Forum De Discussion Sur Les ACV*, 1–8.
- Casper, Kristin, Jamie Choi, Tommy Crawford, Steve Erwood, Marietta Harjono, and Martin Hojsík. 2011. *Dirty Laundry 2: Hung Out to Dry Unravelling the Toxic Trail from Pipes to Products*. Greenpeace.
- Cherrett, Nia, John Barrett, Alexandra Clemett, and Matthew Chadwick. 2005. *Ecological Footprint and Water Analysis of Cotton, Hemp and Polyester*. Bio regional development group, WWF Cymru, Stockholm environment Institute. <http://www.york.ac.uk/inst/sei/IS/sustain.html>.
- Choi, Jamie, Madeleine Cobbing, Tommy Crawford, Steve Erwood, Marietta Harjono, and Martin Hojsík. 2010. *Dirty Laundry: Unraveling the Corporate Connections to Toxic Water in China. Human Development*. Greenpeace.
- Competence Center in Environmental Assessment of Product and Material Systems. 2007. "SPINE@CPM Database". Chalmers University of Technology, Göteborg. <http://cpmdatabase.cpm.chalmers.se/AboutDatabase.htm>.
- Cotton Incorporated. 2009. *Summary of Life Cycle Inventory Data for Cotton from Field to Bale-Version1.1*.

- Crawford, Robert H. 2008. "Validation of a Hybrid Life-cycle Inventory Analysis Method." *Journal of Environmental Management* 88 (3) (August): 496–506. doi:10.1016/j.jenvman.2007.03.024. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17485159>.
- Crosson, P., L. Shalloo, D. O'Brien, G.J. Lanigan, P.a. Foley, T.M. Boland, and D.a. Kenny. 2011. "A Review of Whole Farm Systems Models of Greenhouse Gas Emissions from Beef and Dairy Cattle Production Systems." *Animal Feed Science and Technology* 166-167 (June): 29–45. doi:10.1016/j.anifeedsci.2011.04.001. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0377840111001209>.
- Dahlöf, Lisbeth. 2004a. *Methodological Issues in the LCA Procedure for the Textile Sector: a Case Study Concerning Fabric for a Sofa*. Environmental Systems Analysis, Chalmers univeristy of technology, Sweden.
- . 2004b. "LCA Methodology Issues for Textile Products." *Publication from Chalmers University of Technology*. Chalmers university of technology, Sweden.
- van Dam, Jan E.G. 2009. "Symposium on Natural Fibres in Rome." In *Environmental Benefits of Natural Fibre Production and Use*, ed. Food and Agriculture Organisation report, 3–17. Wageningen university, the Netherlands.
- Depur, Lariana, and S. Andreoli. 2003. "TOWEFO: 'Report on Textile Process Identification for Silk and Synthetic Fibres Industries' 'Data Sheet of Relevant Parameters of the Manufacturing Processes of Synthetic Fibres and Silk Finishing Industries'." *Report on the Evaluation of the Effect of the IPPC Application on the Sustainable Waste Management in Textile Industries: 1–23*.
- Dias, Deborah, Marie de Saxcé, Adrien Beton, and Anne Perwuelz. 2009. *Environmental Improvement Potentials of Textiles: IMPRO-TEX*. Bio Intelligence Service, ENSAIT, European Commission JRC.
- Directorate General Joint Research Centre JRC, and European Commission. 2007. "European Reference Life Cycle Database (ELCD)." <http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/datasetCategories.vm>.
- Doka, Gabor. 2005. "Assessing Long-term Effects of Municipal Solid Waste." In *1st BOKU Waste Conference "Waste Management in the Focus of Controversial Interests"*, ed. Zurich Doka Life Cycle Assessments, 1–13. Vienna, Austria.
- Domingo, Lucie, and Julie Orgelet. 2009. *Aide à La Documentation- Bonnes Pratiques Pour La Documentation Des Modules EIME*. CODDE, France.
- Duflou, J R, K Kellens, and W Dewulf. 2011. "Unit Process Impact Assessment for Discrete Part Manufacturing : A State of the Art." *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* (2010): 1–7. doi:10.1016/j.cirpj.2011.01.008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirpj.2011.01.008>.
- EAA. 2007. "European Aluminium Association (EAA), Environmental Profile Report and LCA Data." <http://www.eaa.net/eea/index.jsp>.
- EC, and JRC. 2010a. *ILCD Handbook - Reviewer Qualification for Life Cycle Inventory Data Sets*. Office. European Commission. doi:10.2788/95543.

- . 2010b. *ILCD Handbook - Review Schemes for Life Cycle Assessment (LCA)*. Office. European Commission. doi:10.2788/39791.
- EPA. 1999. *Municipal Solid Waste Landfills , Volume 1 : Summary of the Requirements for the New Source Performance Standards and Emission Guidelines for Municipal Solid Waste Landfills*. United States Environmental Protection Agency.
- Eady, Sandra, Andrew Carre, and Tim Grant. 2012. "Life Cycle Assessment Modelling of Complex Agricultural Systems with Multiple Food and Fibre Co-products." *Journal of Cleaner Production* 28 (June): 143–149. doi:10.1016/j.jclepro.2011.10.005. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652611003763>.
- Erlandsson, Markus, Ann-christin Pålsson, and Sandra Häggström. 2006. "Specification of Data Conversion from EcoSpold to ISO / TS 14048 , SPINE and IA98." *Spine*.
- European Commission. 2003a. "Reference Document on Best Available Techniques for the Textiles Industry." *European Commission Publication, Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC)* (July).
- . 2003b. "TOWEFO: D3- 'Report on the GEP Survey'." *Report on the Evaluation of the Effect of the IPPC Application on the Sustainable Waste Management in Textile Industries: 1–59*. <http://spring.bologna.enea.it/towefo/>.
- . 2010. *ILCD Handbook - General Guide for Life Cycle Assessment - Detailed Guidance. Constraints*. Directorate General Joint Research Centre. doi:10.2788/38479.
- European Commission, and Joint Research Center. 2010a. *ILCD Handbook - Recommendations Based on Existing Environmental Impact Assessment Models and Factors for Life Cycle Assessment in a European Context*.
- . 2010b. *ILCD Handbook - Specific Guide for Life Cycle Inventory Data Sets*. Office. doi:10.2788/39726.
- European parliament. 2008. "Integrated Pollution Prevention and Control - Directive 2008/1/EC." <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32008L0001:EN:NOT>.
- FAO. 2009. *AQUASTAT Database*. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy. www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm.
- FEDEREC. 2010. "FEDEREC, Fédération Du Recyclage, Les Chiffres Clés Sur L'industrie Textile." <http://www.federec.org/presentation/syndicats-nationaux/textiles.html>.
- FEFCO. 2006. *European Database for Corrugated Board – Life Cycle Studies*. European Federation of Corrugated Board Manufacturers, Brussels, Belgium. http://www.fefco.org/fileadmin/fefco_files/Publications/Other_Publications/lca2006.pdf.
- Finnveden, Göran, Michael Z Hauschild, Tomas Ekvall, Jeroen Guinée, Reinout Heijungs, Stefanie Hellweg, Annette Koehler, David Pennington, and Sangwon Suh. 2009. "Recent Developments

- in Life Cycle Assessment.” *Journal of Environmental Management* 91 (1) (October): 1–21. doi:10.1016/j.jenvman.2009.06.018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.06.018>.
- Fodouop, Kengne. 2005. *Le Marché De La Friperie Vestimentaire Au Cameroun*. Ed. L’Harmattan.
- Frischknecht, Rolf, Hans-jörg Althaus, Christian Bauer, Gabor Doka, Thomas Heck, Niels Jungbluth, Daniel Kellenberger, and Thomas Nemecek. 2007. “The Environmental Relevance of Capital Goods in Life Cycle Assessments of Products and Services.” *International Journal of Life Cycle Assessment* 12 (1): 7–17.
- Giusiano, Dominique, Serge Sztarkman, Alain Geldron, Emmanuelle Butaud, and Jacques Pelissard. 2010. *Rapport D’activité 2010 ECO TLC: Linge, Chaussure, Textile*. L’éco-organisme du textile, du linge et de la chaussure, ECO TLC, FEDEREC.
- Grenelle environnement. 2011. *Affichage Environnemental Des Produits De Consommation : Lancement De L’expérimentation Nationale*. Ministère de l’écologie, du développement durable, des transports et du logement, France. www.developpement-durable.gouv.fr 2.
- Grisel, L., and P. Osset. 2004. *L’Analyse Du Cycle De Vie D’un Produit Ou D’un Service - Applications Et Mise En Pratique*. Edition Afnor, France. <http://www.afnor.org/content/view/full/12085>.
- Habersatter, K., I. Fecker, S. Dall’Acqua, M. Fawer, F. Fallscheer, R. Förster, C. Maillefer, et al. 1998. *Ökoinventare Für Verpackungen*.
- Halleux, Hubert, Stephane Lassaux, and Albert Germain. 2006. “Comparison of Life Cycle Assessment Methods , Application to a Wastewater Treatment Plant.” In *Proceedings of LCE*, 93–96.
- Hanski, Jyri, Tiia Luomanen, Helena Kortelainen, and Tero Välisalo. 2012. “Assessing the Value of Water Supply Networks.” In *Third International Engineering Systems Symposium*, 18–20. University of Tampere, Finland.
- Hedemann, J, I Meinshausen, and R Frischknecht. 2008. *Ecoinvent 2000 - Documentation EcoSpold*. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Hamburg.
- Heijungs, Reinout, Mark Goedkoop, Jaap Struijs, Suzanne Eftting, Maartje Sevenster, and Gjaltp Huppés. 2003. *Towards a Life Cycle Impact Assessment Method Which Comprises Category Indicators at the Midpoint and the Endpoint Level Report of the First Project Phase : Design of the New Method*.
- Hischier, Roland. 2007. *Life Cycle Inventories of Packagings & Graphical Papers*. Vol. 0. ecoinvent report No. 11. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf.
- Houte, Frédéric Van, David Morris, Bernard Defraye, Catherine Wagneur, Candide Dufloucq, Micheline Verboven, Natasja Faelens, and Anna Stein-Dulat. 2011. *CIRFS Statistical Year Book 2011: Information on Man-made Fibres*. Vol. 47th Volum. European man-made fibres association, Brussels.
- Huff, Melissa, Beverly Sauer, James Littlefield, Anne Marie Molen, Sarah Cashman, Rebe Feraldi, and Lori Snook. 2010. *Cradle-to-gate Life Cycle Inventory of Nine Plastic Resins and Four*

- Polyurethane Precursors*. Franklin associates, a division of eastern research group, inc., The plastic division of the American chemistry council, Kansas.
- Huijbregts, Mark A J. 1998. "Application of Uncertainty and Variability in LCA. Part I: A General Framework for the Analysis of Uncertainty and Variability in Life Cycle Assessment." *International Journal of Life Cycle Assessment* 3 (5): 273–280.
- Huijbregts, Mark A J, Gregory Norris, Rolf Bretz, Andreas Citroth, Benoit Maurice, Bo von Bahr, Bo Weidema, and Angeline de Beaufort. 2001. "Framework for Modelling Data Uncertainty in Life Cycle Inventories." *International Journal of Life Cycle Assessment* 6 (3): 127 – 132.
- IEA. 2010. "International Energy Agency Database."
- IISF. 2007. "International Iron and Steel Institute (IISI), LCI Data on Steel Production." <http://www.worldstainless.org/Core/LCIContact>.
- ILCD. 2011. *ILCD - Documentation of LCA Data Sets*. International Reference Life Cycle Data System, Europe. doi:10.2788/9588.
- ISO. 2002. *ISO 14048 - Management Environmental - Analyse Du Cycle De Vie - Format De Documentation Des Données*. International Organisation for Standardization, Genève, Suisse.
- . 2003. *ISO 14047 - Environmental Management - Life Cycle Impact Assessment - Examples of Application of ISO 14042*. International Organisation for Standardization, Genève, Suisse.
- . 2006a. *ISO 14040 - Management Environnemental - Analyse Du Cycle De Vie - Principes Et Cadre*. International Organisation for Standardization, Genève, Suisse.
- . 2006b. *ISO 14044 - Environmental Management — Life Cycle Assessment — Requirements and Guidelines*. International Organisation for Standardization, Genève, Suisse.
- ITMF. 2011. *International Textile Machinery Shipments Statistics*. Vol. 33. International Textile Manufacturers Federation, Zürich, Switzerland.
- Intertek, and rdc environnement. 2010. *Analyse De L'impact Environnemental Des Produits Textiles, Partie Collecte De Données*. Somewhere, REDCATS, France.
- Joint Research Center, and Institute for Environment and Sustainability. 2010. *Compliance Rules and Entry-level Requirements*. doi:10.2788/95600.
- Jönsson, A., A-M. Tillman, and T. Svensson. 1997. "Life Cycle Assessment of Flooring Materials : Case Study." *Building and Environment* 32 (3): 245–255.
- Kalliala, Eija. 1997. "The Ecology of Textiles and Textile Services - A LCA Assessment Study on Best Available Applications and Technologies for Hotel Textile Production and Services". Tampere University Technology Publications 214, Finland.
- Kalliala, Eija M, and Pertti Nousiainen. 1999. "Life Cycle Assessment Environmental Profile of Cotton and Polyester-cotton Fabrics." *AUTEX Research Journal* 1 (1): 8–20.

- Kalliala, Eija, and Päivi Talevenmaa. 2000. "Environmental Profile of Textile Wet Processing in Finland." *Journal of Cleaner Production* 8: 143–154.
- Kellenberger, Daniel. 2008. *Modelling Principles for the Collection of Consistent and Comprehensive LCI Data*. SCION, Sustainable Consumer Products, LCA Group, New Zealand.
- Keller, Mario. 2004. *Handbook Emission Factors for Road Transport*. INFRAS, Zürich, Bern, Germany. www.hbefa.net.
- Kennedy, Dale J, Douglas C Montgomery, and Beth H Quay. 1996. "Data Quality, Stochastic Environmental Life Cycle Assessment Modeling, A Probabilistic Approach to Incorporating Variable Input Data Quality." *International Journal of Life Cycle Assessment* 1 (4): 199–207.
- Knörr, Wolfram, Stefan Seum, Martin Schmied, Frank Kutzner, and Ralph Anthes. 2011. *Ecological Transport Information Tool for Worldwide Transports: EcoTransit; Methodology and Data*. commissioned by DB Schenker, Germany, International Union of Railways.
- Kooistra, Karst, Aad Termorshuizen, and Rhiannon Pyburn. 2006. *The Sustainability of Cotton Consequences for Man and Environment*. Science shop Wageningen UR, Report 223. Wageningen University, The Netherlands.
- Koç, Erdem, and Emel Kaplan. 2007. "An Investigation on Energy Consumption in Yarn Production with Special Reference to Ring Spinning." *University of Cukurova Publication* 15 (4): 18–25.
- Labouze, Eric, Yannick Le Guern, and Cécile des Abbayes. 2006. *Analyse De Cycle De Vie D'un Pantalon En Jean*. Rapport du Cabinet bio Intelligence Service pour l'ADEME.
- Lauret, Vincent, and Jeanne Tarrade. 2007. *Bilan Énergétique Des Fils De Polyamide 66, Polyéthylène Téréphtalate, Fibranne Et Coton*. 15ème Challenge ITECH, France.
- Laursen, Soren E., John Hansen, Tove A. Andersen, and Hans Henrik Knudsen. 2002. *Danish Experience. Best Available Techniques - BAT - in the Clothing and Textile Industry*. Document prepared for the IPPC bureau and the TWG textile, Working report n° 10. Danish Environmental Protection Agency.
- Laursen, Søren Ellebæk, John Hansen, Hans Henrik Knudsen, Henrik Wenzel, Henrik Fred Larsen, and Frans Møller Kristensen. 2007. *EDIPTEx – Environmental Assessment of Textiles. EDIPTEx Publication*. Workin report n°24, Danish Ministry of the environment, Environmental protection Agency.
- Lees-Perasso, Etienne. 2012. *Manuel Indicateur EIME: Indicateurs Recommandés Par ILCD Au 01/03/2012*. Bureau Veritas CODDE, Moirans.
- Lettland, Karen, Henrik Kærsgaard, and Ingvar Andersson. 1997. *Comparing Environmental Impact Data on Cleaner Technologies, CEIDDOCT Project*. Technical report European Environment Agency, Copenhagen, Denmark.
- Levi Strauss and Co. 2009. *Life Cycle Assessment on Levi's 501 Jean for U.S. Market, 2006 Production Year*. USA.

- Levi's. 2011. *Projet De Référentiel D'évaluation Environnementale Du Jean*.
- Marbek Resource Consultants. 2001. *Identification and Evaluation of Best Available Technologies Economically Achievable (BATEA) For Textile Mill Effluents*. Document rédigé pour Environment Canada, Environmental Protection Branch.
- Mathery, Christian, and Agnès Heyberger. 2012. *Déchets, Édition 2012: Chiffres Clés*. Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie, ADEME, France.
- Maurice, B, R. Frischknecht, V. Coelho-Schwartz, and K. Hungerbühler. 2000. "Uncertainty Analysis in Life Cycle Inventory . Application to the Production of Electricity with French Coal Power Plants." *Journal of Cleaner Production* 8: 95–108.
- Müezzinoğlu, Aysen. 1998. "Air Pollutant Emission Potentials of Cotton Textile Manufacturing Industry." *Journal of Cleaner Production* 6: 339–347. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652698000134>.
- NF. 2006. *FD P 01-015 - Qualité Environnementale Des Produits De Construction - Fascicule De Données Énergie Et Transport*. Vol. 33.
- NREL. 2004. *U.S. LCI Database Project – User's Guide*. National Renewable Energy Laboratory, Athena Sustainable Materials Institute, Franklin Associates Limited, Sylvania, USA.
- National Renewable Energy Laboratory NREL. 2004. "US Life Cycle Inventory Database." <http://www.nrel.gov/lci/>.
- Nemeček, Thomas, and Thomas Kägi. 2007. *Life Cycle Inventories of Swiss and European Agricultural Production Systems. Final Report Ecoinvent V2.0 No. 15a*. Agroscope Reckenholz-Taenikon Research Station ART, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Zurich and Dübendorf, CH.
- Nielsen, H, Stephan Exner, Anne-Mette Jørgensen, and Michael Hauschild. 1998. "Product Specific Emissions from Municipal Waste Landfills, Part I: Landfill Model." *The International Journal of Life Cycle Assessment* 3 (3): 158–168. doi:10.1007/BF02978824.
- Nieminen, Eija, Michael Linke, Marion Tobler, and Bob Vander. 2007. "EU COST Action 628 : Life Cycle Assessment (LCA) of Textile Products , Eco-efficiency and Definition of Best Available Technology (BAT) of Textile Processing." *Journal of Cleaner Production* 15: 1259–1270. doi:10.1016/j.jclepro.2006.07.011.
- Niinimäki, Kirsi, and Lotta Hassi. 2011. "Emerging Design Strategies in Sustainable Production and Consumption of Textiles and Clothing." *Journal of Cleaner Production* 19 (16): 1876–1883. doi:10.1016/j.jclepro.2011.04.020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.04.020>.
- Oerlikon Textile GmbH & Co. 2010. "Global Fiber Production Exceeded 70 Million Tonnes in 2009." *Oerlikon Press Release*.
- Orgelet, Julie, Yann Fabre, Agnès Quesne, and Bureau Veritas Codde. 2012. "Development of a Tool for Integrated Life Cycle Assessment and Ecodesign of Electrical and Electronic Products." In *Electronic Goes Green*, 38430. Berlin.

- Otsuki, John, and Paul Raybin. 2010. *Airdye Environmental Profile Life Cycle Assessment*. Ed. Transprint. Colorep Inc., New York, USA.
- PE International. 1990. *Spezifischer Energieeinsatz Im Verkehr, Ermittlung Und Vergleich Der Spezifischen Energieverbräuche, Forschungsbericht FE NR. 90 247/88*. Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Germany. <http://www.gabi-software.com/france/databases/>.
- . 2006. "GaBi Databases." *University of Stuttgart: GaBi Software System, Leinfelden-Echterdingen / Germany*. <http://www.gabi-software.com/france/databases/gabi-databases/>.
- Pardo Martínez, Clara Inés. 2010. "Energy Use and Energy Efficiency Development in the German and Colombian Textile Industries." *Energy for Sustainable Development* 14 (2) (June): 94–103. doi:10.1016/j.esd.2010.02.001. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0973082610000049>.
- Pasquet, Vanessa, and Sandrine Pesnel. 2012. "Ways to Improve Environmental Impacts of a Textile Product Through the Supply Chain." In *International Workshop on Green Supply Chain*. Vol. 33. Arras, France.
- Payet, Jérôme. 2011. "Données Semi-spécifiques Pour L'expérimentation Nationale D'affichage Environnemental Sur Les Textiles Habillement". Les Tissages de Charlieu, Trouillet, PME Tissage, Cycleco, ADEME, France.
- Perrin, Nicolas. 2005. "L'influence Des Exportations Européennes De Friperie Sur Le Développement Des Filières Textiles En Afrique De l'Ouest Et Du Centre". Thèse de master II, Université de Rennes.
- Pesnel, Sandrine, and Anne Perwuelz. 2009. *Importance De La Durée De Vie D'un Article Sur L'analyse Du Cycle De Vie. Contribution Affichage Environnemental Textile Afnor*. Réunions sur l'affichage environnemental ADEME, GT n°5 : Contribution GEMTEX.
- Rexeis, Martin, Stefan Hausberger, Iddo Riemersma, Leonid Tartakovsky, Yoram Zvirin, and Erwin Cornelis Martine Van Poppel. 2005. *ARTEMIS Project: Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems, Heavy Duty Vehicle Emissions*.
- Robinson, Brian. 1998. "Environmental Guidelines for the Textile Dyeing and Finishing Industry." *Environmental Protection Agency Publication and State Government of Victoria* (June).
- Sanders GmbH. 2000. "Financial Rewards from Mass Customization." In *Sanders for Mass Customization of Textile Products*. New York.
- Saouter, Erwan, Gert Van Hoof, Tom C J Feijtel, and J William Owens. 2002. "LCA Case Studies The Effect of Compact Formulations on the Environmental Profile of Northern European Granular Laundry Detergents Part II : Life Cycle Assessment." *International Journal of Life Cycle Assessment* 7 (1): 27–38.
- Shen, Li, and Martin K Patel. 2010. "Life Cycle Assessment of Man Made Cellulose Fibres." *Lenzinger Berichte* 88: 1–59.

- Shen, Li, Ernst Worrell, and Martin K. Patel. 2010. "Open-loop Recycling: A LCA Case Study of PET Bottle-to-fibre Recycling." *Resources, Conservation and Recycling* 55 (1) (November): 34–52. doi:10.1016/j.resconrec.2010.06.014. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344910001618>.
- Sjöbris, Anders, Joakim Gustafsson, and Karl Jiven. 2005. *ARTEMIS Project: Sea Transport Emission Modelling*. European Commission, MariTerm AB.
- Smith, Brent. 1986. *Identification and Reduction of Pollution Sources in Textile Wet Processing*. NCSU, Department of Natural Resources and Community Development, Pollution Prevention Program, Raleigh, N.C.
- Soverini, Dimitri, and Julie Pariset. 2008. *L'écoprofil D'une Chemise En Lin Et Analyse Comparative D'une Chemise En Lin Et D'une Chemise En Coton*. Cabinet Bio Intelligence Service pour Masters of Linen, France.
- Spielmann, Michael, M. Bauer, R. Dones, Paul Scherrer, and M. Tuchschnid. 2007. *Life Cycle Inventories of Transport Services*. Ecoinvent report n°14, v.2.0, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf. www.ecoinvent.org.
- Steinfeld, Henning, Pierre Gerber, Tom Wassenaar, Vincent Castel, LEAD, and FAO. 2006. *Livestock's Long Shadow Environmental Issues and Options*. The Livestock, Environment and Development initiative (LEAD), Food and Agriculture Organisation, Rome.
- Suh, S, and G Huppel. 2005. "Methods for Life Cycle Inventory of a Product." *Journal of Cleaner Production* 13 (7) (June): 687–697. doi:10.1016/j.jclepro.2003.04.001. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652604000289>.
- Sutter, J. 2010. *Life Cycle Inventories of Pesticides*. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, St. Gallen.
- Swezeya, Sean L., Polly Goldmana, Janet Bryera, and Diego Nieto. 2007. "Six Year Comparison Between Organic, IPM and Conventional Cotton Production Systems in the Northern San Joaquin Valley California." *Renewable Agriculture & Food Systems*, 22 (1): 30–40.
- Swiss Centre for Life Cycle Inventories, and Ecoinvent centre. 2007. "Ecoinvent Database". Dübendorf. <http://www.ecoinvent.ch/>.
- Thorneloe, Susan. 2008. *Background Information Document for Estimating Emissions from Municipal Solid Waste Landfills*. Air Pollution Prevention and Control Division National Risk Management Research Laboratory, US.
- Tobler, Marion, and S. Schaerer. 2002. "Environmental Impacts of Different Cotton Growing Regimes." In *International Cotton Conference Bremen*. Ecole polytechnique fédérale de Zurich.
- Tukker, Arnold, Gjalte Huppel, Jeroen Guinée, Reinout Heijungs, Arjan de Koning, Laurant van Oers, and Sangwon Suh. 2006. *Environmental Impact of Products (EIPRO). Technical Report Series*. European Commission, Joint research Center, Ipts, Sevilla.

- Turunen, Lea, and Hayo van Der Werf. 2006. *Life Cycle Analysis of Hemp Textile Yarn: Comparison of Three Hemp Fibre Processing Scenarios and a Flax Scenario*.
- Umweltbundesamt (UBA), and German Environmental Protection Agency. 2007. "PROBAS Database." <http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/index.php>.
- Vigon, Bruce W., and Allan A. Jensen. 1995. "Life Cycle Assessment : Data Quality and Databases Practitioner Survey." *Journal of Cleaner Production* 3 (3): 135–141.
- de Vreese, I., ENEA, and CENTEXBEL. 2004. "TOWEFO: D7 'Report on Quantitative Evaluation of GEP in the Cotton Industry'." *Report on the Evaluation of the Effect of the IPPC Application on the Sustainable Waste Management in Textile Industries*: 1–15. <http://spring.bologna.enea.it/towefo/>.
- Weidema, Bo. 2012. "Using Parameterization to Handle Combined & Joint Co-production." In *Presentation for the 48th Swiss Discussion Forum*. Zürich, Switzerland.
- Weidema, Bo Pedersen, and Marianne Suhr Wesnaes. 1996. "Data Quality Management for Life Cycle Inventories-an Example of Using Data Quality Indicators." *Journal of Cleaner Production* 4 (3): 167–174.
- Wiegmann, Kirsten. 2002. *Anbau Und Verarbeitung Von Baumwolle - Dokumentation Der GEMIS Daten. Harvesting and Processing of Cotton - the Documentation GEMIS Data*. Öko-Institut eV, Freiburg Office, Darmstadt and Berlin in Germany.
- Woolridge, Anne C, Garth D Ward, Paul S Phillips, Michael Collins, and Simon Gandy. 2006. "Life Cycle Assessment for Reuse / Recycling of Donated Waste Textiles Compared to Use of Virgin Material : An UK Energy Saving Perspective." *Resources Conservation and Recycling Journal* 46: 94–103. doi:10.1016/j.resconrec.2005.06.006.
- Zhen, L., M.A. Zoebisch, G Chen, and Z. Feng. 2006. "Sustainability of Farmers' Soil Fertility Management Practices: A Case Study in the North China Plain." *Journal of Environmental Management* 79 (4): 409–419.

Résumé en anglais

In recent years, the European textile industry and textiles imports have had to comply with an increasing number of environmental policies. Emissions from industrial installations have been subject to EU-wide legislation for over 10 years: the IPPC Directive, the European Pollutant Release and Transfer Register (E-PRTR)... Since 2007, European textile producers also have to comply with a substantial number of obligations under REACH. Furthermore, in France environmental labelling for certain convenience goods (including textile products) might become mandatory in 2020.

In parallel, national awareness appeared on the necessity of designing consumer products with limited use of natural resources and decreased the environmental impacts. Eco-design involves the implementation of new materials and new processes.

Life Cycle Assessment, LCA, is a tool that enables the assessment of environmental impacts. This thesis was initiated by Bureau Veritas CODDE Company and the GEMTEX laboratory, following on the identification of a significant need for the development of LCA data and methods in the textile sector.

This is because the existing methods and tools are not suitable for the environmental impact assessment of textile products since the textile sector presents specific constraining characteristics. These tools should enable designers, manufacturers and retailers to perform LCA on their products.

In the first chapter, the state of the art in the environmental assessment of textiles is presented. This bibliography aims at describing the textile life cycle by reviewing the environmental studies published on the topic. All the sources used to develop the database are not mentioned; but it provides an inventory of the studies that improved the environmental assessment of textiles.

The state of the art showed the lack of representative geographical and technological data on the manufacturing and distribution steps. It also showed that the lack of standardization, for the Life Cycle Inventories (LCI) modelling of the use and end-of-life phases, lead to high discrepancies in results.

In the second chapter, the methodology developed for creating LCI data sets is detailed. Then, we focus on the modelling step to answer some specific related issues. Finally, the documentation format and validation protocols are presented. In this section, the bibliographical sources related to LCA methods are referenced. Then, different yarn spinning unit processes are assessed to illustrate the modelling issues raised previously.

This LCI creation method was developed easing compliance requirements with other LCI databases. The implementation of this method has automated a heavy procedure for the creation of generic data in any field.

The implementation of this method has provided the textile database. This database was created to deal with the difficulties of collecting specific data at some life cycle steps.

In the third chapter, the life cycle modelling method for a textile consumer product is presented. Different tools were implemented to help the completion of textile LCAs by using the

database created. The different textile life cycle modelling tools are presented: the database computer support, the data collection file, and the design software. Then the modelling methods for the four textile life cycle phases are presented: manufacturing, distribution, use and end-of-life. The modelling of several scenarios showed a clear need for specific methods on each life cycle phase. Thus on the manufacturing phase for instance, a change of raw material has consequences on all the manufacturing steps.

In the fourth chapter, the development prospects for the database, the data collection file and the design software are presented. Most of the developments suggested on the three tools aim at simplifying the LCA method implemented. These simplifications should not decrease the representativeness of the product life cycle modelling and should be feasible in short timelines.

All of these methods and tools have allowed the expansion of Bureau Veritas - CODDE's area of expertise to any products including textile parts. The different studies conducted showed the importance of a good geographical representativeness and the influence of the product lifetime on the results. The LCA method developed accounts for the implications of specific manufacturing choices on the other manufacturing steps and on the use and end-of life phases. This aspect is well-known to textile engineers but was not accounted for in textile LCAs so far. The use of these tools and methods will help design representative environmental life cycles of textiles and will allow comparisons between products.

Résumé en français

Ces dernières années, les législations dans le domaine du textile et de l'environnement se sont multipliées. Au niveau européen, les directives IPPC, REACH, ont obligé les industriels Européens à prendre en compte les aspects environnementaux de leurs produits et services. En France, suite au Grenelle de l'environnement, de nouvelles obligations apparaissent concernant les déchets textiles ou l'affichage environnemental (Grenelle environnement 2011).

Parallèlement, une prise de conscience internationale de la nécessité de concevoir des produits limitant l'utilisation de ressources non renouvelables et diminuant leur impact environnemental, est apparue. L'éco conception implique la mise en œuvre de nouvelles matières et de nouveaux procédés.

L'ACV, analyse du cycle de vie est un outil qui permet l'évaluation des impacts environnementaux. Cette thèse a été lancée par Bureau Veritas CODDE et le laboratoire GEMTEX, suite à l'identification d'un besoin significatif de développement de données et méthodologies ACV pour le secteur du textile. En effet, les méthodologies et les outils existants ne sont pas adaptés à l'évaluation de l'impact environnemental des produits textiles car le secteur présente des caractéristiques spécifiques contraignantes. Ces outils doivent permettre autant aux concepteurs, qu'aux fabricants et distributeurs de réaliser des ACV à des niveaux de granulométrie différents.

Dans le premier chapitre, l'état de l'art en matière d'études environnementales sur les textiles est présenté. Cette bibliographie a pour objectif de décrire le cycle de vie des textiles en passant en revue les différentes études environnementales publiées sur le sujet. Il ne s'agit pas de recenser toutes les sources bibliographiques utilisées pour réaliser la base de données ; mais, plutôt, de faire l'inventaire des études environnementales qui ont permis de mieux connaître les impacts environnementaux de différents maillons de la chaîne textile.

L'état de l'art a mis en évidence le manque de données représentatives géographiquement ou technologiquement sur les phases de fabrication et de distribution. Il a montré également que la non-uniformisation des pratiques d'ACV sur la modélisation de la phase d'utilisation ou de fin de vie conduit à de fortes disparités sur les résultats.

Dans le deuxième chapitre, la méthodologie de création des inventaires de cycle de vie développée est expliquée. Ensuite un zoom sur l'étape de modélisation d'un processus élémentaire est effectué pour répondre à certaines problématiques spécifiques. Finalement, le format de documentation et le protocole de validation établis sont présentés. Dans cette partie sont citées les sources purement méthodologiques sur la réalisation d'ACV. Ensuite, différents processus élémentaires de filature sont évalués pour illustrer les problématiques de modélisations soulevées précédemment.

Cette méthode de création d'ICV a été développée tout en respectant les impératifs de conformité avec d'autres bases de données ICV. La mise en place de cette méthode a permis d'automatiser une procédure lourde pour la construction de données génériques applicable à n'importe quel domaine.

L'application de cette méthodologie a permis de constituer la base de données textile ou BDD. Elle a été créée pour pallier aux difficultés de collecte des données spécifiques à certaines étapes du cycle de vie.

Dans le troisième chapitre, la méthode de modélisation du cycle de vie d'un produit de consommation textile est présentée. Différents outils ont été mis en place pour faciliter la réalisation d'ACV textiles en exploitant la BDD créée. Ces différents outils de modélisation du cycle de vie des textiles sont présentés: le support informatique de la base de données, le fichier de collecte, et l'interface de design. Ensuite, les méthodes de modélisation des différentes phases du cycle de vie sont présentées par ordre chronologique : la fabrication, la distribution, l'utilisation et la fin de vie. La modélisation de différents scénarios a nécessité la mise en place de différentes méthodes ou guides de modélisation sur chaque phase du cycle de vie. Ainsi, sur la modélisation de la phase de fabrication par exemple, l'utilisation de différentes matières premières impliquent des circuits de fabrication multi-étapes différents.

Dans le quatrième chapitre, les perspectives de développement de la base de données, du fichier de collecte et de l'interface sont présentées. La plupart des développements sur la base de données, l'interface ou le fichier de collecte visent à simplifier l'utilisation et la méthode ACV mise en place. Ces simplifications ne devront pas remettre en question la représentativité des modélisations et pouvoir être effectuées sous certains délais.

L'ensemble de ces méthodes et outils ont permis d'étendre l'expertise du Bureau Veritas CODDE à tous les produits contenant des textiles. Les différentes études menées démontrent l'importance d'une bonne représentativité géographique et l'influence de la durée de vie sur les résultats. La méthode d'ACV développée prend en considération les implications des choix de technologies de production sur les autres étapes de fabrication et sur les phases d'utilisation et de fin de vie. Ce point est la confirmation d'un fait connu des textiliens mais non mis en évidence dans les ACV textiles à ce jour. L'utilisation de ces outils et méthodes facilitera la réalisation de modélisations représentatives du cycle de vie des textiles et permettra les comparaisons des résultats de différents produits.