



Organisations professionnelles du lin

Analyse de Cycle de Vie comparée d'une chemise en lin et d'une chemise en coton

Rapport final post revue critique

Décembre 2007

Bio Intelligence Service - la mesure du facteur santé
Écologie Industrielle - Santé nutritionnelle

Bio Intelligence Service S.A.S. - bio@biois.com
1 rue Berthelot - 94200 Ivry-sur-Seine - France
Tél. +33 (0)1 56 20 28 98 - Fax. +33 (0)1 58 46 09 95

Contact Bio Intelligence Service S.A.S.
Eric LABOUZE – Yannick LE GUERN – Charlotte PETIOT
☎ + 33 (0) 1 56 20 28 98
eric.labouze@biois.com
yannick.leguern@biois.com
charlotte.petiot@biois.com

Sommaire

Synthèse	6
----------------	---

1. Introduction 12

1.1. Contexte.....	12
1.2. Objectifs	12
1.3. Représentativité de l'étude.....	13
1.4. Revue critique	13

2. Méthodologie générale et champ de l'étude..... 14

2.1. Présentation générale de l'Analyse de Cycle de Vie.....	14
2.2. Unité fonctionnelle.....	15
2.3. Produits étudiés	15
2.3.1. Description des produits étudiés.	15
2.3.2. Masse de produit se ramenant à l'unité fonctionnelle	16
2.4. Systèmes étudiés.....	16
2.5. Flux et impacts environnementaux étudiés	17
2.5.1. Inventaire des flux.....	17
2.5.2. Indicateurs environnementaux	17
2.6. Calcul des équivalents habitants.....	19

3. Hypothèses et données communes aux deux systèmes lin et coton 20

3.1. Etapes exclues des systèmes	20
3.2. Critères de coupure.....	20
3.3. Principes d'allocation	20
3.4. Lieu de production des chemises et modélisation des consommations électriques.....	21
3.5. Modélisation de l'étape d'utilisation.....	22
3.5.1. Modélisation du lave-linge.....	22
3.5.2. Modélisation de la lessive	22
3.5.3. Modélisation des consommations électriques en France pour le lavage et le repassage.....	24
3.6. Modélisation de la fin de vie.....	24
3.6.1. Fin de vie avec les déchets ménagers	24
3.6.2. Fin de vie en filière de réemploi.....	24

4. Système étudié et hypothèses et données utilisées pour l'inventaire de la chemise en lin 25

4.1.	Frontières du système étudié	25
4.2.	Lieux de production considérés et transports modélisés.....	27
4.3.	Culture du lin	29
4.3.1.	Semis.....	29
4.3.2.	Apport de zinc.....	29
4.3.3.	Fertilisants	30
4.3.4.	Pesticides	33
4.3.5.	Utilisation de machines agricoles et consommation d'énergie	37
4.3.6.	Récolte	38
4.3.7.	Principe d'allocation pour l'étape de culture du lin	38
4.3.8.	Modélisation globale de la culture du lin : inventaires utilisés et lacunes identifiées.....	38
4.4.	Teillage du lin	40
4.5.	Filature du lin.....	42
4.5.1.	Peignage du lin teillé	42
4.5.2.	Préparation du lin peigné	43
4.5.3.	Lessivage et blanchiment des mèches de lin.....	43
4.5.4.	Filature au mouillé des mèches blanchies	44
4.6.	Tissage du Lin.....	46
4.7.	Ennoblement de la toile de lin	47
4.7.1.	Flambage.....	47
4.7.2.	Désencollage	47
4.7.3.	Débouillissage.....	48
4.7.4.	Blanchiment	48
4.7.5.	Apprêt	48
4.7.6.	Consommations d'énergie.....	48
4.7.7.	Rejets d'eaux usées.....	49
4.8.	Confection de la chemise en lin	50
4.9.	Utilisation de la chemise en lin	51
4.9.1.	Lavage.....	51
4.9.2.	Repassage.....	51
4.10.	Fin de vie de la chemise en lin	52
4.11.	Sources de données concernant le système lin	53
4.12.	Exigences relatives à la qualité des données concernant le système lin	53

5. Système étudié et hypothèses et données utilisées pour l'inventaire de la chemise en coton 55

5.1.	Frontières du système étudié	55
5.2.	Lieux de production considérés et transports modélisés.....	57
5.3.	Culture et égrenage du coton.....	59
5.3.1.	Semis.....	59
5.3.2.	Irrigation.....	59
5.3.3.	Fertilisants	60
5.3.4.	Pesticides	63
5.3.5.	Utilisation de machines agricoles et consommation d'énergie	65
5.3.6.	Récolte	65
5.3.7.	Principe d'allocation pour les etape de culture et d'égrenage du coton.....	66
5.3.8.	Modélisation globale de la culture du coton : inventaires utilisés et lacunes identifiées	66
5.4.	Filature du coton	68
5.5.	Tissage du coton.....	69
5.6.	Ennoblement de la toile de coton.....	70
5.6.1.	Flamage.....	70
5.6.2.	Désencollage.....	70
5.6.3.	Débouillissage.....	71
5.6.4.	Blanchiment.....	71
5.6.5.	Apprêt.....	71
5.6.6.	Consommations d'énergie.....	71
5.6.7.	Rejet d'eaux usées.....	72
5.7.	Confection de la chemise en coton	73
5.8.	Utilisation de la chemise en coton.....	74
5.8.1.	Lavage.....	74
5.8.2.	Repassage.....	74
5.9.	Fin de vie de la chemise en coton.....	75
5.10.	Sources de données concernant le système coton.....	76
5.11.	Exigences relatives à la qualité des données concernant le système coton	76

6. Résultats pour le scénario de référence 77

6.1.	Résultats sur l'ensemble du cycle de vie	77
6.2.	Résultats par indicateur et par étape du cycle de vie.....	79
6.3.	Résultats normés en équivalent habitant sur l'ensemble du cycle de vie.....	92
6.4.	Conclusion sur le scénario de référence	95

7. Analyses de sensibilité par rapport au scénario de référence..... 96

7.1.	Analyse de l'influence de l'énergie consommée pour la filature du coton	97
7.2.	Analyse de l'influence du lieu de production et de transformation du lin et du coton	99
7.2.1.	Influence du lieu de production du lin	99
7.2.2.	Influence du lieu de production et de transformation du coton	99
7.2.3.	Analyse de l'influence de la durée de vie et du scénario de fin de vie des chemises	104
7.2.4.	Analyse de l'influence du temps de repassage	108
7.2.5.	Analyse de l'influence du nombre d'utilisation avant chaque lavage et repassage	110

8. Conclusions..... 113

Annexe 1 : Revue critique	117
Annexe 2 : Description des indicateurs d'impact sur l'environnement et des facteurs de caractérisation	117
Annexe 3 : Facteurs de caractérisation des indicateurs d'impacts potentiels sur l'environnement	117
Annexe 4 : Emissions liées aux engrais et aux pesticides	117
Annexe 5 : Inventaires de cycle de vie	117

SYNTHESE

Contexte et Objectifs

La France possède une tradition textile du lin ancienne et reconnue ; elle se situe aujourd'hui aux premiers rangs mondiaux sur cette activité, à la fois sur le plan quantitatif (production de fibres, surfaces ensemencées) et qualitatif.

Le lin, en tant que « plus vieux textile du monde », est caractérisé par une **image traditionnelle** et aussi par une **image naturelle et écologique**. Cet aspect pourrait largement contribuer à son développement et est d'ailleurs mis en avant dans la communication institutionnelle sur le lin.

Dans ce contexte, il apparaît aujourd'hui nécessaire et opportun aux organisations professionnelles du lin de se doter de données fiables sur les caractéristiques environnementales du lin et de les comparer par rapport au coton qui est la fibre végétale la plus courante.

A cette fin, les organisations professionnelles du lin ont confié à BIO Intelligence Service la réalisation d'une **analyse du cycle de vie d'une chemise en lin comparée à celle d'une chemise en coton**, conformément à la série des normes ISO 14040.

Cette analyse de cycle de vie comparative servira ensuite de base à la publication d'un **éco-profil**, déclaration environnementale de type III, élaboré conformément aux exigences de la norme ISO 14025.

Ces informations pourront renforcer la **stratégie** de l'ensemble de la filière lin sur les aspects de développement durable, et alimenter sa **communication** vis-à-vis des différentes parties prenantes concernées (producteurs et teilleurs de lin, industriels de la filière textile, stylistes et créateurs de mode, utilisateurs...).

Unité fonctionnelle

L'unité fonctionnelle (UF) retenue pour cette étude est la suivante :

« **Porter une chemise pendant un jour** ».

Cette valeur référence permet de ramener les impacts potentiels générés tout au long du cycle de vie d'une chemise en lin ou en coton à un jour porté, en tenant ainsi compte de sa durée de vie.

Produits étudiés

Les produits considérés pour l'analyse de cycle de vie comparative sont des chemises en lin ou en coton blanc de type sportswear, c'est-à-dire sans traitement de finition ou d'apprêt particulier.

Les tableaux suivants présentent les caractéristiques et les conditions d'utilisation des deux types de chemise :

Caractéristiques des chemises	
Masse total d'une chemise	253 g
Masse de toile	240 g
Boutons	3 g de polypropylène
Fil	10 g de polyester

Sources: pesées pour les masses de toile et de boutons, Maison du lin pour la masse et la matière du fil

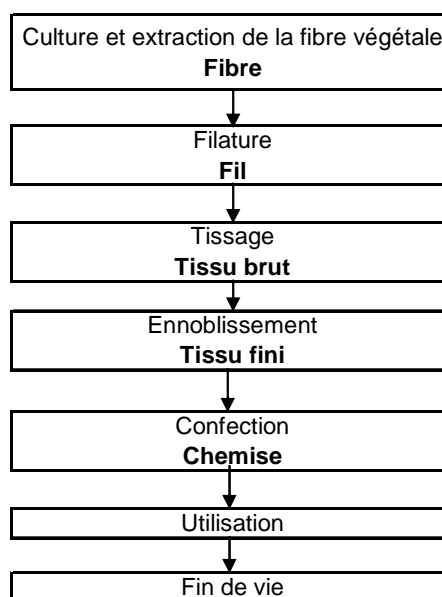
Conditions d'utilisation	Chemise en lin	Chemise en coton
Durée de vie pour un utilisateur	60 utilisations*	60 utilisations*
Fréquence de lavage	A chaque utilisation	A chaque utilisation
Lavage	Lavage en machine à 40°C (pas de séchage)	Lavage en machine à 40°C (pas de séchage)
Repassage	En 9 minutes	En 7 minutes
Fin de vie	30% avec les déchets ménagers, 70% en filière de réemploi	30% avec les déchets ménagers, 70% en filière de réemploi
Durée de vie totale moyenne	102 utilisations*	102 utilisations*

Sources: Organisations Professionnelles du lin, COFREET, 5 pressings et teinturiers

*Pour le premier utilisateur. Le scénario de fin de vie avec filière de réemploi revient à multiplier cette donnée par 1,7, ce qui entraîne en moyenne au total une centaine d'utilisation par chemise ($60 \times 1,7 = 102$ utilisations au total dans le scénario moyen de référence).

Systemes étudiés

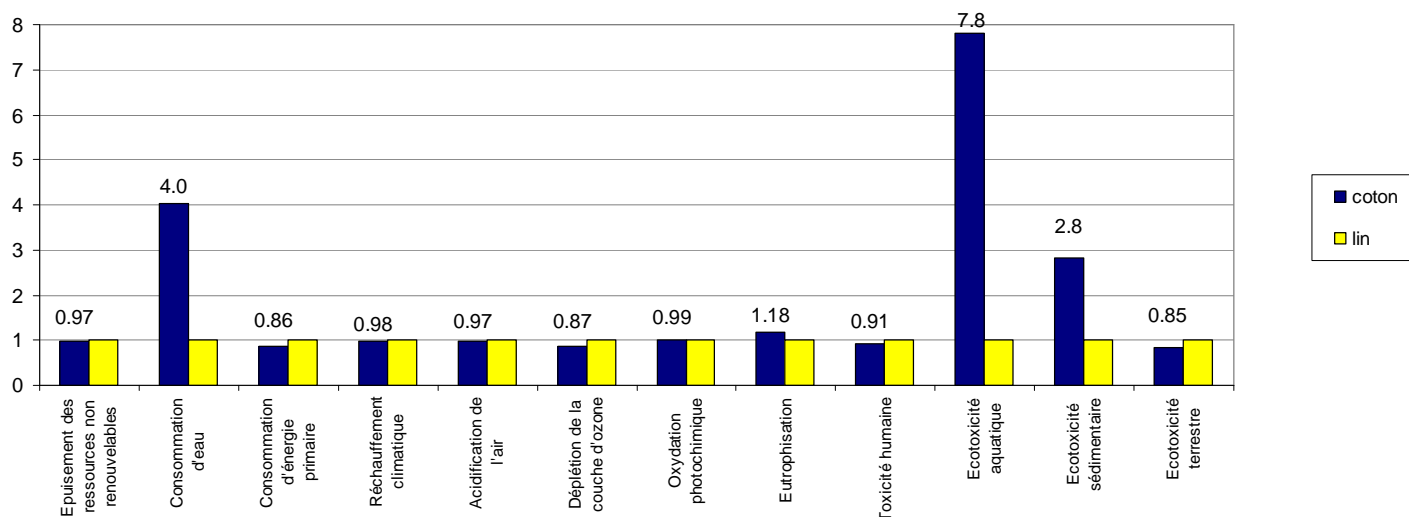
Les systèmes étudiés dans le cas du lin ou du coton se décomposent selon les grandes étapes suivantes :



Résultats

Le graphique et les paragraphes suivants présentent les résultats obtenus **par indicateur** pour l'analyse comparative des produits chemise en lin et chemise en coton du scénario de référence. Dans le graphe, la valeur 1 a été affectée par défaut à la chemise en lin.

Analyse comparative avec normation à 1 pour le lin - Scénario de référence
UF : Porter une chemise pendant une journée



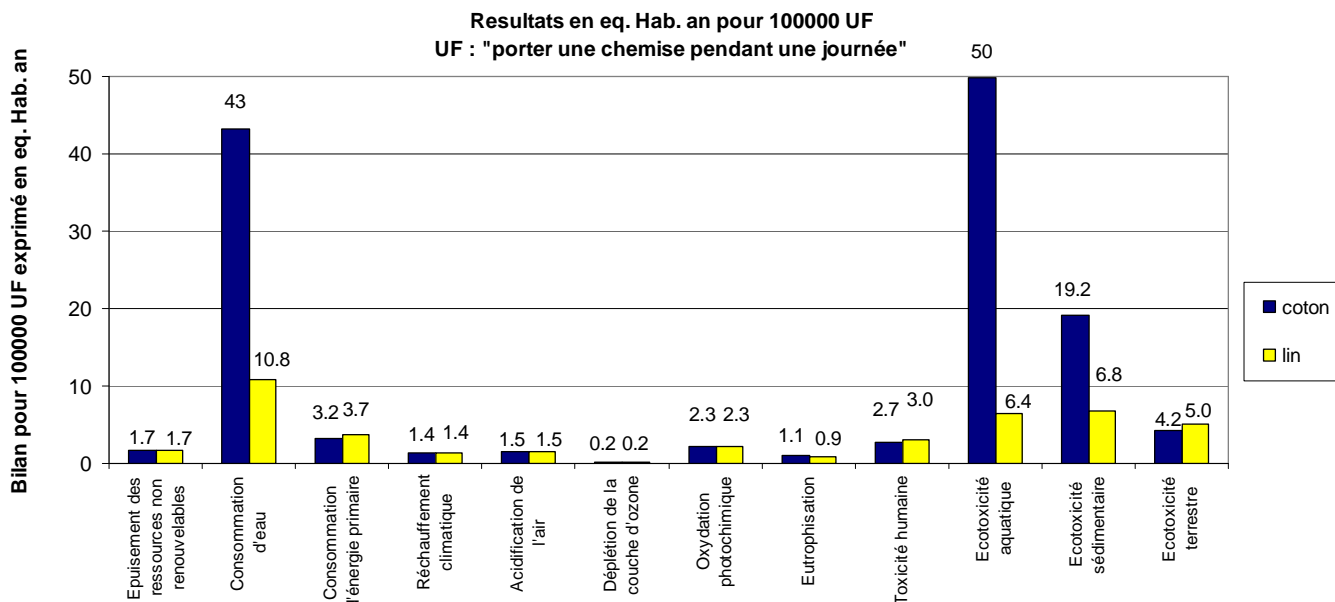
- ▶ Pour les indicateurs de **consommation d'eau, d'écotoxicité aquatique, d'écotoxicité sédimentaire et d'eutrophisation** (4 indicateurs sur 12), les impacts environnementaux générés par le cycle de vie de la chemise en lin de référence sont bien moindres que ceux générés par la chemise en coton de référence. Ces résultats découlent directement de **l'étape de culture** de ces fibres, la culture du coton nécessitant notamment une irrigation intensive et une utilisation plus importante de pesticides que la culture du lin. Et même si les indicateurs d'écotoxicité aquatique et d'écotoxicité sédimentaire sont des indicateurs d'impact peu robustes avec des marges d'incertitude assez grandes, l'écart entre le lin et le coton est suffisamment important pour être significatif.
- ▶ Pour les indicateurs de **consommation d'énergie primaire, de déplétion de la couche d'ozone, de toxicité humaine et d'écotoxicité terrestre** (4 indicateurs sur 12), les écarts sont plus réduits et montrent un certain bénéfice environnemental en faveur du coton. Ces écarts proviennent principalement de **l'étape d'utilisation** et dans une moindre mesure de **l'étape de filature**. Ceci s'explique principalement par le fait les consommations énergétiques sont plus importantes pour la fabrication puis l'entretien de la chemise en lin que pour le coton (filature du lin au mouillé nécessitant plus d'énergie que la filature du coton et temps de repassage plus important pour le lin que pour le coton).
- ▶ Pour les indicateurs d'épuisement des ressources non renouvelables, de réchauffement climatique, d'acidification de l'air et d'oxydation photochimique (4 indicateurs sur 12), les résultats du lin et du coton sont très proches.

L'analyse **par étape** du cycle de vie montre que globalement :

- les étapes d'utilisation et/ou de culture contribuent le plus à l'impact total,
- les étapes de filature, tissage et ennoblement ont une contribution moyenne,
- les étapes de confection et de fin de vie ont des impacts négligeables.

Afin de juger de l'importance des impacts environnementaux associés à la chemise en lin ou en coton, une démarche de **normation** permet de comparer ces impacts avec les impacts générés par un « **équivalent habitant** » pendant un an.

Le graphe ci-dessous présente les résultats. La normation a été effectuée pour 100 000 unités fonctionnelles de façon à donner des chiffres significatifs par rapport aux impacts d'un équivalent habitant par an.



A titre d'illustration, on peut voir par exemple que sur l'ensemble du cycle de vie, 100 000 unités fonctionnelles « Porter une chemise pendant une journée » entraînent une consommation d'énergie égale à celle de :

- 3,7 équivalents habitants par an pour la chemise en lin,
- 3,2 équivalents habitants par an pour la chemise en coton.

Les résultats de la normation en équivalent habitant montrent que **les principaux enjeux environnementaux** liés aux cycles de vie d'une chemise en lin ou en coton se situent au niveau de la **consommation d'eau, de l'écotoxicité aquatique et de l'écotoxicité sédimentaire**.

Pour ces indicateurs, il ressort que les impacts associés au cycle de vie de la chemise en coton sont plus importants que pour la chemise en lin. Ceci signifie que pour ces indicateurs, l'impact de la chemise en coton équivaut à celui d'un bien plus grand nombre d'habitants pour la chemise en lin.

La chemise en lin présente donc un avantage par rapport à la chemise en coton sur les enjeux environnementaux les plus importants tels que la consommation d'eau ou l'écotoxicité aquatique et sédimentaire. Sur les autres enjeux environnementaux – dont la gravité est ici de second ordre comme la consommation d'énergie primaire ou la déplétion de la couche d'ozone – c'est la chemise en coton qui présente un avantage. **Toutefois, les préjudices associés à la chemise en lin concernant les enjeux de second ordre sont assez minimes par rapport aux bénéfices associés à la chemise en lin sur les enjeux les plus significatifs.**

Par rapport au scénario de référence, cinq **analyses de sensibilité** ont permis d'évaluer l'influence de certaines hypothèses du scénario de référence par rapport aux résultats de l'analyse comparative.

Ces analyses de sensibilité ont porté sur les cinq paramètres suivants, pour lesquels des incertitudes ou des alternatives au scénario de référence peuvent exister :

- l'énergie consommée lors de la filature du coton,
- le lieu de production du lin et du coton,
- la durée de vie et le scénario de fin de vie des chemises,
- le nombre d'utilisation de la chemise avant chaque lavage,
- le temps de repassage des chemises.

Les trois dernières analyses de sensibilité sont liées au comportement des utilisateurs et permettent d'évaluer l'influence de leurs modes de vie sur les résultats de l'ACV.

► Il ressort de ces analyses que la variation de l'énergie consommée lors de la filature du coton a une influence assez importante sur 4 indicateurs (épuiement des ressources renouvelables, réchauffement climatique, acidification de l'air et oxydation photochimique) et peut fait varier la balance en faveur du lin ou du coton. Néanmoins, quel que soit l'hypothèse retenue, on constate que l'écart entre le lin et le coton reste très faible. On peut considérer que cet écart est inférieur aux incertitudes sur les indicateurs et que le lin et le coton ont un positionnement équivalent sur ces 4 indicateurs.

► Il ressort que les lieux de production et de transformation considérés pour le lin et le coton n'ont pas d'influence significative sur les indicateurs d'impact de plus forte ampleur.

► Il ressort également que l'augmentation de la durée de vie totale des chemises (soit pour un utilisateur soit par les filières de réemploi), la réduction du temps de repassage des chemises et l'augmentation du nombre d'utilisation des chemises avant lavage diminuent fortement les impacts associés à l'unité fonctionnelle « Porter une chemise pendant une journée ». L'utilisateur peut donc avoir une influence significative sur les impacts associés à l'utilisation de chemises.

On peut préciser que l'hypothèse d'un temps de repassage plus long pour le lin que pour le coton a une forte influence sur les résultats de l'ACV comparative. Cette hypothèse est à l'origine des résultats en faveur du coton pour les indicateurs de consommation d'énergie primaire, de toxicité humaine et d'écotoxicité terrestre.

► Enfin, il ressort de ces analyses qu'au niveau des enjeux environnementaux les plus significatifs (consommation d'eau, écotoxicité aquatique et écotoxicité sédimentaire), les différents scénarios étudiés ne changent pas les conclusions de l'ACV comparative entre le lin et le coton. Sur ces indicateurs de premier ordre, le lin reste toujours plus favorable que le coton.

En conclusion, le tableau suivant résume qualitativement les résultats obtenus pour l'analyse comparative des produits chemise en lin et chemise en coton sur l'ensemble de leur cycle de vie.

Thème	Indicateur d'impact potentiel	Résultats LIN 1 UF	Résultats COTON 1 UF	Indice qualitatif de robustesse de l'indicateur
Consommation de ressources	Epuisement des ressources non renouvelables	=	=	+
	Consommation d'eau	++	--	++
Bilan énergétique	Énergie primaire	-	+	++
Bilan effet de serre	Potentiel de réchauffement climatique	=	=	++
Pollution de l'air	Acidification de l'air	=	=	+
	Oxydation photochimique	=	=	+
	Déplétion de la couche d'ozone	-	+	+
Pollution de l'eau	Eutrophisation	+	-	+
Risque toxique	Toxicité humaine	-	+	?
	Écotoxicité aquatique	++	--	?
	Écotoxicité sédimentaire	++	--	?
	Écotoxicité terrestre	-	+	?

=	écart < 5%
+ OU -	5% < écart < 100%
++ OU --	écart > 100%

	Positionnement équivalent
	Positionnement favorable
	Positionnement défavorable

++	Indicateur très robuste
+	Indicateur robuste
?	Indicateur peu robuste

1. Introduction

1.1. CONTEXTE

La France possède une tradition textile du lin ancienne et reconnue ; elle se situe aujourd'hui aux premiers rangs mondiaux sur cette activité, à la fois sur le plan quantitatif (production de fibres, surfaces ensemencées) et qualitatif.

Depuis les années 90, le lin connaît un nouvel essor, soutenu par des actions de promotion de la filière au niveau de l'habillement mais aussi grâce à la demande à l'export de lin teillé vers la Chine. Selon la Chambre d'Agriculture de Normandie, les emblavements en lin textile sont en nette progression (+ 84 % en surfaces, en Normandie, entre 1996 et 2004) ; tout comme les rendements moyens.

Mais la consommation de lin dans le monde reste malgré tout très modeste comparativement aux autres fibres (inférieure à 1%), ce qui signifie que son potentiel de progression est considérable dans le textile mais aussi dans d'autres applications qui pourraient se développer à grande échelle (isolants, compounds...).

Le lin, en tant que « plus vieux textile du monde », est caractérisé par une **image traditionnelle** et aussi par une **image naturelle et écologique**. Cet aspect pourrait largement contribuer à son développement et est d'ailleurs mis en avant dans la communication institutionnelle sur le lin :

« Le lin, tant au niveau de sa culture que de sa transformation, a fait un effort important pour le respect de l'environnement. Grâce à un bilan écologique, le lin apparaît en moyenne 5, 10, ou 50 fois plus respectueux de l'environnement que les autres fibres. »

Source : Maison du lin

Cependant, ce discours est peu étayé d'arguments quantitatifs et de résultats scientifiques et est même parfois remis en question :

« La protection phytosanitaire élevée (désherbage, maladie,...) ne permet pas de classer le lin parmi les cultures sans effet sur l'environnement. »

Source : Lin Fibre, ADEME / ITCF, étude AGRICE 1998

1.2. OBJECTIFS

Dans ce contexte, il apparaît aujourd'hui nécessaire et opportun aux organisations professionnelles du lin de se doter de données fiables sur les caractéristiques environnementales du lin et de les comparer par rapport au coton qui est la fibre végétale la plus courante.

A cette fin, les organisations professionnelles du lin ont confié à BIO Intelligence Service la réalisation d'une **analyse du cycle de vie d'une chemise en lin comparée à celle d'une chemise en coton**, conformément à la série des normes ISO 14040.

Cette analyse de cycle de vie comparative servira ensuite de base à la publication d'un **éco-profil**, déclaration environnementale de type III, élaboré conformément aux exigences de la norme ISO 14025.

Ces informations pourront renforcer la **stratégie** de l'ensemble de la filière lin sur les aspects de développement durable, et alimenter sa **communication** vis-à-vis des différentes parties prenantes concernées (producteurs et teilleurs de lin, industriels de la filière textile, stylistes et créateurs de mode, utilisateurs...).

1.3. REPRESENTATIVITE DE L'ETUDE

Ce rapport présente les résultats de l'analyse de cycle de vie d'une chemise en lin et d'une chemise en coton « moyennes » portées en France, définies selon un scénario de référence (lin et coton provenant de l'agriculture classique de type intensive, filière textile standard, chemise blanche présentant un blanchiment moyen, lavage en machine...).

L'objectif de cette étude est de donner des ordres de grandeur des impacts potentiels sur l'environnement des différentes étapes du cycle de vie d'une chemise en lin et d'une chemise en coton et de les comparer.

1.4. REVUE CRITIQUE

Cette étude a fait l'objet d'une revue critique par des experts externes indépendants.

La revue critique a été menée :

- d'une part par des experts de la filière textile, professeurs à l'ENSAIT (Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries Textiles) :
 - Bernard Vermeulen, spécialiste filature,
 - François Boussu, spécialiste tissage,
 - Anne Perwuels, spécialiste chimie textile,
 - Inès Bouhateh, spécialiste confection,
- d'autre part par un expert de la méthode ACV :
 - Hélène Teulon, Gingko 21, consultante indépendante.

Les experts de l'ENSAIT ont vérifié que les données utilisées étaient appropriées et raisonnables par rapport aux objectifs de l'étude.

La revue critique effectuée par Hélène Teulon a porté sur :

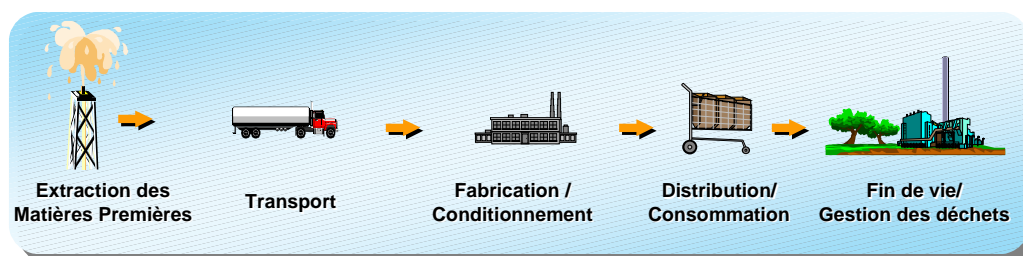
- la validation de la méthodologie de l'analyse de cycle de vie et la vérification de la conformité de l'étude avec les normes ISO14040 et ISO 14044,
- la vérification de la cohérence interne du rapport, notamment de la cohérence entre les résultats des calculs et les conclusions de l'étude, en regard des objectifs.

Les échanges qui ont eu lieu au cours de la revue critique sont donnés en annexe.

2. Méthodologie générale et champ de l'étude

2.1. PRESENTATION GENERALE DE L'ANALYSE DE CYCLE DE VIE

L'analyse de cycle de vie (ACV) est une méthode normalisée au niveau international (ISO 14040 et ISO 14044) qui permet d'évaluer les effets quantifiables sur l'environnement d'un service ou d'un produit depuis l'extraction des matériaux nécessaires à son élaboration jusqu'aux filières de fin de vie.



La méthode consiste à réaliser des bilans exhaustifs de consommation de ressources naturelles et d'énergie et d'émissions dans l'environnement (rejets air, eau, sols, déchets) de l'ensemble des processus étudiés.

Une première étape consiste à dresser l'inventaire des entrées-sorties propres à chaque étape du système. Les flux de matières et d'énergie prélevées et rejetées dans l'environnement à chacune des étapes sont ensuite agrégés pour quantifier des indicateurs d'impacts sur l'environnement.

L'avantage de l'approche ACV est qu'elle permet de comparer des situations et d'identifier les déplacements de pollution d'un milieu naturel vers un autre ou bien d'une étape du cycle de vie vers une autre entre deux situations comparées d'un système. Elle peut donc aider à mieux discerner les arbitrages pertinents lors d'une prise de décision.

L'ACV constitue une approche multicritères : il n'existe pas de note unique environnementale. Les résultats de l'étude sont présentés sous la forme de plusieurs indicateurs d'impacts environnementaux.

2.2. UNITE FONCTIONNELLE

L'analyse de cycle de vie appliquée à la chemise en lin ou en coton consiste à quantifier les impacts sur l'environnement de l'ensemble des activités qui leur sont liées : culture de la fibre végétale, filature, tissage, ennoblissement, confection, transport, utilisation (lavage et repassage), fin de vie...

Pour faciliter la comparaison entre différents modèles de chemises ou différents modes d'utilisation, on introduit une référence commune servant à exprimer le bilan matières et énergies du cycle de vie d'un système. C'est l'unité fonctionnelle du bilan environnemental.

L'unité fonctionnelle (UF) retenue pour cette étude est la suivante :

« Porter une chemise pendant un jour ».

Cette unité de valeur référence permet de ramener les impacts potentiels générés tout au long du cycle de vie de la chemise en lin ou en coton à un jour porté, en tenant ainsi compte de sa durée de vie.

2.3. PRODUITS ETUDIES

2.3.1. DESCRIPTION DES PRODUITS ETUDIES.

Le produit « chemise en lin » a été défini avec les organisations professionnelles du lin.

Il s'agit d'une chemise blanche en lin de type sportswear, c'est-à-dire sans traitement de finition ou d'apprêt particulier. Le blanchiment est standard (non azuré) et il est effectué en deux étapes : premier blanchiment avant la filature puis blanchiment en pièce, c'est-à-dire au stade du tissu.

Le produit « chemise en coton » considéré est une chemise blanche en coton de type sportswear, c'est-à-dire sans traitement de finition ou d'apprêt particulier. Le blanchiment est standard (non azuré) et il est effectué en pièce, c'est-à-dire au stade du tissu et non du fil.

Les tableaux page suivante présentent les caractéristiques et les conditions d'utilisation des deux types de chemise considérées.

Pour les caractéristiques des chemises, des pesées ont été effectuées sur un échantillonnage d'une dizaine de chemises en lin et d'une dizaine de chemises en coton. Ces pesées ont montré que l'on pouvait considérer des masses identiques pour les deux produits et ont permis de déterminer une masse moyenne.

Pour les conditions d'utilisation, des scénarios moyens ont été élaborés avec les professionnels du lin. En ce qui concerne les températures de lavage, le Comité Français de l'Etiquetage pour l'Entretien des Textiles (COFREET) a été consulté. Pour ce qui est du temps de repassage, une enquête auprès de cinq pressings et teinturiers a été effectuée.

Caractéristiques des chemises	
Masse totale d'une chemise	253 g
Masse de toile	240 g
Boutons	3 g de polypropylène
Fil	10 g de polyester

Sources: pesées pour les masses de toile et de boutons, Maison du lin pour la masse et la matière du fil

Conditions d'utilisation	Chemise en lin	Chemise en coton
Durée de vie pour un utilisateur	60 utilisations*	60 utilisations*
Fréquence de lavage	A chaque utilisation	A chaque utilisation
Lavage	Lavage en machine à 40°C (pas de séchage)	Lavage en machine à 40°C (pas de séchage)
Repassage	En 9 minutes	En 7 minutes
Fin de vie	30% avec les déchets ménagers, 70% en filière de réemploi	30% avec les déchets ménagers, 70% en filière de réemploi
Durée de vie totale moyenne	102 utilisations	102 utilisations

Sources: Organisations Professionnelles du lin, COFREET, 5 pressings et teinturiers

* Le scénario de fin de vie avec filière de réemploi revient à multiplier cette donnée par 1,7, ce qui entraîne en moyenne au total une centaine d'utilisation par chemise ($60 \times 1,7 = 102$ utilisations au total dans le scénario moyen de référence).

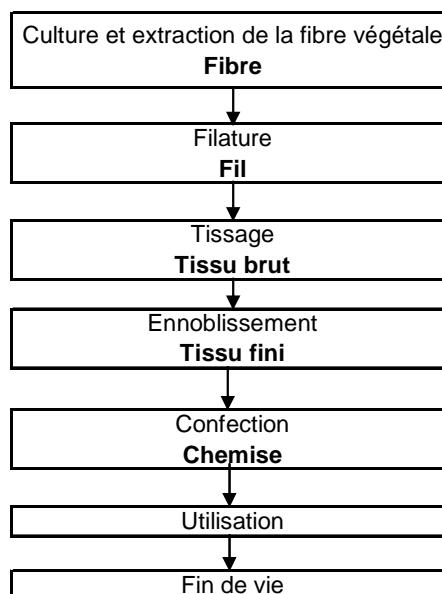
2.3.2. MASSE DE PRODUIT SE RAMENANT A L'UNITE FONCTIONNELLE

Pour calculer la masse de produit se ramenant à l'unité fonctionnelle « Porter une chemise pendant un jour », la masse de chemise ou de produit nécessaire à la production de la chemise a été divisée par le nombre d'utilisation.

Pour l'étape d'utilisation, les quantités de consommables (lessive, eau, électricité, etc.) ont été ramenés à l'unité fonctionnelle en considérant un lavage et un repassage.

2.4. SYSTEMES ETUDIES

Les systèmes étudiés dans le cas du lin ou du coton se décomposent selon les grandes étapes suivantes :



2.5. FLUX ET IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ETUDIÉS

2.5.1. INVENTAIRE DES FLUX

Le bilan environnemental d'un système donné, dans une perspective de cycle de vie, repose sur le recensement et la quantification de tous les flux entrants et sortants du système considéré. Ces flux servent à quantifier :

- la consommation de matières premières (eau, minerais...),
- la consommation d'énergie,
- les émissions atmosphériques (CO₂ fossile, CH₄, CO, COV, poussières, métaux...),
- les rejets liquides (DCO, métaux lourds...),
- les émissions dans les sols (métaux lourds...)
- la production de déchets solides (ménagers, inertes ou dangereux).

L'inventaire de ces flux, sur l'ensemble d'une filière ou d'un système donné, se décompose en deux phases :

- la première consiste à quantifier l'ensemble de ces flux de manière distincte pour chaque étape de la filière,
- la seconde a pour objet de sommer ces flux : cette étape nécessite d'agréger les étapes du système entre elles. Dans notre étude toutes les étapes sont agrégées selon l'unité fonctionnelle choisie : « Porter une chemise pendant un journée ».

Cette phase d'analyse des flux permet ensuite une approche synthétique au travers de l'étude des indicateurs d'impacts environnementaux.

2.5.2. INDICATEURS ENVIRONNEMENTAUX

L'étude des impacts environnementaux a été réalisée au travers de la lecture de différents indicateurs qui sont regroupés de la manière suivante :

- consommation de ressources,
- bilan énergétique,
- bilan effet de serre,
- pollution de l'air,
- pollution de l'eau,
- risque toxique (pour l'homme et pour les écosystèmes).

Les facteurs de caractérisation utilisés pour quantifier chaque indicateur proviennent de CML (université de Leiden), 2002.

La robustesse de ces indicateurs dépend des connaissances scientifiques actuelles et en particulier de la fiabilité des facteurs de caractérisation utilisés pour agréger les différents flux.

Le tableau suivant présente les indicateurs d'impact potentiel utilisés dans cette étude, les unités associées ainsi qu'un indice* qualitatif permettant d'évaluer la robustesse de l'indicateur.

Thème	Indicateur d'impact potentiel	Unité	Indice qualitatif de robustesse de l'indicateur
Consommation de ressources	Déplétion des ressources abiotiques	kg Sb eq.	+
	Consommation d'eau	m3	++
Bilan énergétique	Énergie primaire	MJ	++
Bilan effet de serre	Potentiel de réchauffement climatique	kg eq. CO2	++
Pollution de l'air	Acidification de l'air	kg eq. SO2	+
	Oxydation photochimique	kg eq. C2H4	+
	Déplétion de la couche d'ozone	kg eq. CFC-11	+
Pollution de l'eau	Eutrophisation	kg eq. PO42-	+
Risque toxique	Toxicité humaine	kg eq. 1-4-dichlorobenzène	?
	Écotoxicité aquatique	kg eq. 1-4-dichlorobenzène	?
	Écotoxicité sédimentaire	kg eq. 1-4-dichlorobenzène	?
	Écotoxicité terrestre	kg eq. 1-4-dichlorobenzène	?

Légende de l'indice de robustesse	
++	Indicateur très robuste
+	Indicateur robuste
?	Indicateur peu robuste

Une description de ces indicateurs est donnée en annexe.

Remarque : Le stockage du carbone dans le lin ou le coton lors de la photosynthèse n'a pas été pris en compte car on peut considérer que sur le cycle de vie total de la chemise ce carbone sera réémis lors de l'incinération ou lors de la biodégradation de la chemise.

* Cet indice est qualitatif. Il permet d'évaluer la robustesse des indicateurs d'impact compte tenu des connaissances scientifiques actuelles et des caractéristiques de la méthode ACV. Les indicateurs les plus robustes sont notamment ceux reposant sur des phénomènes physico-chimiques bien connus et globaux à l'échelle de la planète. Les consommations d'eau, d'énergie ou le potentiel de réchauffement climatiques sont ainsi des indicateurs particulièrement robustes. A l'inverse, les indicateurs tels que ceux liés aux risques toxiques sont moins fiables car les phénomènes liés à la toxicité de certaines substances sont moins bien connus (manque de bases de données fiables) et les calculs des facteurs de caractérisation ne prennent pas en compte certains phénomènes comme les seuils temporels, spatiaux et les effets « dose-réponse ». Par ailleurs, Les modèles linéaires sans seuil sont utilisés actuellement pour évaluer les impacts environnementaux.

2.6. CALCUL DES EQUIVALENTS HABITANTS

Afin de juger de l'importance des impacts environnementaux associés à l'unité fonctionnelle retenue, les impacts environnementaux peuvent être traduits en équivalents habitants (valeur, pour un indicateur d'impact donné, de la contribution équivalente d'un habitant « moyen » - en l'occurrence un habitant de l'UE – pendant 1 an.)

Il s'agit d'une démarche de normation qui permet de juger de l'aspect significatif ou non des résultats et de hiérarchiser ainsi les enjeux.

En pratique, on divise les résultats d'ACV obtenus par des valeurs de normation.

Pour un impact donné :

$$\text{Valeur de normation} = \frac{\text{impact annuel Europe}}{\text{nombre habitants Europe}}$$

Le tableau suivant présente les valeurs de normation utilisées.

	unité	Valeur de normation 1 habitant par an
Epuisement des ressources non renouvelables	kg Sb eq	56
Consommation d'eau	m ³	59
Consommation d'énergie primaire	MJ primary	160000
Potentiel de réchauffement climatique	kg CO ₂ eq	9250
Acidification de l'air	kg SO ₂ eq	45
Déplétion de la couche d'ozone	kg CFC-11 eq	0.003
Oxydation photochimique	kg C ₂ H ₄ eq	15
Eutrophisation	kg PO ₄ --- eq	11.5
Toxicité potentielle pour l'homme	kg 1,4-DB eq	2650
Ecotoxicité aquatique	kg 1,4-DB eq	180
Ecotoxicité sédimentaire	kg 1,4-DB eq	415
Ecotoxicité terrestre	kg 1,4-DB eq	68

Source : Study on external environmental effects related to the life cycle of products and services. European Commission DG ENV - BIO Intelligence Service 2003.

Remarque : Il faut noter que les valeurs de normation concernant la toxicité et l'écotoxicité présentent une grande marge d'incertitude. Les valeurs concernant l'écotoxicité aquatique sont en particulier controversées. La démarche de normation au niveau de ses indicateurs présente donc une fiabilité limitée.

3. Hypothèses et données communes aux deux systèmes lin et coton

3.1. ETAPES EXCLUES DES SYSTEMES

De manière générale, les systèmes considérés excluent la production, la maintenance et le démantèlement des infrastructures et biens d'équipements (bâtiments, machines, routes) : cette hypothèse, faite également dans nombre d'analyses de cycle de vie réalisées par le passé, est basée sur le fait que l'impact environnemental de la production des infrastructures et biens d'équipements est négligeable devant les autres impacts.

Seules la production et la maintenance des machines agricoles utilisées pour la culture du lin ont été considérées car elles sont intégrées aux inventaires de cycle de vie disponibles sur les procédés agricoles.

L'étape de distribution de la chemise en lin ou en coton a été négligée, car nous pouvons admettre que les impacts qui y sont liés sont très faibles par rapport à ceux des autres étapes du cycle de vie, et sont de plus identiques pour les deux types de chemise.

3.2. CRITERES DE COUPURE

Aucun critère de coupure n'a été appliqué. Lorsque les données étaient disponibles, la totalité des intrants et des sortants du système ont été considérés.

3.3. PRINCIPES D'ALLOCATION

Le débouché principal des fibres de coton et de lin est l'industrie textile avec la production de fibres longues de qualité.

Toutefois, les différents coproduits générés lors des étapes de culture et de travail de la fibre tels que par exemple les graines et les fibres courtes sont également utilisés.

Il convient donc d'allouer les impacts générés lors ces étapes en fonction des différents coproduits pour prendre en compte leurs différentes valorisations possibles. Cette allocation peut être de type massique (en fonction des rendements) ou économique (en fonction de la motivation à produire les différents coproduits).

L'allocation économique dans le cas des fibres textiles végétales n'est pas simple à réaliser car le prix des fibres varie beaucoup en fonction de l'offre et de la demande, qui elles-mêmes varient considérablement d'une année à l'autre tant en fonction des rendements agricoles que des modes vestimentaires.

Néanmoins, l'allocation économique a été retenue dans cette étude par rapport à l'allocation massique car les fibres longues, qui constituent le produit recherché en priorité dans la culture du lin et du coton, représentent la plus grande valeur économique alors qu'elles ne représentent qu'une faible fraction massique.

Le coefficient d'allocation économique pour un coproduit X se calcule de la manière

suivante :
$$C_X = \frac{P_{mX} \times m_X}{\sum_i P_{mi} \times m_i}$$

où P_{mi} est le prix par unité de masse du coproduit i et m_i la masse de coproduit i.

Des allocations sont effectuées aux étapes de culture, teillage et peignage en ce qui concerne le lin. Une allocation est effectuée aux étapes de culture et égrenage en ce qui concerne le coton.

3.4. LIEU DE PRODUCTION DES CHEMISES ET MODELISATION DES CONSOMMATIONS ELECTRIQUES

Nous avons considéré dans cette étude que les étapes de filature, tissage et ennoblissement du lin et du coton avaient lieu en Chine, premier producteur mondial de textile-habillement (*source : Les données clés du textile-habillement chinois, Etude et conjoncture IFM Ctoe, 2004*).

Concernant les consommations d'électricité, nous avons donc utilisé un inventaire de cycle de vie spécifique de la Chine. Cet inventaire a été créé à partir des données de mix électriques fournies par l'Agence Internationale de l'Energie. Les sources d'énergie renouvelables non prises en compte sont la biomasse, la géothermie, les déchets et l'énergie solaire car les inventaires de cycle de vie ne sont pas disponibles, et elles représentent moins de 1% des sources utilisées. Le tableau ci-dessous présente le mix électrique de la Chine.

Electricity in China (People's Republic of China and Hong Kong China) in 2002		
Flow		
Unit: GWh		
Production from:		
- coal	1292790	77%
- oil	49540	3%
- gas	16923	1%
- nuclear	25127	2%
- hydro	287974	17%
Total Production	1672354	
Distribution Losses	121027	7%

Source: Agence Internationale de l'Energie, www.iea.org

A partir de ce mix électrique, les inventaires de cycles de vie suivants ont été utilisés pour modéliser la production d'électricité en Chine :

	Source de l'inventaire	Nom du module
Production d'électricité à partir de gaz	EcolInvent v1.3	Electricity, industrial gas, at power plant/UCTE S (2001)
Production d'électricité d'origine hydraulique		Electricity, hydropower, at reservoir power plant, non alpine regions/RER S
Production d'électricité à partir de fuel		Electricity, oil, at power plant/UCTE S (2000)
Production d'électricité à partir de charbon		Electricity, hard coal, at power plant/UCTE S (2000)
Production d'électricité d'origine nucléaire		Electricity, nuclear, at power plant/UCTE U (1995-1999)

Remarque : les données utilisées pour les mix électriques et pertes en ligne sur le réseau de distribution sont représentatives de la situation actuelle en Chine. En revanche les inventaires de cycle de vie relatifs aux différents modes de production d'électricité à partir de gaz, de fioul, de charbon, d'énergie hydraulique et nucléaire sont représentatifs des techniques actuellement utilisées en Europe. De fait, on considère que les techniques de production d'électricité en Chine présentent des performances environnementales similaires à celles utilisées en Europe.

Cette hypothèse peut introduire un biais, mais la consommation d'électricité en Chine (15% dans le cas du lin et 20% dans le cas du coton) est faible comparativement à la consommation d'électricité en France (85% dans le cas du lin et 80% dans le cas du coton). On peut donc raisonnablement supposer que ce biais a une faible influence sur les résultats.

3.5. MODELISATION DE L'ETAPE D'UTILISATION

3.5.1. MODELISATION DU LAVE-LINGE

Le lave-linge considéré dans la présente étude est de catégorie C, selon son étiquette énergie. Cela est représentatif du parc actuel des lave-linge en France, même si le flux des ventes montre plutôt une tendance à l'achat d'appareils de classe A à B (*source: Ademe 2006*).

Lave-linge de catégorie C : données pour un cycle de lavage de 5kg de linge	
Consommation d'électricité à 30°C	0,55 kWh*
Consommation d'électricité à 40°C	0,74 kWh
Consommation d'eau	48,5 l
Consommation lessive	108 g

Sources: *Eco-Efficiency Analysis of Washing Machines: Life Cycle Assessment and Determination of Optimal Life Span*, I. Rüdener et al, Öko-Institut pour Bosch et Electrolux, 2004

Life Cycle Assessment of Disposable and Reusable Nappies in the UK. Environment Agency Mai 2005

*Extrapolation à partir des données du National Energy Fondation, UK

3.5.2. MODELISATION DE LA LESSIVE

Les seules données d'inventaire de cycle de vie de lessive disponibles proviennent d'une étude réalisée par Procter & Gamble et concernent une lessive standard sans phosphates utilisée en Belgique. (*source : A database for the LCA of P&G laundry detergents*, E. Saouter and G. van Hoof, 2000)

L'étude fournit deux types de données exploitables pour recréer l'inventaire de cycle de vie d'une lessive :

- un tableau donnant la formulation de la lessive,
- un tableau donnant un certain nombre de flux d'inventaire pour chaque étape du cycle de vie : production des matières premières, fabrication du détergent, utilisation, fin de vie, et emballage.

Le tableau ci-dessous présente la formulation de la lessive telle que présentée dans l'étude. Un module de production des matières premières a été créé à partir de ces données et des inventaires de cycles de vie disponibles dans la base de données Ecoinvent. 4 inventaires n'étaient pas disponibles, les parts correspondantes dans la formulation de la lessive ont été allouées aux autres ingrédients. Ces 4 composants représentent 6,1% en masse de la lessive.

Composition d'une lessive Belge moyenne			
Ingredient	Part dans la formulation (initiale)	Inventaires utilisés (Ecoivent v1.2)	Part dans la formulation (modèle BIO IS)
AE11-PO	2 %	Ethoxylated alcohols (AE11), palm oil, at plant/RER U	3%
AE7-pc	4 %	Ethoxylated alcohols (AE7), palm kernel oil, at plant/RER U	5%
LAS-pc	7.8 %	Alkylbenzene sulfonate, linear, petrochemical, at plant/RER U	8%
Citric acid	5.2 %	Acetic acid, 98% in H2O, at plant/RER U	6%
NA-Silicate powder	3 %	Layered sodium silicate, SKS-6, powder, at plant/RER U	4%
Zeolite	20.1 %	Zeolite, powder, at plant/RER U	21%
Sodium carbonate	17 %	Sodium percarbonate, powder, at plant/RER U	18%
Perborate mono hydrate	8.7 %	Sodium perborate, monohydrate, powder, at plant/RER U	9%
Perborate tetra hydrate	11.5 %	Sodium perborate, tetrahydrate, powder, at plant/RER U	12%
Antifoam S1,2-3522	0.5 %	Inventaire non disponible	
FWA DAS-1	0.2 %	Inventaire non disponible	
Polyacrylate	4 %	Inventaire non disponible	
Protease	1.4 %	Inventaire non disponible	
Sodium sulphate	0.4 %	Sodium sulphate, powder, production mix, at plant/RER U	1%
Water	14.2 %		15%

Source: "A database for the LCA of P&G laundry detergents", E. Saouter and G. van Hoof, (saouter.e@pg.com), 2000, page 8

Le tableau présentant les données d'inventaires de cycle de vie disponibles dans l'étude est présenté ci-dessous :

Inventaire d'une lessive Belge moyenne, pour 1000 lavages (100g de lessive par lavage)					
Flux	Unités	Production des matières premières	Fabrication	Fin de vie	Emballage
Energie primaire	GJ	2.78	0.25	0.26	0.07
Déchets solides	kg	12.6	0.73	1.24	69.29
Emissions dans l'air					
CO2	kg	125	13.3	16.2	2.21
CO	g	67.8	6	2.08	1.57
Sox	g	707	69.6	48.1	24.00
Nox	g	390	32.9	20.4	9.16
CH4	g	228	0	107	3.17
CxHy	g	516	109	5.96	7.67
Particules	g	500	17.6	10.8	1.79
Métaux	g	1.48	0	0.48	0.09
Emissions dans l'eau					
BOD	g	117	4.9	8580	1.59
COD	g	175	10.1	20700	9.01
Total P	g	45.9	0	0.06	0.00
Total N	g	19.1	0	0.12	0.15
Solides	g	56.6	0	0	0.00
Huile /graisses	g	10.2	0	0.91	0.70
Phénol	g	0.17	0	0	0.00
Ammonium	g	1.09	0	0.07	0.40
Métaux	kg	0.1	0	14.2	0.00

Source: "A database for the LCA of P&G laundry detergents", E. Saouter and G. van Hoof, (saouter.e@pg.com), 2000, page 8

Pour la production des matières premières, nous avons pu vérifier que les flux obtenus par création de l'inventaire de cycle de vie selon la méthode décrite plus haut sont du même ordre de grandeur que ceux présentés dans le tableau.

Les flux d'inventaire de cycle de vie pour la fabrication, la fin de vie et le cycle de vie de l'emballage ont été ajoutés à l'inventaire de production des matières premières pour compléter l'inventaire de cycle de vie de la lessive. L'étape d'utilisation a été modélisée dans un second temps (consommation électrique du lave-linge, voir plus loin).

Remarque : pour la fin de vie, l'inventaire de cycle de vie a été modifié pour les raisons décrites ci-dessous.

La lessive modélisée dans l'étude P&G est représentative d'une utilisation en Belgique, où les parts de foyers connectés à différents types de traitements de l'eau diffèrent fortement avec la France :

- Foyers non connectés : B : 37% Fr : 0%
- Foyers connectés à un traitement primaire : B : 30% Fr : 35%
- Foyers connectés à un traitement secondaire : B : 30% Fr : 62%
- Foyers connectés à un traitement tertiaire : B : 3% Fr : 3%

Soit un total de 63% des foyers connectés en Belgique, contre 100% en France. Ainsi les rejets dans l'eau dans l'étude P&G sont majorés par rapport à une situation française, de 60% au maximum en considérant un taux d'abattement moyen de 80%.

De manière à éviter ce biais, les valeurs d'émissions dans l'eau à l'étape « fin de vie de la lessive » présentées ci-dessus ont été multipliées par 0.4 (soit $0.2 / (0.2 \times 0.63 + 0.37)$).

3.5.3. MODELISATION DES CONSOMMATIONS ELECTRIQUES EN FRANCE POUR LE LAVAGE ET LE REPASSAGE

Le modèle électrique utilisé est le suivant. Il est représentatif du modèle français.

Source d'énergie	Situation française en 2000
Charbon	4.87%
Lignite	0.07%
Gaz industriels	0.65%
Gaz naturel	2.02%
Fioul	1.35%
Nucléaire	76.60%
Eolien	0.015%
Hydroélectricité	13.83%
Cogénération	0.23%
Pertes de distribution	7.20%

Source: *Life Cycle Inventories of Energy. Systems: Results for Current Systems in Switzerland and other UCTE Countries. Data v1.2 (2004)*

3.6. MODELISATION DE LA FIN DE VIE

Sans données précises sur les pourcentages de textiles usagés partant vers les filières de recyclage et de réemploi, nous avons modélisé la fin de vie ainsi :

Après une soixantaine d'utilisations, on considère que la chemise en lin ou en coton usagée est jetée 30% du temps avec les déchets ménagers et est réorientée 70% du temps dans des filières de réemploi.

3.6.1. FIN DE VIE AVEC LES DECHETS MENAGERS

Les données utilisées pour modéliser la fin de vie avec les déchets ménagers sont présentées dans les tableaux ci-dessous.

Distance de collecte des ordures	10 km
---	-------

Source: *Déchets ménagers: leviers d'améliorations des impacts environnementaux, Ademe et Eco-Emballages, 2001*

Incinération avec récupération d'énergie	48%
Incinération sans récupération d'énergie	4%
Stockage	48%

Source: *Enquête Ademe Itom 2002, en répartissant de façon pondérée la quantité d'OM partant en tri, compostage et méthanisation dans les filières d'incinération et de stockage*

Les inventaires de cycle de vie pour l'incinération avec ou sans récupération d'énergie et le stockage ont été extraits du logiciel Wisard 4.0. Les filières de fin de vie suivantes ont été choisies dans le logiciel :

- Incinération avec valorisation énergétique : 'UIOM 24/02/97 -1/2 hum- cogénération moyenne (32% rdt)',
- Incinération sans valorisation énergétique : 'UIOM - 30 kt/an - sec - sans valorisation énergétique',
- Stockage : 'CET couvert 50% biogaz captage'.

3.6.2. FIN DE VIE EN FILIERE DE REEMPLOI

On considère que le réemploi se fait en France, par un utilisateur ayant le même comportement d'utilisation que le précédent.

La fin de vie de la chemise en filière de réemploi signifie en réalité un allongement de sa durée de vie avant son élimination. On considère que celle-ci est doublée, passant de 60 à 120 utilisations.

La durée de vie moyenne de la chemise en lin ou en coton dans le scénario global retenu est donc d'une centaine d'utilisations (102 utilisations).

4. Système étudié et hypothèses et données utilisées pour l'inventaire de la chemise en lin

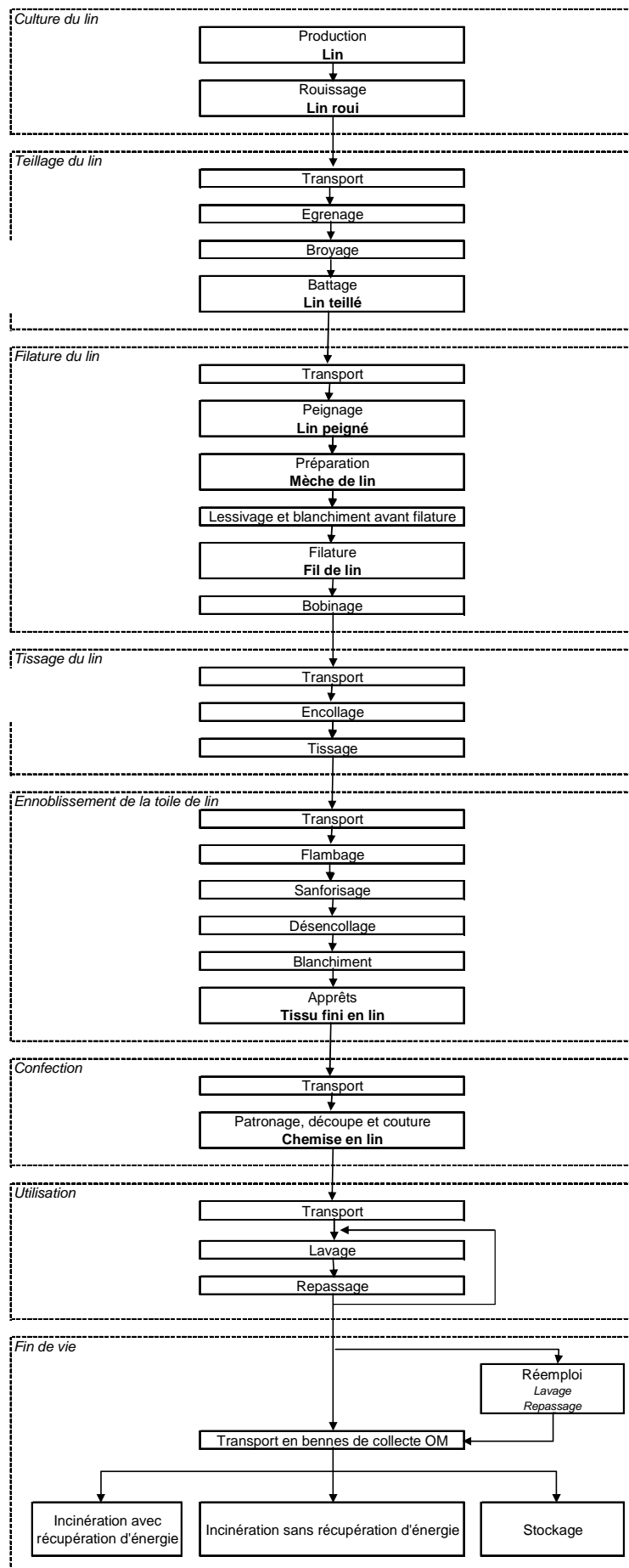
4.1. FRONTIÈRES DU SYSTÈME ÉTUDIÉ

Le système étudié se décompose suivant les étapes suivantes :

- culture du lin,
- teillage de la fibre de lin (procédé mécanique visant à séparer les fibres et les parties ligneuses),
- filature du lin,
- tissage du lin,
- ennoblissement de la toile de lin,
- confection de la chemise en lin,
- utilisation (lavage et repassage) de la chemise en lin,
- fin de vie de la chemise en lin.

L'étape de distribution de la chemise en lin a été négligée, car nous pouvons admettre que les impacts qui y sont liés sont très faibles par rapport à ceux des autres étapes du cycle de vie, et sont de plus identiques pour les deux types de chemise.

Les étapes sont récapitulées dans le schéma ci-après.



4.2. LIEUX DE PRODUCTION CONSIDERES ET TRANSPORTS MODELISES

Dans le scénario retenu avec les organisations professionnelles du lin, la France a été choisie comme lieu de culture du lin. Il s'agit en effet du pays premier producteur mondial de lin.

Répartition géographique de la production mondiale de lin			
Production de lin en 2003 dans les 11 principaux pays producteurs			
Pays	Surface cultivée en ha	Tonnage en fibres longues (lin teillé)	% production de fibres longues
France	76600	113000	46,7%
Belgique	19250	29000	12,0%
Egypte	36000	33000	13,6%
Chine	133000	26000	10,7%
Russie	118000	10000	4,1%
Biélorussie	60000	10000	4,1%
Pays-Bas	4600	6900	2,8%
Ukraine	36000	5000	2,1%
Pologne	6000	4200	1,7%
Lituanie	10000	3000	1,2%
République Tchèque	6000	2100	0,9%
Total (11 pays)	505450 hectares	242200 tonnes	100%

Source : Etude de marché des nouvelles utilisations des fibres végétales, Ernst&Young ADEME d'après AGPL, 2005

Le teillage est une étape qui a lieu à proximité du lieu de culture. Nous avons donc considéré une distance de 40 km pour le transport du lin entre les champs et le lieu de teillage.

Par la suite, nous avons considéré une étape de filature, tissage, ennoblissement et confection en Chine, ce qui correspond au cas le plus fréquent, surtout en ce qui concerne la production de chemise standard de type « sportswear ». En effet, d'après *Les données clés du textile-habillement chinois, Etude et conjoncture IFM Ctcoe, 2004*, la Chine est le premier producteur mondial de textile-habillement. Elle regroupe environ 22% des capacités mondiales de filature et 24% des capacités mondiales de tissage. En particulier, la province de Jiangsu, située sur la côte Est auprès de ports internationaux tels que le port de Nanjing produit 22% des produits textiles chinois. En ce qui concerne le lin plus particulièrement, la Chine est le 1^{er} importateur mondial de fibre de lin et le 3^{ème} exportateur de tissu en lin.

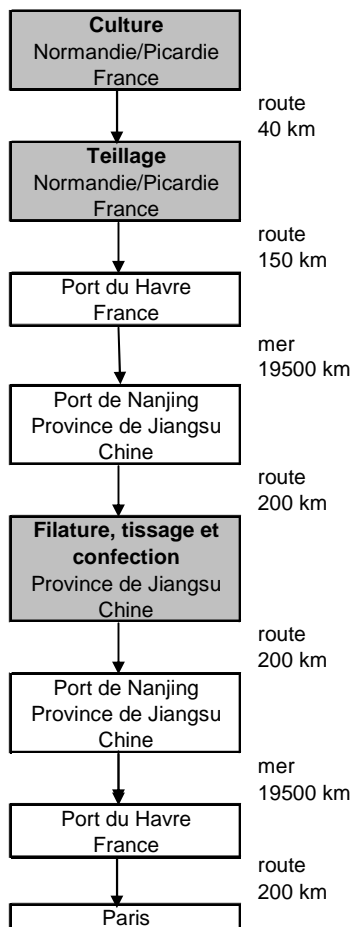
Les transports entre la France et la Chine (aller et retour) ont été modélisés par bateau entre le port du Havre et le port de Nanjing.

Une distance moyenne de 200 km en camion a été considérée entre le port de Nanjing et l'usine textile. (La province de Jiangsu occupe une surface d'environ 400km sur 250 km).

Une distance moyenne de 200 km en camion a été prise en compte entre le port du Havre et Paris, lieu considéré pour la distribution et l'utilisation de la chemise.

Le détail de la chaîne logistique considérée est donné ci-contre.

Chaîne logistique prise en compte pour modéliser les transports



Les inventaires de cycle de vie utilisés pour modéliser les transports sont décrits dans le tableau ci-après :

	Source de l'inventaire de cycle de vie	Nom du module
Transport maritime	Ecolinvent v1.3	Transport, transoceanic freight ship/OCE S
Transport par camion		Transport, lorry 32t/RER S

4.3. CULTURE DU LIN

Le tableau suivant présente les principales étapes de la culture du lin :

Calendrier	Etapes
Hiver	Déchaumage
	Préparation du sol (labour d'hiver)
	Apports d'engrais PK (1 passage pour P et K)
	Traitements fongicide et zinc des graines en station
Mars -avril	Préparation du sol Apport d'engrais N Semis Traitement herbicide
Avril	Apport de zinc Traitement insecticide
Avril – Mai - Juin	Traitements (herbicide – insecticide – fongicide)
Juillet	Arrachage et rassemblement en nappes régulières formant l'andain
Juillet - Août	Rouissage à terre + herbicide éventuel (adventices imprégnant la nappe)
Août-septembre	Rentrée du lin roui

Ces étapes comprennent différentes consommations (engrais, pesticides, diesel...) avec leurs émissions associées (émissions dans l'eau, l'air et le sol...) ainsi que l'utilisation de machines agricoles.

Les données quantitatives retenues avec les organisations professionnelles du lin pour décrire un mode de culture moyen du lin en France sont décrites et commentées dans les paragraphes suivants.

Ces données sont représentatives de la culture de lin sur un hectare.

4.3.1. SEMIS

Il est semé environ 115 kg de graines par hectare, soit environ 2000 graines/m² pour environ 1800 pieds/m² à la levée. La production de la semence est négligeable et n'a pas été prise en compte.

En effet, pour prendre en compte la semence dans la modélisation de la culture de lin sur 1ha, il faudrait intégrer la surface de champ nécessaire à la production de ces 115 kg de graine, soit environ 0,3 ha, et pondérer toutes les données relatives à la culture du lin sur cette surface par le coefficient d'allocation économique représentatif du coproduit graine, soit environ 2%. Ceci reviendrait à considérer une surface de champ de 1,006 ha au lieu de 1 ha.

Semis	Quantité par ha
Graines	115 kg/ha

Source : Institut Technique du Lin

4.3.2. APPORT DE ZINC

Le zinc est nécessaire pour la culture du lin. Il est apporté sur la semence puis dans le champ lors de la croissance des plants de lin.

Apport de Zinc	Quantité	Dosage par ha
Traitement de la semence	360 g Zn pour 100 kg de graines	414 g Zn/ha
Apport après semis		1 kg Zn/ha

Source : Institut Technique du Lin

4.3.3. FERTILISANTS

■ Apports d'engrais

Les besoins en azote du lin sont faibles et le lin est très sensible à la verse par excès d'azote. La fertilisation azotée se fait en fonction de la nature du sol : 10 à 20 kg/ha d'azote en bonne terre et 40 kg/ha d'azote pour un sol moins pourvu en humus. Il a été retenu dans la présente étude une moyenne de 30 kg/ha d'azote.

Une grande partie de la potasse et du phosphore absorbé par le lin est restitué au cours du rouissage. Il suffit d'une fumure d'entretien dépendante de la rotation des cultures. Il a été retenu une moyenne de 70 kg/ha de P_2O_5 et de 70 kg/ha de K_2O .

La fertilisation a été modélisée par un apport d'engrais simples parmi les plus couramment utilisés et pour lesquels des inventaires de production sont disponibles dans la base de données Ecoinvent :

- l'ammonitrate : à base de nitrate d'ammonium, 35% d'azote,
- le superphosphate triple : 48% de P_2O_5 ,
- le chlorure de potassium : 60% de K_2O .

Fertilisants	Quantité par ha	Traitement type par ha
Apport N	30 kg N/ha	Ammonitrate 35/0/0 : 86 kg/ha
Apport P	70 kg P_2O_5 /ha	Superphosphate triple 0/48/0 : 146 kg/ha
Apport K	70 kg K_2O /ha	Chlorure de Potassium 0/0/60 : 117kg/ha

Sources : Lin Fibre, ADEME / ITCF, étude AGRICE 1998

Life Cycle Analysis of hemp textile yarn (Comparison of 3 hemp fibre processing scenarios and a flax scenario). INRA mai 2006

■ Emissions liées aux engrais

Les engrais de synthèse utilisés pour la fertilisation du lin contiennent les éléments N, P et K ainsi que des métaux lourds qui vont générer différentes émissions dans l'air, l'eau, et le sol.

Les émissions sont déterminées selon différents modes de calcul présentés par plusieurs auteurs dans l'étude *Harmonisation of environmental Life Cycle Assessment for agriculture (European Commission DG VI Agriculture 2003)*.

Le tableau suivant présente les émissions considérées dans la présente étude. Les émissions de N_2 dans l'air et les émissions d'ions potassium dans l'eau n'ont pas été prises en compte par manque de données sur les processus d'émission.

Emissions dans l'air	Emissions dans l'eau	Emissions dans le sol
Ammoniac NH_3 Protoxyde d'azote N_2O Oxydes d'azote NOx	Nitrates NO_3^- Phosphate PO_4^{3-}	Métaux lourds

Dans les calculs, les facteurs d'émission sont systématiquement donnés par rapport aux masses d'éléments N, P ou K et non par rapport aux masses des molécules ou des ions (NH_3 , P_2O_5 , NO_3^- ...).

Pour simplifier la lecture des formules, on utilise alors le mode d'écriture suivant, comme par exemple mNH_3-N pour signifier la masse d'élément N sous forme de molécule NH_3 . mNH_3-N est exprimé en kg de N.

Pour passer alternativement des masses d'éléments aux masses de molécules, il est nécessaire d'utiliser des facteurs de conversion basés sur les masses atomiques M_x des différents atomes x.

Par exemple : $m\text{NH}_3\text{-N} = M_N / (M_N + 3 M_H) \times m\text{NH}_3 = 14 / (14 + 3) \times m\text{NH}_3 = 0,82 m\text{NH}_3$

► Emissions dans l'air liées aux engrais

Emission d'ammoniac NH₃ liée à l'épandage d'engrais N	
Formule utilisée	Calcul
$m\text{NH}_3\text{-N} = 0,02 \times m\text{Engrais-N}$ pour un engrais de type ammonitrate	$m\text{NH}_3\text{-N} = 0,02 \times 30 = 0,60 \text{ kgN/ha}$ d'où $m\text{NH}_3 = 0,73 \text{ kg/ha}$

Source: Selon Asman, Harmonisation of environmental Life Cycle Assessment for agriculture. European Commission 2003

Emission de Protoxyde d'azote N₂O liée à l'épandage d'engrais N	
Formule utilisée	Calcul
$m\text{N}_2\text{O-N} = 0,0105 \times m\text{Engrais-N}$ pour un engrais de type ammonitrate	$m\text{N}_2\text{O-N} = 0,0105 \times 30 = 0,315 \text{ kgN/ha}$ d'où $m\text{N}_2\text{O} = 0,49 \text{ kg/ha}$

Source: Selon Armstrong-Brown, Harmonisation of environmental Life Cycle Assessment for agriculture. European Commission 2003

Emission d'oxyde d'azote NO_x liée à l'épandage d'engrais N	
Formule utilisée	Calcul
$m\text{NO}_x\text{-N} = 0,1 \times m\text{N}_2\text{O-N}$ émis	$m\text{NO}_x\text{-N} = 0,1 \times 0,315 = 0,0315 \text{ kgN/ha}$ d'où $m\text{NO}_x = 0,10 \text{ kg/ha}$ (pour x= 2)

Source: Harmonisation of environmental Life Cycle Assessment for agriculture. European Commission 2003

► Emissions dans l'eau liées aux engrais

Emission de phosphate PO₄³⁻ liée à l'épandage d'engrais P	
Formule utilisée	Calcul
$m\text{PO}_4^{3-}\text{-P} = 0,01 \times m\text{Engrais-P}$	$m\text{PO}_4^{3-}\text{-P} = 0,01 \times 0,44 \times 70 = 0,305 \text{ kgP/ha}$ d'où $m\text{PO}_4^{3-} = 0,93 \text{ kg/ha}$

Source: Adaptation de la méthode écobilan pour la gestion environnementale de l'exploitation agricole. Service Romand de vulgarisation agricole (Lausanne) Rossier 1998

Concernant les nitrates, il existe trop peu d'informations disponibles sur le lin pour pouvoir modéliser précisément le lessivage des nitrates en fonction de la dose azotée et des conditions pédoclimatiques.

Dans les analyses de cycle de vie de produits agricoles, les nitrates lessivés sont en général considérés comme une constante de l'ordre de 30 à 40 kgN/ha. Cependant, ce chiffre est une moyenne pour différentes cultures et ne peut être représentatif de la culture du lin pour laquelle les apports en azote sont particulièrement faibles.

Pour modéliser les émissions de nitrate dans l'eau pour la culture du lin, une extrapolation a été réalisée à partir des doses d'engrais azotées recommandées pour la culture du blé d'hiver et des lessivages de nitrate associées, pour lesquels des informations sont disponibles.

Emission de nitrates NO₃⁻ liée à l'épandage d'engrais N	
Données relatives au blé d'hiver	Données extrapolées au lin
Apport d'engrais azoté : 180 kgN/ha Lessivage de nitrates : 35 kgN/ha	Apport d'engrais azoté : 30 kgN/ha Lessivage de nitrates : 5,8 kgN/ha d'où $m\text{NO}_3^- = 25 \text{ kg/ha}$

Source: Harmonisation of environmental Life Cycle Assessment for agriculture. European Commission 2003

► Emissions dans le sol liées aux engrais

Les engrais de synthèse sont reconnus comme source de métaux lourds (*source : Harmonisation of environmental Life Cycle Assessment for agriculture, European Commission DG VI Agriculture 2003*). Ces métaux lourds sont en partie émis dans le sol et en partie absorbés par les plantes cultivées.

Par manque de données sur les concentrations en métaux lourds présents dans le lin, l'absorption de métaux lourds par les plantes n'a pas pu être prise en compte. Seules les émissions de métaux lourds dans le sol liées à l'apport d'engrais ont pu être intégrées au système.

Les contenus en métaux lourds de différents types d'engrais sont donnés dans l'étude *Harmonisation of environmental Life Cycle Assessment for agriculture (European Commission DG VI Agriculture 2003)*.

On y trouve notamment les informations relatives aux engrais suivants :

- ammonitrate 30% (apport de 100 kg d'engrais pour apport de 30 kg de N)
- superphosphate 20% (apport de 350 kg d'engrais pour apport de 70 kg P₂O₅)
- chlorure de potassium 50% (apport de 140 kg d'engrais pour apport de 70 kg K₂O)

Ceci permet de déduire les émissions de métaux lourds dans le système considéré, en prenant en compte les quantités d'engrais adéquats.

Emissions de métaux lourds dans le sol							
Engrais	Ammonitrate 30%		Superphosphate 20%		Chlorure de Potassium 50%		Total
Apport engrais	100 kg/ha		350 kg/ha		140 kg/ha		
Apport métaux lourds	mg/kg engrais	g/ha	mg/kg engrais	g/ha	mg/kg engrais	g/ha	g/ha
As	0.43	0.043	1.3	0.455	0.43	0.0602	0.56
Cd	0.05	0.005	52	18.2	0.06	0.0084	18
Co	5	0.5	2	0.7	2	0.28	1.5
Cr	4	0.4	261	91.35	2	0.28	92
Cu	7	0.7	45	15.75	5	0.7	17
Fe	136	13.6	17000	5950	7	0.98	5965
Hg	0.023	0.0023	0.022	0.0077	0.01	0.0014	0.011
Mo	0.25	0.025	3.2	1.12	0.25	0.035	1.2
Ni	13	1.3	44	15.4	2.1	0.294	17
Pb	1.9	0.19	3.5	1.225	5.5	0.77	2.2
Se	0.25	0.025	2.8	0.98	0.25	0.035	1.0
Zn	50	5	299	104.65	46	6.44	116

Source: Selon Buwal, *Harmonisation of environmental Life Cycle Assessment for agriculture. European Commission 2003*

4.3.4. PESTICIDES

■ Fongicides

Les semences de lin reçoivent des traitements fongicides contre diverses maladies : fonte des semis, botrytis, phoma, anthracnose, alternariose... Plusieurs produits peuvent être utilisés et les plus courants sont présentés dans le tableau suivant.

Exemples de traitement fongicide pour les semences (pour 115 kg de graines soit pour 1 ha)			
Produits	Dosage des produits en matières actives	Quantité de produit pour 115 kg graines	Matières actives par ha
Prélude 20 FS	Prochloraze 200 g/l	0,23 l pour 115 kg graines	46 g/ha
Gustafson 42	Thirame 480 g/l	0,431 l pour 115 kg graines	207 g/ha
Germio UFB	Carbendazime 175 g/l Iprodione 350 g/l	0,287 l pour 115 kg de graines	50 g/ha 100/ha

Sources : Institut Technique du Lin et Catalogue des produits phytopharmaceutiques. Ministère de l'Agriculture et de la Pêche

Les matières actives retenues dans notre étude pour modéliser le traitement fongicide de la semence sont le Prochloraze et le Thirame, et ce pour plusieurs raisons :

- Il s'agit des fongicides les plus utilisés car ils couvrent un large éventail de maladies (fonte des semis, anthracnose, botrytis). Ces substances sont utilisées dans environ 95% des cas selon l'Institut Technique du Lin.
- Il existe des inventaires de production dans la base de données Ecoivent pour les familles chimiques de ces produits : famille des thiocarbamates pour le Thirame et famille des produits de type azole pour le Prochloraze.

Dans le scénario moyen retenu, le Prochloraze est appliqué seul sur la semence dans 65% des cas. Dans 35% des cas, le Prochloraze est appliqué à demi-dose avec un traitement au Thirame.

Scénario retenu pour le traitement fongicide des semences (pour 115 kg de graines soit pour 1 ha)			
Matière active	Matière active par traitement par ha	Fréquence de traitement par cycle de culture	Dosage moyen en matière active par ha
Prochloraze	46 g/ha	0,65	29,9 g/ha
Thirame + Prochloraze (demi-dose)	207 g/ha 23 g/ha	0,35	72,5 g/ha 8,05 g/ha

Sources : Institut Technique du Lin et Catalogue des produits phytopharmaceutiques. Ministère de l'Agriculture et de la Pêche

Les plants de lin en phase de croissance reçoivent également des traitements fongicides contre diverses maladies : oidium, phoma, septoriose... Plusieurs produits peuvent être utilisés et les plus courants sont présentés dans le tableau suivant.

Exemples de traitements fongicides des plants de lin			
Produits	Dosage des produits en matières actives	Quantité de produit par ha	Matières actives par ha
Punch CS	Flusilazole 250 g/l Carbendazime 125 g/l	0,8 l/ha	200 g/ha 100 g/ha
Horizon EW	Tébuconazole 250 g/l	1 l/ha	250 g/ha

Sources : Institut Technique du Lin et Catalogue des produits phytopharmaceutiques. Ministère de l'Agriculture et de la Pêche

Le traitement au Flusilazole et au Carbendazime a été retenu dans notre étude pour plusieurs raisons :

- Il s'agit du type de traitement le plus utilisé (dans environ 80% des cas selon l'Institut Technique du Lin).
- Il existe des inventaires de production dans la base de données Ecoivent pour les familles chimiques de ces produits : famille des benzimidazoles pour le Carbendazime et famille des produits de type azole pour le Flusilazole.

De plus, des facteurs de caractérisation pour le Carbendazime sont disponibles dans la méthode CML pour caractériser les émissions de ce pesticide dans l'eau, l'air et les sols pour les indicateurs de toxicité et d'écotoxicité. Par contre, aucun facteur de caractérisation n'est disponible pour le Flusilazole.

Il a été retenu avec l'Institut Technique du Lin l'hypothèse de 1,5 traitements fongicides dans le champ par cycle de culture.

Scénario retenu pour le traitement fongicide des plants de lin			
Matière active	Matière active par traitement par ha	Fréquence de traitement par cycle de culture	Dosage moyen en matière active par ha
Flusilazole + Carbendazime	200 g/ha 100 g/ha	1,5	300 g/ha 150 g/ha

Sources : Institut Technique du Lin et Catalogue des produits phytopharmaceutiques. Ministère de l'Agriculture et de la Pêche

■ Herbicides

Les champs de lin reçoivent des traitements herbicides avant et après semis pour limiter la présence de mauvaises herbes dans les récoltes. Plusieurs types de traitement contre les graminées et les dicotylédones sont pratiqués. Plusieurs produits peuvent être utilisés et le tableau suivant présente les principaux.

Exemples de traitements herbicides			
Produits	Dosage des produits en matières actives	Quantité de produit par ha	Matières actives par ha
Antidicotylédones			
Mikado	Sulcotrione 300 g/l	2 l/ha	600 g/ha
Callisto	Mesotrione 100 g/l	1,5 l/ha	150 g/ha
Seppic-lin	Lénacile 53,3% Linuron 16,7%	750 g/ha	400 g/ha 125 g/ha
Emblem	Bromoxynil 20%	2250 g/ha	450 g/ha
Adret	Amidosulfuron 75%	40 g/ha	30 g/ha
Basagran SG	Bentazone 87%	1400 g/ha	1218 g/ha
Lontrel 100	Clopyralid 100 g/l	1,25 l/ha	125 g/ha
Valinate	chlorosulfuron 1,3% linuron 39%	400 g/ha	5,2 g/ha 156 g/ha
Chekker	Iodosulfuron-methyl-sodium 1,25% Amidosulfuron 12,5%	200 g/ha	2,5 g/ha 25 g/ha
Speleo	Metsulfuron methyl 16,7% Flupyr sulfuron méthyl 33,3%	25 g/ha	4,175 g/ha 8,325 g/ha
Antigraminées			
Avadex 480	Triallate 480 g/l	3 l/ha	1440 g/ha
Foly R	Cléthodime 120 g/l	1l/ha	120 g/ha
Targa D+	Quizalofop-éthyl P 120 g/l	1,25 l/ha	150 g/ha
Stratos ultra	Cycloxydime 100g/l	2 à 4 l/ha	200 à 400 g/ha
Fusilade X2	Fluazifop-P-butyl 250 g/l	0,625 l/ha	156 g/ha
Eloge	Haloxyfop-R 104 g/l	0,5 l/ha	52 g/ha

Sources : Institut Technique du Lin et Catalogue des produits phytopharmaceutiques. Ministère de l'Agriculture et de la Pêche

Les produits retenus pour modéliser le scénario de référence sont le Bentazone, le Linuron et le Triallate. Selon l'Institut technique du Lin, ces substances sont respectivement utilisées dans environ 35% des cas, 30% des cas (en mélange) et 5% des cas. Bien que ces matières actives ne soient pas les plus représentatives des substances utilisées, ce sont toutefois les seuls herbicides autorisés pour lesquels il existe à la fois des inventaires de production et des facteurs de caractérisation pour la toxicité et l'écotoxicité.

Il a été retenu avec l'Institut Technique du Lin l'hypothèse de 2 traitements herbicides par cycle de culture répartis selon le scénario suivant :

- Triallate : fréquence de passage 0,1
- Linuron : fréquence de passage 0,6
- Bentazone : fréquence de passage 1,3

Scénario retenu pour le traitement herbicide			
Matière active	Matière active par traitement par ha	Fréquence de traitement par cycle de culture	Dosage moyen en matière active par ha
Triallate	1440 g/ha	0,1	144 g/ha
Linuron	150 g/ha	0,6	90 g/ha
Bentazone	1218 g/ha	1,3	1584 g/ha

Sources : Institut Technique du Lin et Catalogue des produits phytopharmaceutiques. Ministère de l'Agriculture et de la Pêche

■ Insecticides

Les champs de lin reçoivent des traitements insecticides principalement contre les altises et les thrips. Les traitements sont effectués à base de pyréthriinoïdes. Plusieurs produits peuvent être utilisés et les plus courants sont présentés dans le tableau suivant.

L'Institut Technique du Lin précise que la Lambda cyhalothrine est utilisée environ dans 40% des cas, l'Alphametrine dans 15% des cas et la Deltaméthrine dans 7% des cas.

Exemples de traitements insecticides (contre les altises et les thrips)			
Produits	Dosage des produits en matières actives	Quantité de produit par ha	Matières actives par ha
Karaté Xpress	Lambda cyhalothrine 5%	150 g/ha	7,5 g/ha
Fastac (thrips)	Alphametrine 50 g/l	0,250 l/ha	12,5 g/ha
Decis Micro	Deltaméthrine 6,38%	120 g/ha	7,5 g/ha

Sources : Institut Technique du Lin et Catalogue des produits phytopharmaceutiques. Ministère de l'Agriculture et de la Pêche

Le produit retenu pour le traitement est la Deltaméthrine, car il existe à la fois pour cette substance un inventaire de production dans la base de données Ecoivent (Pyretroid-compounds, at regional storehouse/RER S) et des facteurs de caractérisation dans la méthode CML pour les émissions dans l'air et l'eau pour les indicateurs de toxicité et d'écotoxicité.

Il a été retenu avec l'Institut Technique du Lin l'hypothèse de 2 traitements insecticides par cycle de culture.

Scénario retenu pour le traitement insecticide			
Matière active	Matière active par traitement par ha	Fréquence de traitement par cycle de culture	Dosage moyen en matière active par ha
Deltaméthrine (Pyrethriinoïde)	7,5 g/ha	2	15 g/ha

Sources : Institut Technique du Lin et Catalogue des produits phytopharmaceutiques. Ministère de l'Agriculture et de la Pêche

■ Emissions de pesticides

Seules les émissions liées aux pesticides pulvérisés sont prises en compte. Les émissions liées aux traitements au Prochlorase et au Thirame appliqués directement sur la semence ne sont pas intégrées au système.

Par ailleurs, les émissions liées au flusilazole ne peuvent être prise en compte car il n'y a pas de facteurs de caractérisation disponibles dans la méthode CML pour modéliser les émissions de ce pesticide dans l'eau, l'air et les sols pour les indicateurs de toxicité et d'écotoxicité.

▶ Emissions de pesticides dans l'air

L'étude *Harmonisation of environmental Life Cycle Assessment for agriculture (European Commission DG VI Agriculture 2003)* propose de retenir une valeur moyenne de 10% comme facteur d'émissions dans l'air des pesticides apportés.

Cependant, cette approche ne prend pas en compte la volatilité des matières actives. C'est pourquoi nous avons plutôt retenu la méthode CORINAir qui détermine les facteurs d'émissions des pesticides en fonction de la pression de vapeur des matières actives.

Pression de vapeur p (mPa)	Facteur d'émission
p > 10	0,95
1 < p < 10	0,50
0,1 < p < 1	0,15
0,01 < p < 0,1	0,05
p < 0,01	0,01

source : CORINAir Use of pesticide and limestone. (in agriculture) Activities 100600. Emission Inventory Guidebook 2000 <http://reports.eea.eu.int/EMEPCORINAIR3/en/page002.html>)

Matière active utilisée et émise	Dosage en matière active par ha	Pression de vapeur p (mPa)	Facteur d'émission	Emissions dans l'air de matière active
Carbendazime	150 g/ha	0,01 < p < 0,1 mPa	0,05	7,5 g/ha
Triallate	144 g/ha	16 mPa	0,95	136,8 g/ha
Linuron	90 g/ha	2 mPa	0,50	45 g/ha
Bentazone	1584 g/ha	0,1 < p < 1 mPa	0,15	237,6 g/ha
Pyréthroïde	15 g/ha	p < 0,01 mPa	0,01	0,15 g/ha

sources : Fiches internationales de sécurité chimique ICSC et site <http://extoxnet.orst.edu/pips/ghindex.html>

▶ Emissions de pesticides dans l'eau

L'étude *Harmonisation of environmental Life Cycle Assessment for agriculture (European Commission DG VI Agriculture 2003)* précise les taux de transfert dans les eaux de surface et les eaux souterraines de divers pesticides.

Les matières actives utilisées dans notre système n'étant pas décrites, des taux de transfert de matières actives de la même famille chimique ont été utilisés. Aucune information n'étant disponible pour la famille du bentazone (familles des benzothiadiazoles) et du carbendazime (famille des benzimidazoles), il a été fait l'hypothèse de taux de transferts identiques à ceux du linuron et des pyrèthroïdes.

Matière active utilisée et émise	Dosage matière active par ha	Matière active de référence	Facteur d'émission		Emissions de matière active	
			eaux surface	Eaux souterraines	eaux surface	Eaux souterraines
Carbendazime	150 g/ha	-	0,005*	0*	0,75 g/ha	-
Triallate	144 g/ha	Primicarb (thiocarbamates)	0,006	0.0109	0,86 g/ha	1,57 g/ha
Linuron	90 g/ha	Isoproturon (sulfonyl-urée)	0,005	0	0,45 g/ha	-
Bentazone	1584 g/ha	-	0,005*	0*	7,9 g/ha	-
Pyréthroïde	15 g/ha	Cyperméthrine (pyréthroïdes)	0,005	0	0,075 g/ha	-

Source: Harmonisation of environmental Life Cycle Assessment for agriculture. European Commission 2003 et Hypothèses BIO Intelligence Service

► Emissions de pesticides dans le sol

Aucune donnée n'a été trouvée concernant les émissions de pesticides dans le sol pour la culture du lin. De ce fait, les émissions dans le sol n'ont pas été prises en compte dans notre système.

4.3.5. UTILISATION DE MACHINES AGRICOLES ET CONSOMMATION D'ENERGIE

Dans le scénario moyen de culture du lin, on a retenu les étapes et les hypothèses suivantes concernant les procédés agricoles :

- 1 déchaumage,
- 1 labourage,
- 1 passage de rotative,
- 1 passage à la herse,
- 1 semis,
- 1 passage pour apport de zinc,
- 2 passages d'engrais : un passage pour la fertilisation N et un passage pour la fertilisation P et K,
- 5,5 passages de pesticides : 2 passages d'herbicides, 2 passages d'insecticides et 1,5 passage de fongicides,
- 1 arrachage avec mise en andain,
- 2 retournements durant le rouissage,
- 1 ramassage du lin roui.

La base de données Ecoinvent donne les inventaires de ces procédés agricoles pour le travail de 1 hectare de champ. Ces inventaires prennent en compte :

- la consommation de diesel de la machine,
- les émissions dans l'air liées à la consommation de diesel,
- l'utilisation de machines (prise en compte d'une part des flux nécessaires à la production de la machine)
- les émissions dans le sol liées à l'abrasion des pneus.

Ces inventaires sont représentatifs de procédés agricoles en suisse et prennent en compte la préparation de la machine à la ferme, l'aller-retour de la ferme au champ (2 km), le travail du champ (1 ha).

4.3.6. RECOLTE

À maturité le lin est arraché et rassemblé en nappes régulières sur le sol pour permettre le rouissage. Le rouissage à terre consiste en la dégradation des tiges sous l'action enzymatique des microorganismes du sol (champignons, bactéries). Il a pour objectif de favoriser l'extraction ultérieure des fibres.

La perte de masse au rouissage est de l'ordre de 13%.

Il a été considéré que l'égrenage se faisait lors du teillage et non par écapsulage dans le champ lors du rouissage.

Récolte	Quantité par ha
Lin avant rouissage	7500 kg/ha
Lin après rouissage et avant égrenage (lin roui non battu)	6650 kg/ha

Sources: Rendements français entre 2002 et 2005, AGPL

4.3.7. PRINCIPE D'ALLOCATION POUR L'ETAPE DE CULTURE DU LIN

Le principe d'allocation économique retenu pour l'étape culture du lin est calculé à partir des différents coproduits générés à l'étape suivante au moment du teillage.

Ce coefficient d'allocation pour l'étape de culture et de teillage est de 0,84. Le calcul est décrit au paragraphe suivant.

4.3.8. MODELISATION GLOBALE DE LA CULTURE DU LIN : INVENTAIRES UTILISES ET LACUNES IDENTIFIEES

Les inventaires de cycle de vie utilisés pour l'étape de culture du lin sont décrits dans le tableau ci-après :

	Source de l'inventaire de cycle de vie	Nom du module
Production d'engrais K	Ecolinvent v1.3	Potassium chloride, as K ₂ O, at regional storehouse/RER S (2000)
Production d'engrais N		Ammonium nitrate, as N, at regional storehouse/RER S (1997)
Production d'engrais P		Triple superphosphate, as P ₂ O ₅ , at regional storehouse/RER S (1997)
Production de zinc		Zinc, concentrate, at beneficiation/GLO S
Production de Prochlorase		Cyclic N-compounds, at regional storehouse/RER S (1987-1994)
Production de Carbendazime		Benzimidazole-compounds, at regional storehouse/RER S (1987)
Production de Flusilazole		Cyclic N-compounds, at regional storehouse/RER S (1987-1994)
Production de Thirame		Dithiocarbamate-compounds, at regional storehouse/RER S (1987)
Production du triallate		[thio]carbamate-compounds, at regional storehouse/RER S (1987)
Production du Linuron		Linuron, at regional storehouse/RER S (1987)

	Source de l'inventaire de cycle de vie	Nom du module
Production du Bentazone		Benzo[thia]diazole-compounds, at regional storehouse/RER S (1987)
Production de Deltaméthrine		Pyrethroid-compounds, at regional storehouse/RER S (1987)
Déchaumage		Tillage, ploughing/CH U (1999-2001)
Labourage		Tillage, ploughing/CH U (1999-2001)
Passage de rotative		Tillage, rotary cultivator/CH U (1999-2001)
Passage à la herse		Tillage, harrowing, by rotary harrow/CH U (1999-2001)
Semis		Sowing/CH U (1999-2001)
Passage pour apports de zinc		Fertilising, by broadcaster/CH U (1999-2001)
Passage d'engrais		Fertilising, by broadcaster/CH U (1999-2001)
Passages de pesticides		Application of plant protection products, by field sprayer/CH U (1999-2001)
Arrachage avec mise en andain		Swath, by rotary windrower/CH U (1999-2001)
Retournement		Haying, by rotary tedder/CH U (1999-2001)
Ramassage		Fodder loading, by self-loading trailer/CH U (1999-2001)

Les lacunes identifiées à l'étape de culture du lin ont été précisées à chaque phase et sont résumées ci-dessous :

- Les émissions de N₂ dans l'air et les émissions d'ions potassium dans l'eau et le sol liées à l'utilisation de fertilisants n'ont pas été prises en compte par manque de données sur les facteurs d'émission.
- Les émissions du fongicide Flusilazole n'ont pas pu être prises en compte par manque de données sur les facteurs de caractérisation de ce pesticide au niveau des indicateurs de toxicité et d'écotoxicité.
- Les émissions de pesticides dans le sol n'ont pas été prises en compte par manque de données sur les facteurs d'émission.

4.4. TEILLAGE DU LIN

Le teillage est un procédé mécanique qui a pour but de séparer les fibres (ou filasse) et les parties ligneuses (ou anas).

Le tableau suivant présente les principales étapes du teillage du lin :

Etapes
Egrenage
Broyage pour briser la paille
Battage pour éliminer les anas des fibres

L'étape de teillage permet d'obtenir différents coproduits :

- le lin teillé ou « long brin » (60 à 90 cm), qui servira ensuite à produire un fil de lin de qualité,
- les étoupes de teillage ou « brins courts » qui peuvent fournir un fil plus grossier ou être utilisés en papeterie,
- les anas (parties ligneuses), qui permettent de fabriquer des panneaux agglomérés, de la litière pour animaux ou qui sont utilisés comme combustibles.
- les graines, qui sont utilisées pour la semence et la fabrication d'huile,
- les paillettes, issues des capsules de graines, qui sont utilisées pour l'alimentation animale.

Les données quantitatives retenues avec les organisations professionnelles du lin pour décrire un procédé de teillage moyen en France sont décrites dans les tableaux ci-dessous.

Teillage (Résultats à partir du lin roui produit sur 1 hectare)			
Produit entrant	Masse	% massique	Prix en €/kg
Lin roui	6650 kg	100%	
Produits sortants	Masse	% massique	Prix en €/kg
Lin teillé	1550 kg	24%	1,63 €/kg
Etoupes de teillage	850 kg	13%	0,32 €/kg
Anas	2690 kg	41%	0,04 €/kg
Graines	365 kg	4%	0,20 €/kg
Paillettes	530 kg	8%	0,03 €/kg
déchets	665 kg	10%	0 €

Sources: Rendements français entre 2002 et 2005, AGPL

Organisations professionnelles du lin – moyenne des prix entre 2002 et 2006

Le tableau ci-dessous présente la consommation d'électricité nécessaire au fonctionnement de la teilleuse.

Consommation d'énergie	Données pour le teillage de 1 kg de lin roui
Electricité	0,116 kWh

Sources: Organisations professionnelles du lin

■ Principe d'allocation pour l'étape de culture et de teillage

Différents produits sont générés à l'issue des étapes de culture du lin et de teillage : le lin teillé, les étoupes de teillage, les anas, les graines et les capsules à graines.

Chacun de ces coproduits est valorisable mais on ne s'intéresse dans la présente étude qu'aux fibres longues (lin teillé) qui permettront de fabriquer la chemise en lin.

Il convient donc d'allouer les flux générés au cours des étapes culture du lin et teillage en fonction des différents coproduits et de ne garder dans notre inventaire que les flux relatifs aux fibres longues.

Pour cela, le principe d'allocation économique a été retenu.

Le coefficient d'allocation économique pour le lin teillé est de 84%. Il se calcule de la manière suivante :

$$C_{LT} = \frac{P_{mLT} \times m_{LT}}{\sum_i P_{mi} \times m_i} = 0,84$$

P_{mi} est le prix par unité de masse du coproduit i et m_i la masse de coproduit i à l'issue de l'étape de teillage.

L'indice $_{LT}$ se réfère au produit lin teillé qui est le produit retenu à cette étape dans notre étude.

Les inventaires de cycle de vie utilisés pour l'étape de teillage du lin sont décrits dans le tableau ci-après :

	Source de l'inventaire de cycle de vie	Nom du module
Production d'électricité en France	EcolInvent v1.3	Electricity, low voltage, at grid/FR S

4.5. FILATURE DU LIN

La filature consiste à traiter une masse de fibres désordonnées afin de les nettoyer de leurs impuretés, les placer parallèlement entre elles et former une mèche puis du fil.

Le tableau suivant présente les principales étapes de la filature du lin :

Etapes	Détail
Peignage	Epuration des fibres de lin
Préparation du lin	Constitution d'une mèche de lin homogène
Lessivage et blanchiment	Elimination des composés non cellulosiques du lin
Filature	Fabrication du fil de lin par filature au mouillé (spécifique des longs brins)

Les données concernant la filature du lin sont des données moyennes pour l'obtention d'un fil moyen (fil Nm 20 ou Nm2/40 par exemple).

Les données utilisées pour modéliser la filature du lin sont présentées dans les paragraphes suivants. Certaines données proviennent de l'usine SAFILIN située en Pologne. Les autres données sont principalement issues de l'étude *Life Cycle Analysis of hemp textile yarn (Comparison of 3 hemp fibre processing scenarios and a flax scenario)* réalisée par l'INRA en 2006. Cette étude est basée sur des données provenant de l'usine italienne Linificio e Canapificio Nazionale S.p.A, qui est leader mondial de la transformation du lin et du chanvre.

4.5.1. PEIGNAGE DU LIN TEILLÉ

L'étape de peignage a pour but de diviser et d'épurer les fibres du lin teillé. Il en résulte :

- le lin peigné, matière longue qui produira le fil de lin,
- les étoupes de peignage, éléments fibreux plus courts.

Peignage		
Produit entrant	masse	Prix en €/kg
Lin teillé	1 kg	1,63 €/kg
Produit sortants	masse	Prix en €/kg
Lin peigné	0,65 kg	3 €/kg*
Etoupes de peignage	0,30 kg	1,5 €/kg*
Déchets poussières	0,05 kg	-

Sources: Organisations professionnelles du lin

Bilan écologique du lin de la graine au tissu. ENSAIT et AGPL 1994

Le tableau ci-dessous présente la consommation d'électricité lors du peignage.

Consommation d'énergie	Données pour le peignage de 1 kg de lin teillé
Electricité	0,55 kWh/kg

Sources: Organisations professionnelles du lin

■ Principe d'allocation pour l'étape peignage

Différents produits sont générés à l'étape de peignage : le lin peigné et les étoupes de peignage.

Chacun de ces coproduits est valorisable mais on ne s'intéresse dans la présente étude qu'au lin peigné qui permettra de fabriquer la chemise en lin.

Il convient donc d'allouer les flux générés au cours de l'étape de peignage en fonction des coproduits lin peigné et étoupes de peignage et de ne garder dans notre inventaire que les flux relatifs au lin peigné.

Pour cela, le principe d'allocation économique a été retenu.

Le coefficient d'allocation économique pour le lin peigné est de 81%. Il se calcule de la manière suivante :

$$C_{LP} = \frac{P_{mLP} \times m_{LP}}{P_{mLP} \times m_{LP} + P_{mE} \times m_E} = 0,81$$

P_{mi} est le prix par unité de masse du coproduit i et m_i la masse de coproduit i à l'issue de l'étape de teillage.

L'indice $_{LP}$ se réfère au produit lin peigné qui est le produit retenu à cette étape dans notre étude. L'indice $_E$ se réfère au produit étoupe de peignage.

4.5.2. PREPARATION DU LIN PEIGNE

Les consommations énergétiques pour les étapes de préparation, de lessivage et blanchiment et de filature au mouillé sont présentées de manière globale page suivante.

L'étape de préparation vise à constituer une mèche de lin homogène avec des fibres fines, parallèles et régulières.

Les données utilisées sont détaillées ci-dessous.

Préparation	Données pour la préparation de 1 kg de lin peigné
Electricité	Voir page suivante
Pertes de matière	5%
Production de mèche de lin	0,95 kg

Source : Life Cycle Analysis of hemp textile yarn (Comparison of 3 hemp fibre processing scenarios and a flax scenario). INRA mai 2006 (Données sur la filature provenant de Linificio e Canapificio Nazionale S.p.A)

4.5.3. LESSIVAGE ET BLANCHIMENT DES MECHE DE LIN

Le lessivage et le blanchiment avant filature augmente la dissociation des fibres par élimination des composés non cellulosiques comme les pectines. Ils permettent d'obtenir des fils plus fins.

Les données utilisées sont détaillées ci-dessous :

Lessivage et blanchiment	Données pour la préparation de 1 kg de mèche
Electricité	Voir page suivante
Gaz naturel	Voir page suivante
NaOH	145 g/kg
Na ₂ CO ₃	85 g/kg
H ₂ O ₂	90g/kg
Agent complexant (EDTA)	5g/kg
Eau	50l/kg
Pertes de matière	11%
Production de mèches blanchies	0,89 kg

Sources: Life Cycle Analysis of hemp textile yarn (Comparison of 3 hemp fibre processing scenarios and a flax scenario). INRA mai 2006 (Données sur la filature provenant de Linificio e Canapificio Nazionale S.p.A)

4.5.4. FILATURE AU MOUILLÉ DES MECHES BLANCHIES

La filature des longs brins est en général effectuée « au mouillé ». Il s'agit d'une filature très spécifique du lin qui oblige les fibres élémentaires à se désolidariser.

Les données utilisées pour l'étape de filature sont détaillées ci-après.

Filature au mouillé	Données pour la filature de 1 kg de mèche blanche
Electricité	Voir ci-dessous
Eau	13 l/kg
Lubrifiant	50 g/kg
Pertes de matière	4%
Production de fil de lin	960 kg

Source: Life Cycle Analysis of hemp textile yarn (Comparison of 3 hemp fibre processing scenarios and a flax scenario). INRA mai 2006 (Données sur la filature provenant de Linificio e Canapificio Nazionale S.p.A)

Bilan énergétique pour les étapes de préparation, lessivage et blanchiment et filature au mouillé	
Consommations	Données pour l'obtention de 1 kg de fil
Electricité	4,85 kWh/kg
gaz	26,4 MJ/kg

Source : Usine SAFILIN, Pologne

■ Rejet d'eaux usées

Les principaux impacts environnementaux liés à la filature sont les émissions dans l'eau qui ont lieu lors des phases de lessivage et blanchiment et lors de la filature au mouillé.

Les données retenues pour modéliser ces émissions dans l'eau proviennent de l'entreprise italienne Linificio e Canapificio Nazionale S.p.A. Cette entreprise possède sa propre usine de traitement d'eau. Les émissions données dans le tableau suivant sont les émissions après traitement.

Rejet d'eaux usées	Données pour le lessivage, le blanchiment et la filature de 1kg de lin
Eau	63 l/kg
Emissions dans l'eau	Données pour le lessivage, le blanchiment et la filature de 1kg de lin
DCO	6,11 g/kg
NH ₄ ⁺	0,063 g/kg
nitrite NO ₂ ⁻	0,28 g/kg
nitrate NO ₃ ⁻	0,0056 g/kg
SO ₄ ²⁻	44,7 g/kg
Cl ⁻	35,9 g/kg
Cr	0,00315 g/kg
Fe	0,0252 g/kg
Ni	0,0126 g/kg
Pb	0,00315 g/kg
Cu	0,00315 g/kg
Zn	0,00945 g/kg

Source: Life Cycle Analysis of hemp textile yarn (Comparison of 3 hemp fibre processing scenarios and a flax scenario). INRA mai 2006 (Données sur la filature provenant de Linificio e Canapificio Nazionale S.p.A)

Les inventaires de cycle de vie utilisés pour l'étape de filature du lin sont décrits dans le tableau ci-après :

	Source de l'inventaire de cycle de vie	Nom du module
Production d'énergie à partir de gaz naturel	Ecolnvent v1.3	Heat, natural gas, at boiler condensing modulating <100kW/RER S
Production de la soude		Soda, powder, at plant/RER S (1999)
Production de peroxide d'hydrogène		Hydrogen peroxide, 50% in H2O, at plant/RER S
Production du carbonate de sodium (et de peroxyde d'hydrogène)		Sodium percarbonate, powder, at plant/RER S (1995)
Production de l'agent complexant		EDTA, ethylenediaminetetraacetic acid, at plant/RER S
Production du lubrifiant		Lubricating oil, at plant/RER S
Production d'électricité en Chine		Modèle électrique chinois décrit dans le chapitre Hypothèses et données communes aux deux systèmes

4.6. TISSAGE DU LIN

Cette étape n'est pas spécifique au lin. Les mêmes données sont utilisées pour modéliser le tissage du lin et du coton.

Le tableau suivant présente les principales étapes du tissage :

Etapes	Détail
Ourdissage	Préparation de la nappe de fils de chaîne
Encollage	Apprêtage des fils avec des produits appropriés tels que l'amidon dans le but de regrouper les fibres au sein du filé de fibres qu'est le fil
Tissage	Production de toile

Les données concernant le tissage sont des données moyennes pour un tissu moyen. A titre d'exemple : tissu type : 24 x 20 20x20 (avec des fils de Nm 20 ou Nm2/40) avec un poids théorique de 220g/m², pour une longueur tissée de 1000m et de laize 180cm.

Les données utilisées pour modéliser l'étape de tissage sont détaillées dans le tableau ci-dessous.

Concernant l'encollage, l'étude *Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC)* précise que la quantité d'agents d'encollage pour les fils varie entre 80 et 200 g/kg. Il est de plus précisé que pour un encollage à l'amidon, qui est un produit très utilisé, cette quantité varie généralement entre 150 et 200g/kg. Pour cette étude, l'encollage à l'amidon a donc été retenu avec une valeur moyenne de 175 g/kg.

Encollage	Données pour le tissage de 1kg de fil
Produit d'encollage (amidon)	175 g/kg

Sources: *Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference document on Best Available Techniques Industry, 2003, tableau 8.6 p 492*

Tissage	Données pour le tissage de 1kg de fil
Electricité	13 kWh/kg
Perte de masse	4%
Production de toile	0,96 kg

Source: *Report 4 : Textile Mass Balance and Product Life Cycles, British Textile Technology Group, 1999*

La perte de masse à l'étape de tissage correspond à une perte globale au cours des différentes phases (ourdissage, encollage, tissage). Elle s'accompagne d'un rétrécissement des fils (embuvage d'environ 10 %, retrait d'environ 8 %, fil de chaîne passant de 1154 m à 1000m, fil de trame passant de 198cm à 180cm.)

Les inventaires de cycle de vie utilisés sont décrits dans le tableau ci-après :

	Source de l'inventaire de cycle de vie	Nom du module
Production de l'amidon	Ecolinvent v1.3	Potato starch, at plant/DE S
Production d'électricité en Chine		Modèle électrique chinois décrit dans le chapitre Hypothèses et données communes aux deux systèmes

4.7. ENNOBLISSEMENT DE LA TOILE DE LIN

Cette étape n'est pas spécifique au lin. Les mêmes données sont utilisées pour modéliser l'ennoblissement du lin et du coton. Afin de prendre en compte le fait que le blanchiment du lin est plus difficile que celui du coton, un premier blanchiment a été effectué sur le lin avant la filature.

Le tableau suivant présente les principales étapes de l'ennoblissement du tissu :

Étapes	Détail
Flambage	Brûlage des duvets à la surface du tissu
Désencollage	Élimination des produits d'encollage appliqués pour faciliter le tissage
Débouillissage	Élimination des impuretés naturelles ou introduites durant les étapes précédentes (matières grasses notamment) afin de rendre le tissu perméable aux produits de blanchiment
Blanchiment	Décoloration des fibres
Apprêt	Traitement de mise en valeur du tissu, notamment pour lui donner un toucher, un aspect et un maintien convenables

Les données retenues pour modéliser les étapes d'ennoblissement sont principalement issues du document *Best Available Techniques Industry, 2003, IPPC* qui décrit les procédés les plus couramment utilisés par l'industrie textile en Europe. On y trouve notamment des recettes types pour le traitement des tissus.

Ces données sont détaillées et commentées par phase dans les paragraphes suivants. Les données concernant les consommations d'énergie sont précisées à la fin pour l'ensemble de l'étape d'ennoblissement.

4.7.1. FLAMBAGE

Lors du flambage, le tissu est brûlé superficiellement par passage sur une flamme puis est plongé dans un bain d'extinction.

Flambage	Données pour le traitement de 1kg de toile
Eau	8 l/kg

Sources: *Reducing Pollution in Wet Processing of Cotton/Polyester Fabrics, Environmental Research, engineering and management, 2004, No 2(28) – ISSN 1392-1649*

4.7.2. DESENCOLLAGE

Le procédé de désencollage retenu est le désencollage enzymatique. C'est la méthode la plus répandue pour enlever l'amidon, substance insoluble dans l'eau.

La production de l'enzyme n'a pas pu être prise en compte car aucun inventaire de production d'enzyme n'est disponible dans la base de donnée Ecoinvent.

Désencollage	Données pour le traitement de 1kg de toile
Enzyme (amylase)	5 g/kg
Agent complexant (EDTA)	1 g/kg
Surfactant	30 g/kg
Eau	20 l/kg

Sources: *Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference document on Best Available Techniques Industry, 2003, tableau 1 p 549*

4.7.3. DEBOUILLISSAGE

Le mode de débouillissage retenu est un procédé en discontinu, qui est le procédé le plus répandu pour le débouillissage des tissus. De plus, les procédés en discontinu sont d'une manière générale des procédés moins performants en termes de consommation des différents produits et en termes de rendement. Nous avons fait l'hypothèse que ces procédés doivent être plus représentatifs de l'industrie textile en Asie.

Débouillissage (en discontinu)	Données pour le traitement de 1kg de toile
NaOH 100%	50 g/kg
Agent complexant (EDTA)	16 g/kg
Surfactant	17 g/kg
Eau (y compris eau de rinçage)	50 l/kg

Sources: *Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference document on Best Available Techniques Industry, 2003, tableau 4 p 552, traitement discontinu*

4.7.4. BLANCHIMENT

Pour le blanchiment, les produits les plus couramment utilisés sont le peroxyde d'hydrogène H₂O₂, l'hypochlorite de sodium NaClO et le chlorite de sodium NaClO₂. Le traitement au peroxyde d'hydrogène est particulièrement utilisé car il est moins agressif pour la fibre, il a donc été retenu. Comme pour le débouillissage, un procédé en discontinu a également été retenu.

Blanchiment (en discontinu)	Données pour le traitement de 1kg de toile
H ₂ O ₂	10 g/kg
NaOH 100%	17 g/kg
Agent complexant (EDTA)	11 g/kg
Surfactant	6 g/kg
Eau (y compris eau de rinçage)	50 l/kg

Sources: *Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference document on Best Available Techniques Industry, 2003, tableau 5 p 553, traitement discontinu*

4.7.5. APPRET

Un apprêt standard à base d'assouplissant et d'élastomère a été modélisé.

Apprêt	Données pour le traitement de 1kg de toile
Assouplissant	40 g/kg
Elastomère	40 g/kg
Eau	2 l/kg

Source: *Organisation professionnelle du lin (données d'une usine de tissage et d'ennoblissement italienne)*

4.7.6. CONSOMMATIONS D'ENERGIE

L'énergie consommée pour l'ennoblissement est principalement dédiée au chauffage des baigns de traitement et au séchage du tissu. Une moyenne des consommations est donnée pour l'ensemble des étapes d'ennoblissement.

Energie	Données pour le traitement de 1kg de toile
Consommation d'électricité	2,1 kWh/kg
Consommation de gaz naturel	13,1 kWh/kg

Sources: *Le diagnostic énergétique d'une entreprise du secteur textile IEPF (source primaire ADEME/IFTH Information EMIE/CEREN)*

4.7.7. REJETS D'EAUX USEES

Les principaux impacts environnementaux liés aux étapes d'ennoblissement sont les émissions dans l'eau. L'industrie textile utilise l'eau comme principal médium pour enlever les impuretés, blanchir le tissu ou appliquer les produits de finition. Les agents d'encollage, qui sont appliqués pour faciliter le tissage puis supprimés avant les étapes de finition entraînent des charges particulièrement importantes dans les effluents aqueux. Les agents d'encollage éliminés peuvent représenter de 30 à 70 % de la demande chimique en oxygène des rejets d'eaux usées.

Les données retenues pour modéliser les émissions dans l'eau liées au processus total d'ennoblissement sont la moyenne des données représentatives de 17 usines d'ennoblissement du coton.

Rejet d'eaux usées	Données pour le traitement de 1kg de toile
Eau	130 l/kg
Emissions dans l'eau	Données pour le traitement de 1kg de toile
DCO	151 g/kg
DBO5	46,2 g/kg
AOX	0,081 g/kg
HC	0,433 g/kg
NH ₄ ⁺	1,61 g/kg
N total	4,77 g/kg
P total	0,242 g/kg
Cu	0,0207 g/kg
Cr	0,00632 g/kg
Ni	0,0037 g/kg
Zn	0,0752 g/kg
Sb	0,0227 g/kg

Sources: Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference document on Best Available Techniques Industry, 2003, tableau 3.33 p 180

Les inventaires de cycle de vie utilisés sont décrits dans le tableau ci-après :

	Source de l'inventaire de cycle de vie	Nom du module
Production de l'agent complexant	EcolInvent v1.3	EDTA, ethylenediaminetetraacetic acid, at plant/RER S
Production des surfactants		70% Ethoxylated alcohols (AE7), petrochemical, at plant/RER S (1995) 30% Alkylbenzene sulfonate, linear, petrochemical, at plant/RER S (1995)
Production de la soude		Sodium hydroxide, 50% in H ₂ O, production mix, at plant/RER S
Production de peroxide d'hydrogène		Hydrogen peroxide, 50% in H ₂ O, at plant/RER S
Production d'énergie à partir de gaz naturel		Heat, natural gas, at boiler condensing modulating <100kW/RER S
Production d'électricité en Chine		Modèle électrique chinois décrit dans le chapitre Hypothèses et données communes aux deux systèmes

4.8. CONFECTION DE LA CHEMISE EN LIN

La confection comprend les étapes suivantes :

Etapes
Patronage
Découpe du tissu
Couture du tissu
Couture des boutons
Emballage de la chemise

La chemise présente les caractéristiques suivantes :

Caractéristiques de la chemise en lin	
Poids total de la chemise	253 g
Masse de toile de lin	240 g
Boutons	3 g de polypropylène
Fil	10 g de Polyethylene terephthalate
Emballage	15 g de carton et 10 g de film polypropylène

Sources: pesées pour les masses de toile et de boutons, Maison du lin pour la masse et la matière du fil

Les données utilisées pour cette étape sont détaillées ci-après :

Confection	
Consommation d'électricité lors de la couture	0,08 kWh
Chute de tissu en % lors de la découpe et la couture	15%

Source: ENSAIT (Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries Textiles)

Repassage lors de la confection et avant la mise sous emballage	
Puissance fer à repasser	1,9 kW
Temps de repassage lors de la confection	15 min
Temps de repassage avant l'emballage	9 min
Consommation électricité	0,76 kWh

Source: ENSAIT (Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries Textiles)

Les inventaires de cycle de vie utilisés sont décrits dans le tableau ci-après :

	Source de l'inventaire de cycle de vie	Nom du module
Production de polypropylène	Ecolinvent v1.3	Polypropylene, granulate, at plant/RER S
Production de polyethylene terephthalate		Polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, at plant/RER S
Production de boutons		Injection moulding/RER S

Remarque :

La consommation d'énergie nécessaire à la production de fil polyester à partir de granulés de polyester a été négligée, faute de données.

4.9. UTILISATION DE LA CHEMISE EN LIN

Le tableau suivant présente les principales étapes de l'utilisation de la chemise.

Etapes
Lavage régulier
Repassage régulier

L'étape d'utilisation de la chemise en lin est soumise à de nombreux paramètres, et les choix retenus sont rappelés dans le tableau ci-dessous.

Conditions d'utilisation de la chemise en coton	
Lieu d'utilisation	France
Durée de vie pour un utilisateur	60 utilisations*
Fréquence de lavage	A chaque utilisation
Lavage	Lavage en machine à 40°C (pas de séchage)
Repassage	En 9 minutes
Fin de vie	30% avec les déchets ménagers, 70% en filière de réemploi
Durée de vie totale moyenne	102 utilisations

Sources: Organisations Professionnelles du lin, COFREET, 5 pressings et teinturiers

* Le scénario de fin de vie avec filière de réemploi revient à multiplier cette donnée par 1,7, ce qui entraîne en moyenne au total une centaine d'utilisation par chemise ($60 \times 1,7 = 102$ utilisations au total).

4.9.1. LAVAGE

Les données utilisées pour modéliser les étapes de lavage sont présentées dans le tableau et les paragraphes suivants :

Lavage : données pour un cycle de lavage de 5kg de linge	
Consommation d'électricité (classe C, 40°C)	0,74 kWh
Consommation d'eau	48,5 l
Consommation lessive	108 g

Sources: Eco-Efficiency Analysis of Washing Machines: Life Cycle Assessment and Determination of Optimal Life Span, I. Rüdener et al, Öko-Institut pour Bosch et Electrolux, 2004, National Energy Fondation, UK
Life Cycle Assessment of Disposable and Reusable Nappies in the UK. Environment Agency Mai 2005,

4.9.2. REPASSAGE

Les données utilisées pour modéliser l'utilisation d'un fer à repasser sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Repassage	
Puissance fer à repasser	1,9 kW
Temps de repassage d'une chemise	9 min
Consommation électricité	0,29 kWh

Source: Sondage auprès de 5 pressings et teinturiers

Les inventaires de cycle de vie utilisés pour le lavage et le repassage sont décrits dans le tableau ci-après :

	Source de l'inventaire de cycle de vie	Nom du module
Production d'électricité en France	Ecolinvent v1.3	Electricity, low voltage, at grid/FR S (2000)
Production et utilisation de lessive		Voir dans le chapitre Hypothèses et données communes aux deux systèmes

4.10. FIN DE VIE DE LA CHEMISE EN LIN

Comme cela est présenté dans le paragraphe hypothèses et données communes aux deux systèmes, les inventaires de cycle de vie pour l'incinération avec ou sans récupération d'énergie et le stockage ont été extraits du logiciel Wisard 4.0.

Un module spécifique a été créé pour représenter le déchet « toile en lin ». Les paramètres suivants ont été choisis :

Module déchet « chemise en lin »	
Production de biogaz	0,35 kg/kg
Humidité	23,50 %
PCI sec	19,46 MJ/kg
Composition massique (% sur sec):	
Carbone biomasse	45%
Hydrogène	6%
Oxygène	48%
Matières minérales	1%

Les paramètres de production de biogaz, taux d'humidité et PCI ont été gardés identiques à ceux du module « Textiles » présent dans le logiciel.

La composition massique de la toile de lin a été modélisée en prenant en compte la proportion et la composition massique des différentes molécules constituant les fibres de lin : 80% de cellulose de formule $(C_6H_{10}O_5)_n$, 15% d'hémicellulose de formule $(C_5H_8O_4)_n$, 4% de lignine de formule empirique $C_{50}H_{54}O_{16}$ et 1% de matières minérales. (Source: d'après *The Biology and Processing of Flax*, Sharma et Van Sumere, 1992).

Toile de lin	Proportion	%C	%H	%O	% Matières minérales
Cellulose	0,8	44,5	6	49,5	0
Hémicellulose	0,15	45,5	6	48,5	0
Lignine	0,04	66	6	28	0
Matières minérales	0,01	0	0	0	100
Total	1	45	6	48	1

La fin de vie des boutons, du fil et de l'emballage de la chemise a également été prise en compte à partir d'inventaires calculés avec Wisard.

Remarque : Les inventaires de fin de vie utilisés pour l'incinération ou la mise en décharge font la distinction entre les émissions de CO₂ d'origine fossile et d'origine biomasse. Seules les émissions de CO₂ d'origine fossile sont prises en compte dans le calcul des indicateurs d'impact.

4.11. SOURCES DE DONNEES CONCERNANT LE SYSTEME LIN

Les données utilisées concernant le système lin ont été collectées auprès des organisations professionnelles du lin ou sont issues de sources bibliographiques et de bases de données. Les sources sont systématiquement indiquées dans le rapport pour chaque donnée utilisée.

Les principales organisations professionnelles du lin ayant participé à l'étude sont :

- Masters of Linen, Pierre Becuwe et Jack Salmon,
- Festal, Fédération Syndicale du Teillage Agricole du Lin,
- Maison du lin, Christophe Mallet et Luc Druetz,
- Institut Technique du Lin, Michel Brochard.

Les principales sources bibliographiques et bases de données utilisées sont :

- Bilan écologique du lin de la graine au tissu. ENSAIT et AGPL 1994
- Life Cycle Analysis of hemp textile yarn (Comparison of 3 hemp fibre processing scenarios and a flax scenario), INRA, 2006
- Harmonisation of environmental Life Cycle Assessment for agriculture. European Commission 2003
- Catalogue des produits phytopharmaceutiques. Ministère de l'Agriculture et de la Pêche (<http://e-phy.agriculture.gouv.fr/>)
- Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference document on Best Available Techniques Industry, 2003

4.12. EXIGENCES RELATIVES A LA QUALITE DES DONNEES CONCERNANT LE SYSTEME LIN

Conformément à la norme ISO 14040, les exigences relatives à la qualité des données couvrent les points suivants :

■ Facteur temporel

Les données utilisées sont représentatives de la situation actuelle. En effet, la collecte des données relatives à la culture du lin ou à la filière textile a été effectuée en 2007. D'autres parts, les données bibliographiques utilisées proviennent d'études récentes, pour la plupart publiées depuis moins de 5 ans.

■ Facteurs technologiques

Les données reflètent la technologie actuelle.

Les données relatives à la culture du lin et au teillage sont représentatives des procédés français (1er producteur mondial de lin).

Les données relatives à la filature, au tissage, à l'ennoblissement et à la confection sont représentatives des technologies européennes, pour lesquelles des informations sont disponibles.

Les données relatives à l'utilisation et à la fin de vie sont représentatives d'une situation française (modèle électrique français et filières de recyclages et d'élimination françaises).

■ Facteurs géographiques

La production agricole et le teillage du lin sont considérés comme ayant lieu en France (1er producteur mondial de lin).

En ce qui concerne la filière textile du lin, nous avons considéré que les étapes de filature, de tissage, d'ennoblissement et de confection étaient effectuées en Chine de façon à prendre en compte le cas le plus représentatif de la situation actuelle. Nous avons donc introduit les transports associés dans la description de notre système.

Pour l'utilisation et la fin de vie, l'étude est représentative d'une chemise en lin mise en vente, portée puis jetée en France.

5. Système étudié et hypothèses et données utilisées pour l'inventaire de la chemise en coton

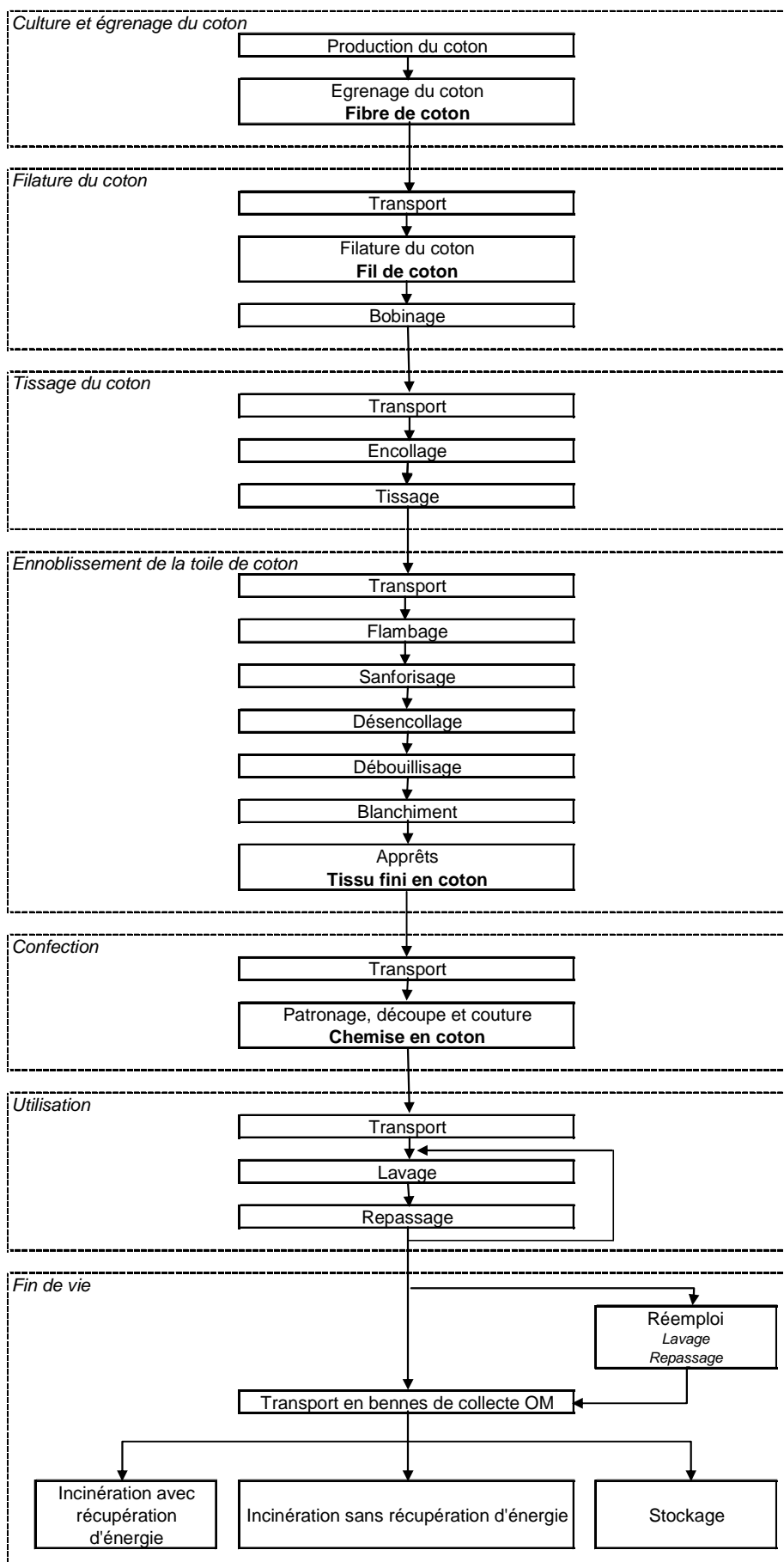
5.1. FRONTIÈRES DU SYSTÈME ETUDIÉ

Le système étudié se décompose suivant les étapes suivantes :

1. Culture et égrenage du coton
2. Filature du coton
3. Tissage du coton
4. Ennoblement de la toile de coton
5. Confection de la chemise en coton
6. Utilisation (lavage et repassage) de la chemise en coton
7. Fin de vie de la chemise en coton

L'étape de distribution de la chemise en coton a été négligée, car nous pouvons admettre que les impacts qui y sont liés sont très faibles par rapport à ceux des autres étapes du cycle de vie, et sont de plus identiques pour les deux types de chemise.

Les étapes sont récapitulées dans le schéma ci-après.



5.2. LIEUX DE PRODUCTION CONSIDERES ET TRANSPORTS MODELISES

Dans le scénario retenu, la Chine a été choisie comme lieu de culture du coton. Il s'agit en effet du pays premier producteur mondial de coton.

Répartition géographique de la production mondiale de coton		
	Production moyenne Mt	Part relative de la production totale
Chine	5,32	25%
USA	4,42	21%
Inde	2,508	12%
Pakistan	1,853	9%
Ouzbékistan	1,055	5%
Egypte	0,314	1%
autres	5,767	27%
Total	21,237	100%

Source : International Cotton Advisory Committee (ICAC) « Cotton : Review of the world situation » Vo.55, N°5, Washington DC, 2002

Nous avons considéré en particulier une culture du coton dans la province du Xinjiang, qui produit environ 40% de la production chinoise. (sources : *Les relations sino-kazakhes pour la gestion de l'eau : Une entente possible*, Université Laval, 2005 et *China Radio International*).

Par la suite, nous avons considéré comme pour le scénario lin une étape de filature, tissage, ennoblissement et confection en Chine, ce qui correspond au cas le plus fréquent, surtout en ce qui concerne la production de chemise standard de type « sportswear ».

En effet, d'après *Les données clés du textile-habillement chinois, Etude et conjoncture IFM Cctoe, 2004*, la Chine est le premier producteur mondial de textile-habillement. Elle regroupe environ 22% des capacités mondiales de filature et 24% des capacités mondiales de tissage. En particulier, la province de Jiangsu, située sur la côte Est auprès de ports internationaux tels que le port de Nanjing produit 22% des produits textiles chinois. En ce qui concerne le coton plus particulièrement, la Chine est le 2^{ème} exportateur mondial de tissu en coton (après Hong-Kong).

Une distance moyenne de 3000 km en camion a été considéré entre la province du Xinjiang et l'usine textile située dans la province du Jiangsu.

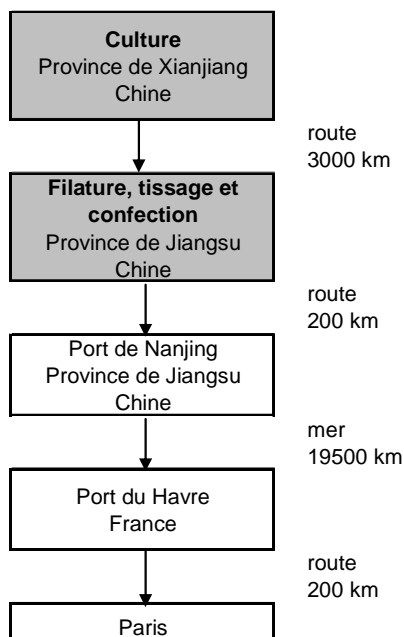
Une distance moyenne de 200 km en camion a ensuite été considéré entre l'usine textile et le port de Nanjing. (La province de Jiangsu occupe une surface d'environ 400km sur 250 km).

Les transports entre la Chine et la France ont été modélisés par bateau entre le port de Nanjing et le port du Havre.

Une distance moyenne de 200 km en camion a été prise en compte entre le port du Havre et Paris, lieu considéré pour la distribution et l'utilisation de la chemise.

Le détail de la chaîne logistique considérée est donné ci-contre.

Chaîne logistique prise en compte pour modéliser les transports



Les inventaires de cycle de vie utilisés pour modéliser le transport sont décrits dans le tableau ci-après :

	Source de l'inventaire de cycle de vie	Nom du module
Transport maritime	Ecolnvent v1.3	Transport, transoceanic freight ship/OCE S
Transport par camion		Transport, lorry 32t/RER S

Afin de mesurer l'influence du lieu de production du coton et des lieux de filature, tissage et confection, une analyse de sensibilité a été effectuée à partir de chaînes logistiques issus de cas réels pour lesquels le coton est produit en Inde, en Ouzbékistan ou en Egypte.

5.3. CULTURE ET EGRENAGE DU COTON

Le tableau suivant présente les principales étapes de la culture du coton.

Etapes
Travail du champ
Irrigation
Apports d'engrais NPK
Traitement pesticide : herbicide, insecticide, fongicide
Utilisation de défoliant
Récolte du coton-graine
Egrenage visant à séparer la fibre de coton des graines

La culture du coton comprend l'utilisation d'engrais de synthèse et les émissions associées (lixiviation des nitrates, phosphates et du potassium dans les sols, émissions de métaux lourds dans le sol...), l'utilisation de pesticides pour la protection des plants de coton et les émissions associées (émissions dans l'eau et dans les sols) ainsi que la consommation d'énergie pour l'entretien, la récolte, la mise en balle et l'égrenage du coton.

Les données utilisées sont décrites et commentées dans les paragraphes suivants. Elles sont représentatives de la production du coton aux Etats-Unis (2^{ème} producteur mondial, 21% de la production mondiale), pays pour lequel des données sont disponibles[†].

Les données de base concernant les apports d'engrais et de pesticides sont issues d'une synthèse effectuée par le National Agricultural Statistics Service sur l'année 2005 sur 9 états cultivateurs de cotons aux Etats-Unis.

Les autres données sont issues de l'étude *Life Cycle Assessment of Disposable and Reusable Nappies in the UK*. (Environment Agency, Mai 2005) qui fournit des données par kilogramme de fibre de coton. Pour rendre ces données plus parlantes, nous les avons ramenées à l'échelle d'un hectare cultivé et nous avons considéré une récolte moyenne aux Etats-Unis de 750 kg de fibre de coton par hectare. (source : CNUCCED, données 2003, site <http://www.unctad.org/infocomm/francais/coton/culture.htm>)

5.3.1. SEMIS

Le semis de 14,4 kg de graines par hectare produit à la récolte environ 1400 kg de graines. De ce fait, l'apport de graines dans notre système est négligeable et n'a pas été pris en compte.

Semis	Quantité par ha
Graines	14,4 kg/ha

Source : *Sample costs to produce cotton*, University of California Cooperative Extension, Sacramento Valley 2002

5.3.2. IRRIGATION

La culture du coton est très consommatrice d'eau. Une irrigation des plants de coton est nécessaire.

Irrigation	Quantité par ha
Eau	5 327 250 l/ha

Source: *Life Cycle Assessment of Disposable and Reusable Nappies in the UK*. Environment Agency Mai 2005

[†] Dans le scénario retenu, le lieu de production du coton est la Chine mais les données utilisées pour modéliser l'étape agricole sont des données des Etats-Unis. Les Etats-Unis étant le deuxième producteur mondial, ces données sont représentatives de la culture mondiale du coton, et sont donc en cohérence avec l'objectif de l'étude qui est d'étudier une chemise moyenne en coton.

5.3.3. FERTILISANTS

■ Apports d'engrais

La fertilisation a été modélisée par un apport d'engrais simples parmi les plus couramment utilisés :

- l'ammonitrate : à base de nitrate d'ammonium, 35% d'azote,
- le superphosphate triple : 48% de P_2O_5 ,
- le chlorure de potassium : 60% de K_2O .

Fertilisants	Quantité par ha	Traitement type
Apport N	88,2 kg N/ha	Ammonitrate 35/0/0 : 252 kg/ha
Apport P	33,5 kg P_2O_5 /ha	Superphosphate triple 0/48/0 : 69,8 kg/ha
Apport K	45,0 kg K_2O /ha	Chlorure de Potassium 0/0/60 : 75,0 kg/ha

Source: USDA; National Agricultural Statistics Service, Agricultural Chemical Usage 2005 Field crops summary.

■ Emissions liées aux engrais

Les engrais de synthèse utilisés pour la fertilisation du coton contiennent les éléments N, P et K ainsi que des métaux lourds qui vont générer différentes émissions dans l'air, l'eau, et le sol.

Ces émissions sont déterminées selon différents modes de calcul présentés par plusieurs auteurs dans l'étude *Harmonisation of environmental Life Cycle Assessment for agriculture* (European Commission DG VI Agriculture 2003).

Le tableau suivant présente les émissions considérées dans la présente étude. Les émissions de N_2 dans l'air et les émissions d'ions potassium dans l'eau n'ont pas été prises en compte par manque de données sur les processus d'émission.

Emissions dans l'air	Emissions dans l'eau	Emissions dans le sol
Ammoniac NH_3 Protoxyde d'azote N_2O Oxydes d'azote NO_x	Nitrates NO_3^- Phosphate PO_4^{3-}	Métaux lourds

Dans les calculs, les facteurs d'émission sont systématiquement donnés par rapport aux masses d'éléments N, P ou K et non par rapport aux masses des molécules ou des ions (NH_3 , P_2O_5 , NO_3^- ...).

Pour simplifier la lecture des formules, on utilise alors le mode d'écriture suivant, comme par exemple mNH_3-N pour signifier la masse d'élément N sous forme de molécule NH_3 . mNH_3-N est exprimé en kg de N.

Pour passer alternativement des masses d'éléments aux masses de molécules, il est nécessaire d'utiliser des facteurs de conversion basés sur les masses atomiques M_x des différents atomes x.

Par exemple : $mNH_3-N = M_N / (M_N + 3 M_H) \times mNH_3 = 14 / (14 + 3) \times mNH_3 = 0,82 mNH_3$

► Emissions dans l'air liées aux engrais

Emission d'ammoniac NH₃ liée à l'épandage d'engrais N	
Formule utilisée	Calcul
mNH ₃ -N = 0,02 x mEngrais-N pour un engrais de type ammonitrate	mNH ₃ -N = 0,02 x 88,2 = 1,76 kgN/ha d'où mNH ₃ = 2,13 kg/ha

Source: Selon Asman, Harmonisation of environmental Life Cycle Assessment for agriculture. European Commission 2003

Emission de Protoxyde d'azote N₂O liée à l'épandage d'engrais N	
Formule utilisée	Calcul
mN ₂ O-N = 0,0105 x mEngrais-N pour un engrais de type ammonitrate	mN ₂ O-N = 0,0105 x 88,2 = 0,926 kgN/ha d'où mN ₂ O = 1,45 kg/ha

Source: Selon Armstrong-Brown, Harmonisation of environmental Life Cycle Assessment for agriculture. European Commission 2003

Emission d'oxyde d'azote NO_x liée à l'épandage d'engrais N	
Formule utilisée	Calcul
mNO _x -N = 0,1 x mN ₂ O-N émis	mNO _x -N = 0,1 x 0,926 = 0,0926 kgN/ha d'où mNO _x = 0,304 kg/ha (pour x= 2)

Source: Harmonisation of environmental Life Cycle Assessment for agriculture. European Commission 2003

► Emissions dans l'eau liées aux engrais

Emission de phosphate PO₄³⁻ liée à l'épandage d'engrais P	
Formule utilisée	Calcul
mPO ₄ ³⁻ -P = 0,01 x mEngrais-P	mPO ₄ ³⁻ -P = 0,01 x 0,44 x 33,5 = 0,147 kgP/ha d'où mPO ₄ ³⁻ = 0,448 kg/ha

Source: Adaptation de la méthode écobilan pour la gestion environnementale de l'exploitation agricole. Service Romand de vulgarisation agricole (Lausanne) Rossier 1998

Concernant les nitrates, il existe peu d'informations disponibles pour pouvoir modéliser précisément le lessivage des nitrates en fonction de la dose azotée et des conditions pédoclimatiques.

Dans la plupart des analyses de cycle de vie de produits agricoles, les nitrates lessivés sont en général considérés comme une constante de l'ordre de 30 à 40 kgN/ha. Cependant, ce chiffre est une moyenne pour différents types de culture et n'est pas forcément représentatif de la culture du coton.

Pour modéliser les émissions de nitrate dans l'eau pour la culture du coton, une extrapolation a été réalisée à partir des doses d'engrais azotées recommandées pour la culture du blé d'hiver et des lessivages de nitrate associées, pour lesquels des informations sont disponibles.

Emission de nitrates NO₃⁻ liée à l'épandage d'engrais N	
Données relatives au blé d'hiver	Données extrapolées au coton
Apport d'engrais azoté : 180 kgN/ha Lessivage de nitrates : 35 kgN/ha	Apport d'engrais azoté : 88,2 kgN/ha Lessivage de nitrates : 17,1 kgN/ha d'où mNO ₃ ⁻ = 75,8 kg/ha

Source: Harmonisation of environmental Life Cycle Assessment for agriculture. European Commission 2003

► Emissions dans le sol liées aux engrais

Les engrais de synthèse sont reconnus comme source de métaux lourds (*source : Harmonisation of environmental Life Cycle Assessment for agriculture, European Commission DG VI Agriculture 2003*). Ces métaux lourds sont en partie émis dans le sol et en partie absorbés par les plantes cultivées.

Par manque de données sur les concentrations en métaux lourds présents dans le coton, l'absorption de métaux lourds par les plantes n'a pas pu être prise en compte. Seules les émissions de métaux lourds dans le sol liés à l'apport d'engrais ont pu être intégrées au système.

Les contenus en métaux lourds de différents types d'engrais sont donnés dans l'étude *Harmonisation of environmental Life Cycle Assessment for agriculture (European Commission DG VI Agriculture 2003)*.

On y trouve notamment les informations relatives aux engrais suivants :

- ammonitrate 30% (apport de 294 kg d'engrais pour un apport de 88,2 kg de N)
- superphosphate 20% (apport de 167,5 kg d'engrais pour un apport de 33,5 kg P₂O₅)
- chlorure de potassium 50% (apport de 90 kg d'engrais pour un apport de 45 kg de K₂O)

Ceci permet de déduire les émissions de métaux lourds dans le système considéré, en prenant en compte les quantités d'engrais adéquats.

Emissions de métaux lourds dans le sol							
Engrais	Ammonitrate 30%		Superphosphate 20%		Chlorure de Potassium 50%		Total
Apport engrais	294 kg/ha		167,5 kg/ha		90 kg/ha		
Apport métaux lourds	mg/kg engrais	g/ha	mg/kg engrais	g/ha	mg/kg engrais	g/ha	g/ha
As	0.43	0.12642	1.3	0.21775	0.43	0.0387	0.38
Cd	0.05	0.0147	52	8.71	0.06	0.0054	9
Co	5	1.47	2	0.335	2	0.18	2.0
Cr	4	1.176	261	43.7175	2	0.18	45
Cu	7	2.058	45	7.5375	5	0.45	10
Fe	136	39.984	17000	2847.5	7	0.63	2888
Hg	0.023	0.006762	0.022	0.003685	0.01	0.0009	0.011
Mo	0.25	0.0735	3.2	0.536	0.25	0.0225	0.6
Ni	13	3.822	44	7.37	2.1	0.189	11
Pb	1.9	0.5586	3.5	0.58625	5.5	0.495	1.6
Se	0.25	0.0735	2.8	0.469	0.25	0.0225	0.6
Zn	50	14.7	299	50.0825	46	4.14	69

Source: Selon Buwal, *Harmonisation of environmental Life Cycle Assessment for agriculture. European Commission 2003*

5.3.4. PESTICIDES

■ Fongicides

Les principaux fongicides utilisés dans la culture du coton sont le PCNB (Pentachloronitrobenzène ou encore appelé quintozone), puis le Mefenoxam (ou Metalaxyl-M) puis l'Azoxystrobin.

Le Mefenoxam a été retenu pour modéliser l'insecticide car il existe un inventaire de production dans la base de données Ecoivent pour la famille chimique de ce produit (famille des anilides et xylylalanines : Acetamide-anillide-compounds, at regional storehouse/RER S).

Par contre, aucun facteur de caractérisation n'est disponible pour cette molécule dans la méthode CML pour les émissions dans l'eau, l'air et les sols pour les indicateurs de toxicité et d'écotoxicité.

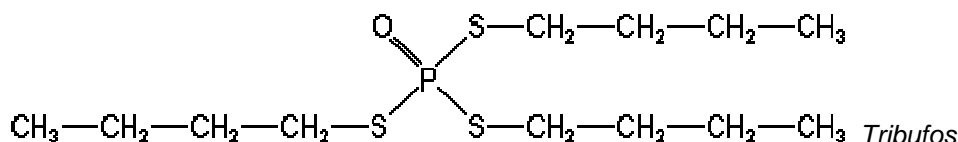
■ Herbicides et insecticides

Le Glyphosate et le Malathion ont été choisis respectivement pour modéliser l'herbicide et l'insecticide pour les raisons suivantes :

- Ils font partie des produits utilisés les plus couramment dans la culture du coton (*Source : USDA; National Agricultural Statistics Service, Agricultural Chemical Usage 2005 Field crops summary*)
- Leurs inventaires de cycle de vie sont disponibles dans la base de données Ecoivent.
- Des facteurs de caractérisation sont disponibles dans la méthode CML pour leurs émissions dans l'eau, l'air et les sols pour les indicateurs de toxicité et d'écotoxicité.

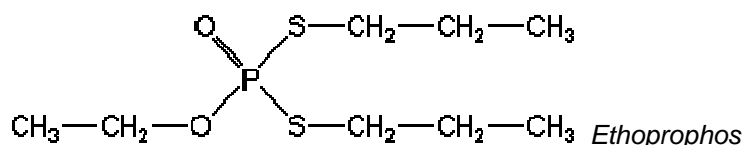
■ Défoliant

Le produit choisi pour modéliser le défoliant est un organophosphoré, le Tribufos (S,S,S-tributyl phosphorotrithioate) :



Il a été choisi pour les raisons suivantes :

- C'est l'un des défoliants les plus utilisés pour la culture du coton aux Etats-Unis, où il est épandu sur 25% de la production de coton. (*Source : Cotton Defoliant Runoff as a Function of Active Ingredient and Tillage, Thomas L. Potter et al., United States Department of Agriculture, 2002*)
- C'est le seul défoliant organique pour lequel un inventaire de production a pu être utilisé dans la base de données Ecoivent (Organophosphorus-compounds, at regional storehouse/RER S).
- Des facteurs de caractérisation sont disponibles dans la méthode CML pour les émissions dans l'eau, l'air et les sols pour les indicateurs de toxicité et d'écotoxicité, pour une molécule proche du tribufos, l'Ethoprophos (O-ethyl S,S-dipropyl phosphorodithioate) :



Pesticides	Matière active type	Dosage de pesticide par ha
Fongicide	Mefenoxam	11,1 g/ha
Herbicide	Glyphosate	2 320 g/ha
Insecticide	Malathion	1 320 g/ha
Autres pesticides dont défoliant	Tribufos	1370 g/ha

Source: USDA; National Agricultural Statistics Service, Agricultural Chemical Usage 2005 Field crops summary

■ Emissions de pesticides

Les émissions liées au fongicide n'ont pas pu être prises en compte car aucun facteur de caractérisation n'est disponible pour le Mefenoxam dans la méthode CML pour les émissions dans l'eau, l'air et les sols pour les indicateurs de toxicité et d'écotoxicité.

▶ Emissions de pesticides dans l'air

L'étude *Harmonisation of environmental Life Cycle Assessment for agriculture (European Commission DG VI Agriculture 2003)* propose de retenir une valeur moyenne de 10% comme facteur d'émissions dans l'air des pesticides apportés.

Pendant, cette approche ne prend pas en compte la volatilité des matières actives. C'est pourquoi nous avons plutôt retenu la méthode CORINAir qui détermine les facteurs d'émissions en fonction de la pression de vapeur des matières actives.

Pression de vapeur p (mPa)	Facteur d'émission dans l'air
$p > 10$	0,95
$1 < p < 10$	0,50
$0,1 < p < 1$	0,15
$0,01 < p < 0,1$	0,05
$p < 0,01$	0,01

source : CORINAir Use of pesticide and limestone. (in agriculture) Activities 100600. Emission Inventory Guidebook 2000
<http://reports.eea.eu.int/EMEPCORINAIR3/en/page002.html>)

Matière active utilisée et émise	Dosage en matière active par ha	Pression de vapeur p (mPa)	Facteur d'émission	Emissions dans l'air de matière active
Glyphosate	2 320 g/ha	0,013 mPa	0,05	116 g/ha
Malathion	1 320 g/ha	5,3 mPa	0,50	660 g/ha
Tribufos	1370 g/ha	2,3 mPa	0,50	685 g/ha

sources : Fiches internationales de sécurité chimique ICSC, Material Safety data sheet - Bayer CropScience et site
<http://extoxnet.orst.edu/pips/ghindex.html>

▶ Emissions de pesticides dans l'eau

D'après l'étude *Trends in the Potential for Environmental Risk from Pesticide Loss from Farm Fields (Robert L. Kellogg, United States Department of Agriculture, 1999)*, la perte en masse de pesticides dans l'eau pour la culture coton aux Etats-Unis est environ de :

- 0,5% en lixiviation (émissions dans les eaux souterraines)
- 3,3% dissoutes dans le ruissellement (émissions dans les eaux de surfaces).

Matière active utilisée et émise	Dosage matière active par ha	Facteur d'émission		Emissions de matière active	
		eaux surface	Eaux souterraines	eaux surface	Eaux souterraines
Glyphosate	2 320 g/ha	0,033	0,005	76,6 g/ha	11,6 g/ha
Malathion	1 320 g/ha			43,6 g/ha	6,60 g/ha
Tribufos	1370 g/ha			45,2 g/ha	6,85 g/ha

Source: Trends in the Potential for Environmental Risk from Pesticide Loss from Farm Fields (Robert L. Kellogg, United States Department of Agriculture, 1999)

► Emissions de pesticides dans le sol

D'après l'étude *Trends in the Potential for Environmental Risk from Pesticide Loss from Farm Fields* (Robert L. Kellogg, United States Department of Agriculture, 1999), la perte en masse de pesticides dans le sol pour la culture coton aux Etats-Unis est en moyenne de 1,3%.

Matière active utilisée et émise	Dosage matière active par ha	Facteur d'émission dans le sol	Emissions dans le sol de matière active
Glyphosate	2 320 g/ha	0,013	30,2 g/ha
Malathion	1 320 g/ha		17,16 g/ha
Tribufos	1370 g/ha		17,8 g/ha

Source: *Trends in the Potential for Environmental Risk from Pesticide Loss from Farm Fields* (Robert L. Kellogg, United States Department of Agriculture, 1999)

5.3.5. UTILISATION DE MACHINES AGRICOLES ET CONSOMMATION D'ENERGIE

Contrairement au cas du lin, l'utilisation de machines agricoles (prise en compte d'une part des flux nécessaires à la production de la machine et émissions dans le sol liées à l'abrasion des pneus) n'a pas été prise en compte faute de données précises sur les procédés agricoles du coton.

Seules les consommations d'énergie des machines agricoles et les émissions dans l'air associées à ces consommations ont été intégrées au système. Les données sont issues de l'étude *Life Cycle Assessment of Disposable and Reusable Nappies in the UK*. (Environment Agency, Mai 2005).

Energie pour la production et l'égrenage	Quantité par ha
Diesel	176 l/ha
Électricité (dont électricité pour égrenage)	308 kWh/ha
Gaz	44,0 l/ha
GPL	17,6 l/ha

Source: *Life Cycle Assessment of Disposable and Reusable Nappies in the UK*. Environment Agency Mai 2005

5.3.6. RECOLTE

Un hectare cultivé produit aux Etats-Unis environ 2150 kg de coton-graines. Le rendement à l'égrenage est de l'ordre de 35%, ce qui entraîne une production moyenne de 750 kg de fibres de coton par hectare. (source : CNUCCED, données 2003 pour les Etats-Unis, site <http://www.unctad.org/infocomm/francais/coton/culture.htm>)

Récolte	Quantité par ha	% massique	Prix en €/kg
Coton-graines récoltés avant égrenage	2150 kg/ha	100%	-
Coton (fibre)	750 kg/ha	35%	1,10 €/kg
graines	1400 kg/ha	65%	0,12 €/kg

Sources : CNUCCED, données 2003 pour les Etats-Unis, site <http://www.unctad.org/infocomm/francais/coton/culture.htm>)

Sample cots to produce cotton, University of California Cooperative Extension, Sacramento Valley 2002

5.3.7. PRINCIPE D'ALLOCATION POUR LES ETAPES DE CULTURE ET D'EGREPAGE DU COTON

La culture du coton produit des fibres de coton et des graines de coton. Chacun de ces coproduits est valorisable mais on ne s'intéresse dans la présente étude qu'aux fibres de coton qui permettront de fabriquer la chemise en coton.

Il convient donc d'allouer les flux générés au cours des étapes de culture et d'égrenage en fonction des coproduits fibre de coton et graines de coton et de ne garder dans notre inventaire que les flux relatifs aux fibres.

Pour cela, le principe d'allocation économique a été retenu. Le coefficient d'allocation économique pour les fibres est de 83%. Il se calcule de la manière suivante :

$$C_F = \frac{P_{mF} \times m_F}{P_{mF} \times m_F + P_{mG} \times m_G} = 0,83$$

P_{mi} est le prix par unité de masse du coproduit i et m_i la masse de coproduit i à l'issue de l'étape d'égrenage.

L'indice F se réfère au produit fibre de coton qui est le produit retenu à cette étape dans notre étude. L'indice G se réfère au produit graine.

5.3.8. MODELISATION GLOBALE DE LA CULTURE DU COTON : INVENTAIRES UTILISES ET LACUNES IDENTIFIEES

Les inventaires de cycle de vie utilisés pour l'étape de culture du coton sont décrits dans le tableau ci-après :

	Source de l'inventaire de cycle de vie	Nom du module
Production d'engrais K	Ecolnvent v1.3	Potassium chloride, as K ₂ O, at regional storehouse/RER S (2000)
Production d'engrais N		Ammonium nitrate, as N, at regional storehouse/RER S (1997)
Production d'engrais P		Triple superphosphate, as P ₂ O ₅ , at regional storehouse/RER S (1997)
Production de l'insecticide		Organophosphorus-compounds, at regional storehouse/RER S (1987)
Production du fongicide		Acetamide-anillide-coumpounds, at regional storehouse/RER S (1987)
Production du défoliant		Organophosphorus-compounds, at regional storehouse/RER S (1987)
Production de l'herbicide		Glyphosate, at regional storehouse/RER S (1987)
Production d'énergie à partir de gaz naturel		Heat, natural gas, at boiler condensing modulating <100kW/RER S
Production d'énergie à partir de GPL		Heat, natural gas, at boiler condensing modulating <100kW/RER S
Production du diesel		Diesel, low-sulphur, at regional storage/RER S (2000)
Combustion du diesel	ETH Zurich	Diesel, combustion
Production d'électricité en Chine		Modèle électrique chinois décrit dans le chapitre Hypothèses et données communes aux deux systèmes

Les lacunes identifiées à l'étape de culture du coton ont été précisées à chaque phase et sont résumées ci-dessous :

- Les émissions de N₂ dans l'air et les émissions d'ions potassium dans l'eau et le sol liées à l'utilisation de fertilisants n'ont pas été prises en compte par manque de données sur les facteurs d'émission.
- Les émissions du fongicide Mefenoxam n'ont pas pu être prises en compte par manque de données sur les facteurs de caractérisation de ce pesticide au niveau des indicateurs de toxicité et d'écotoxicité.

5.4. FILATURE DU COTON

La filature consiste à créer un fil à partir de la fibre de coton brute.

Le tableau suivant présente les principales étapes de la filature :

Etapes	Détail
Cardage	Séparation des fibres naturelles et constitution d'un ruban de carde
Etirage	Harmonisation de l'épaisseur du ruban de carde par étirage des fibres
Passage sur banc à broche	Filage grossier par assemblage et torsion des fibres
Passage sur métier à filer	Filage fin

Les données concernant la filature du coton sont des données moyennes pour l'obtention d'un fil moyen (fil Nm 20 ou Nm2/40 par exemple).

Cette étape consomme de l'électricité et de l'huile pour la lubrification des fibres.

Les données utilisées pour l'étape de filature du coton sont détaillées ci-après. Les consommations d'électricité données dans la littérature sont très variables. Une valeur moyenne a été retenue pour le scénario de référence et une analyse de sensibilité a été effectuée dans la partie résultats afin d'évaluer l'influence de ce facteur sur les résultats de l'ACV.

Filature	Données pour le filage de 1kg de coton brut		
Electricité	Min : 2,3 kWh/kg (1)	Moy : 6,15 kWh/kg	Max : 10 kWh/kg (2)
Lubrifiant	60 g/kg		
Pertes de matière	10%		
Production de fil	0,90 kg		

Sources: Aide à la prise en compte de l'environnement dans la conception des articles textiles, IFTH et BIO IS, 2005 (1)

Report 4 : Textile Mass Balance and Product Life Cycles, British Textile Technology Group, 1999 (2)

Les inventaires de cycle de vie utilisés sont décrits dans le tableau ci-après :

	Source de l'inventaire de cycle de vie	Nom du module
Production du lubrifiant	Ecolinvent v1.3	Lubricating oil, at plant/RER S
Production d'électricité		Modèle électrique chinois décrit dans le chapitre Hypothèses et données communes aux deux systèmes

5.5. TISSAGE DU COTON

Cette étape n'est pas spécifique au coton. Les mêmes données sont utilisées pour modéliser le tissage du lin et du coton.

Le tableau suivant présente les principales étapes du tissage :

Etapes	Détail
Ourdissage	Préparation de la nappe de fils de chaîne
Encollage	Apprêtage des fils avec des produits appropriés tels que l'amidon dans le but de regrouper les fibres au sein du filé de fibres qu'est le fil
Tissage	Production de toile

Les données concernant le tissage sont des données moyennes pour un tissu moyen. A titre d'exemple : tissu type : 24 x 20 20x20 (avec des fils de Nm 20 ou Nm2/40) avec un poids théorique de 220g/m², pour une longueur tissée de 1000m et de laize 180cm.

Les données utilisées pour modéliser l'étape de tissage sont détaillées dans le tableau ci-dessous.

Concernant l'encollage, l'étude *Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC)* précise que la quantité d'agents d'encollage pour les fils varie entre 80 et 200 g/kg. Il est de plus précisé que pour un encollage à l'amidon, qui est un produit très utilisé, cette quantité varie généralement entre 150 et 200g/kg. Pour cette étude, l'encollage à l'amidon a donc été retenu avec une valeur moyenne de 175 g/kg.

Encollage	Données pour le tissage de 1kg de fil
Produit d'encollage (amidon)	175 g/kg

Sources: *Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference document on Best Available Techniques Industry, 2003, tableau 8.6 p 492*

Tissage	Données pour le tissage de 1kg de fil
Electricité	13 kWh/kg
Perte de masse	4%
Production de toile	0,96 kg

Source : *Report 4 : Textile Mass Balance and Product Life Cycles, British Textile Technology Group, 1999*

La perte de masse à l'étape de tissage correspond à une perte globale au cours des différentes phases (ourdissage, encollage, tissage). Elle s'accompagne d'un rétrécissement des fils (embuvage d'environ 10 %, retrait d'environ 8 %, fil de chaîne passant de 1154 m à 1000m, fil de trame passant de 198cm à 180cm.)

Les inventaires de cycle de vie utilisés sont décrits dans le tableau ci-après :

	Source de l'inventaire de cycle de vie	Nom du module
Production de l'amidon	Ecolvent v1.3	Potato starch, at plant/DE S
Production d'électricité		Modèle électrique chinois décrit dans le chapitre Hypothèses et données communes aux deux systèmes

5.6. ENNOBLISSEMENT DE LA TOILE DE COTON

Cette étape n'est pas spécifique au coton. Les mêmes données sont utilisées pour modéliser l'ennoblissement du lin et du coton.

Le tableau suivant présente les principales étapes de l'ennoblissement du tissu :

Etapes	Détail
Flambage	Brûlage des duvets à la surface du tissu
Désencollage	Elimination des produits d'encollage appliqués pour faciliter le tissage
Débouillissage	Elimination des impuretés naturelles ou introduites durant les étapes précédentes (matières grasses notamment) afin de rendre le tissu perméable aux produits de blanchiment
Blanchiment	Décoloration des fibres
Apprêt	Traitement de mise en valeur du tissu, notamment pour lui donner un toucher, un aspect et un maintien convenables

Les données retenues pour modéliser les étapes d'ennoblissement sont principalement issues du document *Best Available Techniques Industry, 2003, IPPC* qui décrit les procédés les plus couramment utilisés par l'industrie textile en Europe. On y trouve notamment des recettes types pour le traitement des tissus.

Ces données sont détaillées et commentées par phase dans les paragraphes suivants. Les données concernant les consommations d'énergie sont précisées à la fin pour l'ensemble de l'étape d'ennoblissement.

5.6.1. FLAMBAGE

Lors du flambage, le tissu est brûlé superficiellement par passage sur une flamme puis est plongé dans un bain d'extinction.

Flambage	Données pour le traitement de 1kg de toile
Eau	8 l/kg

Sources: *Reducing Pollution in Wet Processing of Cotton/Polyester Fabrics, Environmental Research, engineering and management, 2004, No 2(28) – ISSN 1392-1649*

5.6.2. DESENCOLLAGE

Le procédé de désencollage retenu est le désencollage enzymatique. C'est la méthode la plus répandue pour enlever l'amidon, substance insoluble dans l'eau.

La production de l'enzyme n'a pas pu être prise en compte car aucun inventaire de production d'enzyme n'est disponible dans la base de donnée Ecoinvent.

Désencollage	Données pour le traitement de 1kg de toile
Enzyme (amylase)	5 g/kg
Agent complexant (EDTA)	1 g/kg
Surfactant	30 g/kg
Eau	20 l/kg

Sources: *Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference document on Best Available Techniques Industry, 2003, tableau 1 p 549*

5.6.3. DEBOUILLISSAGE

Le mode de débouillissage retenu est un procédé en discontinu, qui est le procédé le plus répandu pour le débouillissage des tissus. De plus, les procédés en discontinu sont d'une manière générale des procédés moins performants en termes de consommation des différents produits et en termes de rendement. Nous avons fait l'hypothèse que ces procédés doivent être plus représentatifs de l'industrie textile en Asie.

Débouillissage (en discontinu)	Données pour le traitement de 1kg de toile
NaOH 100%	50 g/kg
Agent complexant (EDTA)	16 g/kg
Surfactant	17 g/kg
Eau (y compris eau de rinçage)	50 l/kg

Sources: *Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference document on Best Available Techniques Industry, 2003, tableau 4 p 552, traitement discontinu*

5.6.4. BLANCHIMENT

Pour le blanchiment, les produits les plus couramment utilisés sont le peroxyde d'hydrogène H₂O₂, l'hypochlorite de sodium NaClO et le chlorite de sodium NaClO₂. Le traitement au peroxyde d'hydrogène est particulièrement utilisé car il est moins agressif pour la fibre, il a donc été retenu. Comme pour le débouillissage, un procédé en discontinu a également été retenu.

Blanchiment (en discontinu)	Données pour le traitement de 1kg de toile
H ₂ O ₂	10 g/kg
NaOH 100%	17 g/kg
Agent complexant (EDTA)	11 g/kg
Surfactant	6 g/kg
Eau (y compris eau de rinçage)	50 l/kg
Perte de matière	5%

Sources: *Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference document on Best Available Techniques Industry, 2003, tableau 5 p 553, traitement discontinu*

On a considéré une perte de matière de 5% lors de l'étape de blanchiment. Cette perte de matière au cours de l'ennoblissement n'a pas été considérée pour le lin car on estime que la perte de matière liée au blanchiment a eu lieu lors de la première étape de blanchiment durant la filature.

5.6.5. APPRET

Un apprêt standard à base d'assouplissant et d'élastomère a été modélisé.

Apprêt	Données pour le traitement de 1kg de toile
Assouplissant	40 g/kg
Elastomère	40 g/kg
Eau	2 l/kg

Source: *Organisation professionnelle du lin (données d'une usine de tissage et d'ennoblissement italienne)*

5.6.6. CONSOMMATIONS D'ENERGIE

L'énergie consommée pour l'ennoblissement est principalement dédiée au chauffage des bains de traitement et au séchage du tissu. Une moyenne des consommations est donnée pour l'ensemble des étapes d'ennoblissement.

Energie	Données pour le traitement de 1kg de toile
Consommation d'électricité	2,1 kWh/kg
Consommation de gaz naturel	13,1 kWh/kg

Sources: *Le diagnostic énergétique d'une entreprise du secteur textile IEPF (ADEME/IFTH Information EMIE/CEREN)*

5.6.7. REJET D'EAUX USEES

Les principaux impacts environnementaux liés aux étapes d'ennoblissement sont les émissions dans l'eau. L'industrie textile utilise l'eau comme principal médium pour enlever les impuretés, blanchir le tissu ou appliquer les produits de finition. Les agents d'encollage, qui sont appliqués pour faciliter le tissage puis supprimés avant les étapes de finition entraînent des charges particulièrement importantes dans les effluents aqueux. Les agents d'encollage éliminés peuvent représenter de 30 à 70 % de la demande chimique en oxygène des rejets d'eaux usées.

Les données retenues pour modéliser les émissions dans l'eau liées au processus total d'ennoblissement sont la moyenne des données représentatives de 17 usines d'ennoblissement du coton.

Rejet d'eaux usées	Données pour le traitement de 1kg de toile
Eau	130 l/kg
Emissions dans l'eau	Données pour le traitement de 1kg de toile
DCO	151 g/kg
DBO5	46,2 g/kg
AOX	0,081 g/kg
HC	0,433 g/kg
NH ₄ ⁺	1,61 g/kg
N total	4,77 g/kg
P total	0,242 g/kg
Cu	0,0207 g/kg
Cr	0,00632 g/kg
Ni	0,0037 g/kg
Zn	0,0752 g/kg
Sb	0,0227 g/kg

Sources: Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference document on Best Available Techniques Industry, 2003, tableau 3.33 p 180

Les inventaires de cycle de vie utilisés sont décrits dans le tableau ci-après :

	Source de l'inventaire de cycle de vie	Nom du module
Production de l'agent complexant	Ecolinvent v1.3	EDTA, ethylenediaminetetraacetic acid, at plant/RER S
Production des surfactants		70% Ethoxylated alcohols (AE7), petrochemical, at plant/RER S (1995) 30% Alkylbenzene sulfonate, linear, petrochemical, at plant/RER S (1995)
Production de la soude		Sodium hydroxide, 50% in H ₂ O, production mix, at plant/RER S
Production de peroxide d'hydrogène		Hydrogen peroxide, 50% in H ₂ O, at plant/RER S
Production d'énergie à partir de gaz naturel		Heat, natural gas, at boiler condensing modulating <100kW/RER S
Production d'électricité		Modèle électrique chinois décrit dans le chapitre Hypothèses et données communes aux deux systèmes

5.7. CONFECTION DE LA CHEMISE EN COTON

La confection comprend les étapes suivantes.

Étapes
Patronage
Découpe du tissu
Couture du tissu
Couture des boutons
Emballage de la chemise

La chemise présente les caractéristiques suivantes :

Caractéristiques de la chemise en coton	
Poids total de la chemise	253 g
Masse de toile de coton	240 g
Boutons	3 g de polypropylène
Fil	10 g de polyethylene terephthalate
Emballage	15 g de carton et 10 g de film polypropylène

Sources: pesées pour les masses de toile et de boutons, Maison du lin pour la masse et la matière du fil

Les données utilisées pour cette étape sont détaillées ci-après :

Confection	
Consommation d'électricité lors de la couture	0,08 kWh
Chute de tissu en % lors de la découpe et la couture	15%

Source: ENSAIT (Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries Textiles)

Repassage lors de la confection et avant la mise sous emballage	
Puissance fer à repasser	1,9 kW
Temps de repassage lors de la confection	14 min
Temps de repassage avant l'emballage	7 min
Consommation électricité	0,66 kWh

Source: ENSAIT (Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries Textiles)

Les inventaires de cycle de vie utilisés sont décrits dans le tableau ci-après :

	Source de l'inventaire de cycle de vie	Nom du module
Production de polypropylène	EcoInvent v1.3	Polypropylene, granulate, at plant/RER S
Production de Polyethylene terephthalate		Polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, at plant/RER S
Production de boutons		Injection moulding/RER S

Remarque :

La consommation d'énergie nécessaire à la production de fil polyester à partir de granulés de polyester a été négligée, faute de données.

5.8. UTILISATION DE LA CHEMISE EN COTON

Le tableau suivant présente les principales étapes de l'utilisation de la chemise.

Etapes
Lavage régulier
Repassage régulier

L'étape d'utilisation de la chemise en coton est soumise à de nombreux paramètres, et les choix retenus sont rappelés dans le tableau ci-dessous.

Conditions d'utilisation de la chemise en coton	
Lieu d'utilisation	France
Durée de vie pour un utilisateur	60 utilisations*
Fréquence de lavage	A chaque utilisation
Lavage	Lavage en machine à 40°C (pas de séchage)
Repassage	En 7 minutes
Fin de vie	30% avec les déchets ménagers, 70% en filière de réemploi
Durée de vie totale moyenne	102 utilisations

Sources: Organisations Professionnelles du lin, COFREET, 5 pressings et teinturiers

* Le scénario de fin de vie avec filière de réemploi revient à multiplier cette donnée par 1,7, ce qui entraîne en moyenne au total une centaine d'utilisation par chemise ($60 \times 1,7 = 102$ utilisations au total dans le scénario moyen de référence).

5.8.1. LAVAGE

Les données utilisées pour modéliser les étapes de lavage sont présentées dans le tableau et les paragraphes suivants :

Lavage : données pour un cycle de lavage de 5kg de linge	
Consommation d'électricité (classe C, 40°C)	0,74 kWh
Consommation d'eau	48,5 l
Consommation lessive	108 g

Sources: Eco-Efficiency Analysis of Washing Machines: Life Cycle Assessment and Determination of Optimal Life Span, I. Rüdener et al, Öko-Institut pour Bosch et Electrolux, 2004

Life Cycle Assessment of Disposable and Reusable Nappies in the UK. Environment Agency Mai 2005

National Energy Fondation, UK

5.8.2. REPASSAGE

Les données utilisées pour modéliser l'utilisation d'un fer à repasser sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Repassage	
Puissance fer à repasser	1,9 kW
Temps de repassage d'une chemise	7 min
Consommation électricité	0,22 kWh

Source: Sondage auprès de 5 pressings et teinturiers

Les inventaires de cycle de vie utilisés pour le lavage et le repassage sont décrits dans le tableau ci-après :

	Source de l'inventaire de cycle de vie	Nom du module
Production d'électricité en France	EcoInvent v1.3	Electricity, low voltage, at grid/FR S (2000)
Production et utilisation de lessive		Voir dans le chapitre Hypothèses et données communes aux deux systèmes

5.9. FIN DE VIE DE LA CHEMISE EN COTON

Comme cela est présenté dans le paragraphe hypothèses et données communes aux deux systèmes, les inventaires de cycle de vie pour l'incinération avec ou sans récupération d'énergie et le stockage ont été extraits du logiciel Wisard 4.0.

Un module spécifique a été créé pour représenter le déchet « toile en coton ». Les paramètres suivants ont été choisis :

Module déchet « chemise en coton »	
Production de biogaz	0,35 kg/kg
Humidité	23,50 %
PCI sec	19,46 MJ/kg
Composition massique (% sur sec):	
Carbone biomasse	43%
Hydrogène	6%
Oxygène	47%
Matières minérales	4%

Les paramètres de production de biogaz, taux d'humidité et PCI ont été gardés identiques à ceux du module « Textiles » présent dans le logiciel. La composition massique a été modélisée à partir de la formule de la cellulose ($C_6H_{10}O_5$)_n, en tenant compte du fait que le coton est composé à 96% de cellulose. Les 4% restants ont été modélisés par des matières minérales. (Source: *Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). Reference Document on Best Available Techniques for the Textiles Industry. July 2003*).

La fin de vie des boutons, du fil et de l'emballage de la chemise a également été prise en compte à partir d'inventaires calculés avec Wisard.

Remarque : Les inventaires de fin de vie utilisés pour l'incinération ou la mise en décharge font la distinction entre les émissions de CO₂ d'origine fossile et d'origine biomasse. Seules les émissions de CO₂ d'origine fossile sont prises en compte dans le calcul des indicateurs d'impact.

5.10. SOURCES DE DONNEES CONCERNANT LE SYSTEME COTON

Les données utilisées concernant le système coton sont issues de sources bibliographiques et de bases de données. Les sources sont systématiquement indiquées dans le rapport pour chaque donnée utilisée.

Les principales sources bibliographiques et bases de données utilisées sont :

- Sample costs to produce cotton, University of California Cooperative Extension, Sacramento Valley 2002
- Life Cycle Assessment of Disposable and Reusable Nappies in the UK. Environment Agency Mai 2005
- USDA; National Agricultural Statistics Service, Agricultural Chemical Usage 2005 Field crops summary
- CNUCCED, données 2003 pour les Etats-Unis, site <http://www.unctad.org/infocomm/francais/coton/culture.htm>
- Harmonisation of environmental Life Cycle Assessment for agriculture. European Commission 2003
- Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference document on Best Available Techniques Industry, 2003

5.11. EXIGENCES RELATIVES A LA QUALITE DES DONNEES CONCERNANT LE SYSTEME COTON

Conformément à la norme ISO 14040, les exigences relatives à la qualité des données couvrent les points suivants :

■ Facteur temporel

Les données utilisées sont représentatives de la situation actuelle. Les données bibliographiques utilisées proviennent d'études récentes, pour la plupart publiées depuis moins de 5 ans.

■ Facteurs technologiques

Les données reflètent la technologie actuelle.

Les données relatives à la culture du coton sont représentatives des procédés pratiqués aux Etats-Unis (2ème producteur mondial de coton).

Les données relatives à la filature, au tissage, à l'ennoblissement et à la confection sont représentatives des technologies européennes, pour lesquelles des informations sont disponibles.

Les données relatives à l'utilisation et à la fin de vie sont représentatives d'une situation française (modèle électrique français et filières de recyclages et d'élimination françaises).

■ Facteurs géographiques

La culture du coton est considérée comme ayant lieu en en Chine (1^{er} producteur mondial de coton).

En ce qui concerne la filière textile du lin, nous avons considéré que les étapes de filature, de tissage, d'ennoblissement et de confection étaient effectuées en Chine (1^{er} producteur mondial de textile habillement). Nous avons donc introduit les transports associés dans la description de notre système.

Pour l'utilisation et la fin de vie, l'étude est représentative d'une chemise en coton mise en vente, portée puis jetée en France.

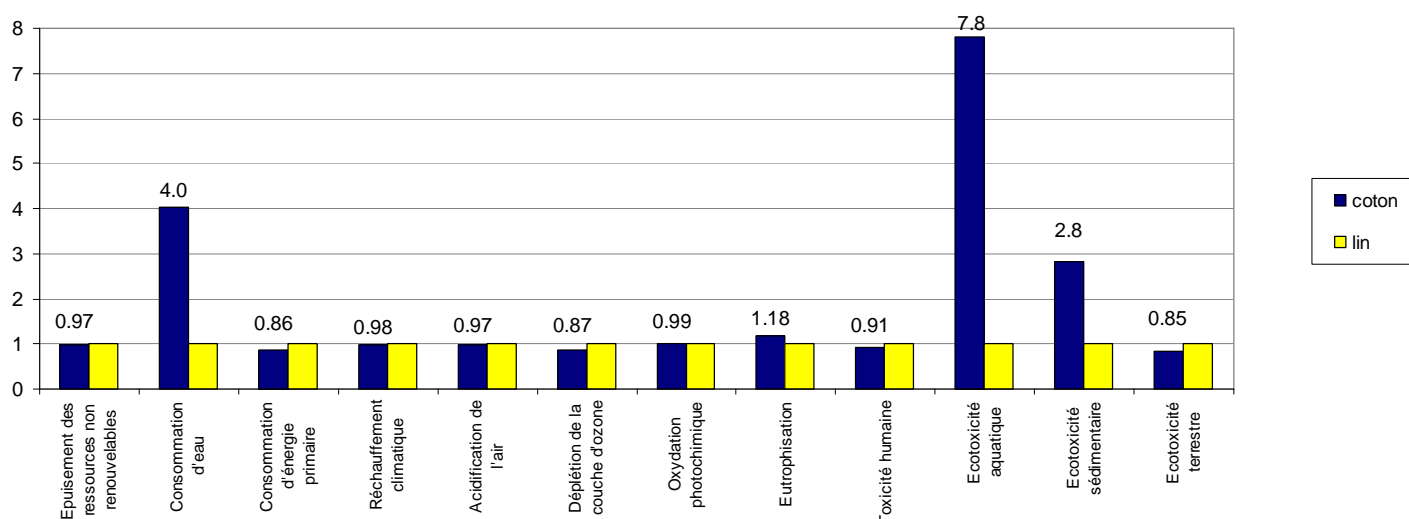
6. Résultats pour le scénario de référence

6.1. RESULTATS SUR L'ENSEMBLE DU CYCLE DE VIE

Le tableau et le graphe ci-dessous présentent les résultats de l'ACV pour l'ensemble du cycle de vie pour le système lin et le système coton (UF : Porter une chemise pendant une journée). Dans le graphe, la valeur 1 a été affectée par défaut à la chemise en lin.

Thème	Indicateur d'impact potentiel	Unité	chemise en lin 1UF	chemise en coton 1UF
Consommation de ressources	Epuisement des ressources non renouvelables	g Sb eq.	0,96	0,93
	Consommation d'eau	litres	6,4	26
Bilan énergétique	Énergie primaire	MJ	6,0	5,1
Bilan effet de serre	Potentiel de réchauffement climatique	g eq. CO ₂	130	128
Pollution de l'air	Acidification de l'air	g eq. SO ₂	0,68	0,67
	Oxydation photochimique	g eq. C ₂ H ₄	0,34	0,34
	Déplétion de la couche d'ozone	µg eq. CFC-11	5,8	5,1
Pollution de l'eau	Eutrophisation	mg eq. PO ₄ ³⁻	105	125
Risque toxique	Toxicité humaine	g eq. 1-4-DB	90	82
	Écotoxicité aquatique	g eq. 1-4-DB	11,5	90
	Écotoxicité sédimentaire	g eq. 1-4-DB	28	80
	Écotoxicité terrestre	g eq. 1-4-DB	3,4	2,9

Analyse comparative avec normation à 1 pour le lin - Scénario de référence
UF : Porter une chemise pendant une journée



Au niveau des indicateurs de **consommation d'eau**, **d'écotoxicité aquatique**, **d'écotoxicité sédimentaire** et **d'eutrophisation**, on constate une différence importante entre le lin et le coton. L'impact environnemental est beaucoup plus important pour la chemise en coton que pour la chemise en lin. Ces différences sont principalement liées à l'étape de culture de ces fibres. En effet, la culture du coton nécessite une irrigation intensive et une utilisation plus importante de pesticides que la culture du lin.

Pour les indicateurs de **consommation d'énergie primaire**, de **déplétion de la couche d'ozone**, de **toxicité humaine** et de **d'écotoxicité terrestre**, les écarts sont plus réduits et montrent à l'inverse un certain bénéfice environnemental en faveur du coton. Ceci s'explique principalement par le fait que la chemise en lin va consommer globalement plus d'énergie que la chemise en coton sur son cycle de vie, notamment du fait que le temps de repassage du lin est plus important que celui du coton. Cette consommation d'énergie supplémentaire a un effet direct ou indirect sur d'autres indicateurs d'impact tels que l'écotoxicité terrestre ou la déplétion de la couche d'ozone.

Pour les indicateurs **d'épuisement des ressources non renouvelables**, de **réchauffement climatique**, de **acidification de l'air** et de **oxydation photochimique**, les résultats du lin et du coton sont très proches.

6.2. RESULTATS PAR INDICATEUR ET PAR ETAPE DU CYCLE DE VIE

Les tableaux suivants présentent les résultats pour chaque indicateur et pour chaque étape du cycle de vie.

		Résultats LIN 1 UF							
	Unités	Culture et teillage	Filature	Tissage	Ennoblement	Confection	Utilisation	Fin de vie	Total
Epuisement des ressources non renouvelables	kg Sb eq	2.00E-05	1.87E-04	2.69E-04	1.32E-04	1.58E-05	3.35E-04	-3.43E-06	9.55E-04
Consommation d'eau	m3	5.09E-05	3.32E-04	1.42E-04	4.07E-04	7.57E-05	5.35E-03	5.60E-07	6.36E-03
Consommation d'énergie primaire	MJ primary	7.53E-02	3.54E-01	4.60E-01	2.73E-01	1.41E-01	4.67E+00	-9.85E-03	5.96E+00
Réchauffement climatique	kg CO2 eq	3.72E-03	2.34E-02	3.49E-02	1.58E-02	1.70E-03	4.95E-02	1.08E-03	1.30E-01
Acidification de l'air	kg SO2 eq	2.69E-05	1.14E-04	1.72E-04	4.19E-05	1.15E-05	3.18E-04	1.01E-06	6.86E-04
Déplétion de la couche d'ozone	kg CFC-11 eq	3.50E-10	1.23E-09	3.60E-10	1.44E-09	8.39E-11	2.49E-09	-1.13E-10	5.84E-09
Oxydation photochimique	kg C2H4 eq	2.12E-05	5.98E-05	7.82E-05	2.24E-05	5.52E-06	1.50E-04	5.55E-06	3.43E-04
Eutrophisation	kg PO4--- eq	2.24E-05	9.74E-06	1.36E-05	2.16E-05	1.09E-06	3.48E-05	7.50E-07	1.04E-04
Toxicité humaine	kg 1,4-DB eq	5.20E-03	9.65E-03	1.05E-02	4.52E-03	1.13E-03	4.77E-02	1.92E-04	7.89E-02
Ecotoxicité aquatique	kg 1,4-DB eq	1.20E-03	8.79E-04	1.97E-03	4.55E-04	1.20E-04	6.90E-03	-1.10E-05	1.15E-02
Ecotoxicité sédimentaire	kg 1,4-DB eq	2.99E-03	2.87E-03	3.78E-03	1.39E-03	2.71E-04	1.70E-02	-3.45E-06	2.83E-02
Ecotoxicité terrestre	kg 1,4-DB eq	6.91E-05	3.90E-05	8.85E-05	2.11E-05	8.19E-05	3.08E-03	2.96E-05	3.41E-03

		Résultats COTON 1UF							
	Unités	Culture et égrenage	Filature	Tissage	Ennoblement	Confection	Utilisation	Fin de vie	Total
Epuisement des ressources non renouvelables	kg Sb eq	3.49E-05	1.67E-04	2.83E-04	1.39E-04	1.51E-05	2.92E-04	-3.43E-06	9.28E-04
Consommation d'eau	m3	1.99E-02	1.01E-04	1.50E-04	4.29E-04	6.77E-05	4.86E-03	5.62E-07	2.55E-02
Consommation d'énergie primaire	MJ primary	7.66E-02	2.93E-01	4.84E-01	2.87E-01	1.28E-01	3.85E+00	-9.84E-03	5.11E+00
Réchauffement climatique	kg CO2 eq	8.03E-03	2.10E-02	3.68E-02	1.67E-02	1.59E-03	4.28E-02	1.08E-03	1.28E-01
Acidification de l'air	kg SO2 eq	4.98E-05	1.07E-04	1.81E-04	4.41E-05	1.07E-05	2.73E-04	1.02E-06	6.66E-04
Déplétion de la couche d'ozone	kg CFC-11 eq	4.65E-10	5.52E-10	3.79E-10	1.52E-09	7.97E-11	2.23E-09	-1.13E-10	5.11E-09
Oxydation photochimique	kg C2H4 eq	3.45E-05	5.92E-05	8.23E-05	2.36E-05	5.20E-06	1.31E-04	5.55E-06	3.41E-04
Eutrophisation	kg PO4--- eq	4.37E-05	8.26E-06	1.43E-05	2.28E-05	1.04E-06	3.18E-05	7.50E-07	1.23E-04
Toxicité humaine	kg 1,4-DB eq	6.92E-03	6.89E-03	1.11E-02	4.75E-03	1.02E-03	4.11E-02	1.92E-04	7.20E-02
Ecotoxicité aquatique	kg 1,4-DB eq	8.01E-02	6.10E-04	2.08E-03	4.79E-04	1.12E-04	6.36E-03	-1.10E-05	8.98E-02
Ecotoxicité sédimentaire	kg 1,4-DB eq	5.59E-02	2.38E-03	3.98E-03	1.46E-03	2.50E-04	1.57E-02	-3.43E-06	7.97E-02
Ecotoxicité terrestre	kg 1,4-DB eq	1.11E-04	3.50E-05	9.32E-05	2.22E-05	7.28E-05	2.52E-03	2.96E-05	2.89E-03

Ces résultats sont présentés graphiquement et commentés en détail dans les paragraphes suivants.

En fonction des indicateurs, on peut dire de manière globale que :

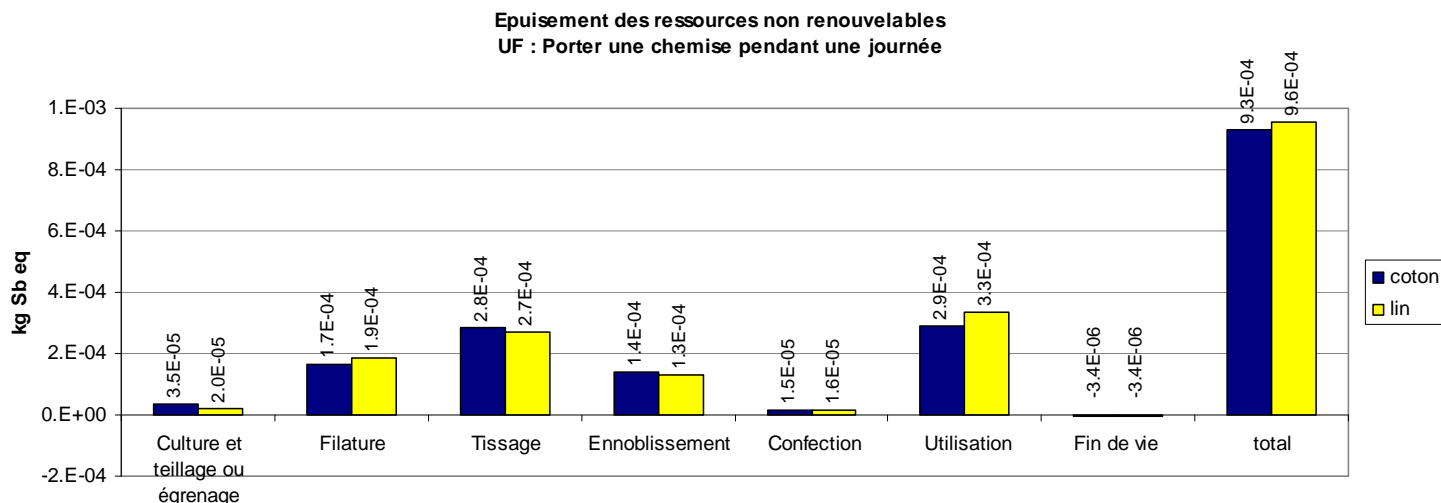
- les étapes d'utilisation et/ou de culture contribuent le plus à l'impact total,
- les étapes de filature, tissage et ennoblement ont une contribution moyenne,
- les étapes de confection et de fin de vie ont des impacts négligeables.

Remarque : On peut noter que pour certains indicateurs, l'étape de fin de vie présente un résultat chiffré négatif, c'est-à-dire un certain bénéfice environnemental.

En effet, un procédé d'élimination de déchet peut générer des flux sortants bénéfiques, tels que la production d'énergie dans une usine d'incinération. Un tel procédé d'élimination de déchet ne cause donc pas seulement des impacts (transport pour la collecte, centre de tri...) mais permet aussi d'éviter des impacts car il n'est plus nécessaire de produire l'énergie d'une manière classique. Ces impacts évités, qui sont équivalents aux impacts qui se seraient produits lors de la production d'énergie par la filière de référence, sont donc déduits du bilan.

■ Epuisement des ressources non renouvelables

Le graphe ci-dessous présente les résultats pour l'indicateur de déplétion des ressources non renouvelables.



L'étape d'utilisation contribue le plus à l'épuisement des ressources non renouvelables (35% de l'impact total pour le lin et 31% pour le coton).

Cela est dû à la **consommation de ressources fossiles** (charbon, gaz, fuel) **pour la production d'électricité** pour le repassage (62% de l'impact lié à l'utilisation pour le lin, 55% pour le coton) et pour le lavage (6% de l'impact lié à l'utilisation pour le lin, 9% pour le coton).

Cela est dû également à la **production des matières premières de la lessive** (30% de l'impact lié à l'utilisation pour le lin, 34% pour le coton).

Les **étapes de filature, de tissage et d'ennoblement** sont responsables de 61% de l'impact total pour le lin et 63% pour le coton. Cela est aussi dû en quasi totalité à la **consommation de ressources fossiles** (charbon, gaz, fuel) **pour la production d'électricité et de chaleur**.

L'étape de culture (et égrenage ou teillage) contribue à 2% de l'impact pour le lin et 4% pour le coton. Les impacts sont principalement liés à la **production d'engrais** (33% de l'impact lié à la culture pour le lin, 32% pour le coton) et à l'utilisation de machines agricoles et de diesel (61% de l'impact lié à l'utilisation pour le lin, 33% pour le coton).

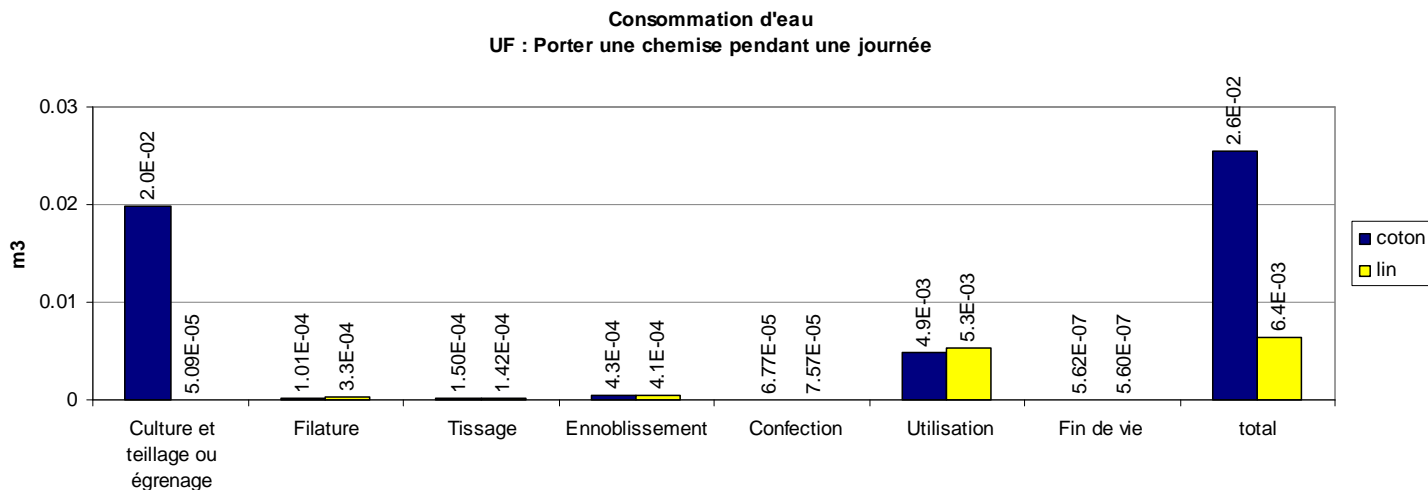
Les étapes de transport entre le lieu de culture, l'usine textile puis l'utilisateur (qui sont intégrées dans l'étape de filature et d'utilisation) sont responsables de moins de 2% de l'impact total aussi bien pour le lin que pour le coton.

Les différences entre le lin et le coton s'expliquent principalement par le fait que le lin consomme plus d'énergie (d'origine non renouvelable) que le coton sur son cycle de vie :

- étape de filature du lin comprenant une phase de lessivage, blanchiment puis filature au mouillé par rapport à une étape classique de filature pour le coton,
- temps de repassage plus important pour le lin que pour le coton.

■ Consommation d'eau

Le graphe ci-dessous présente les résultats pour la consommation d'eau.



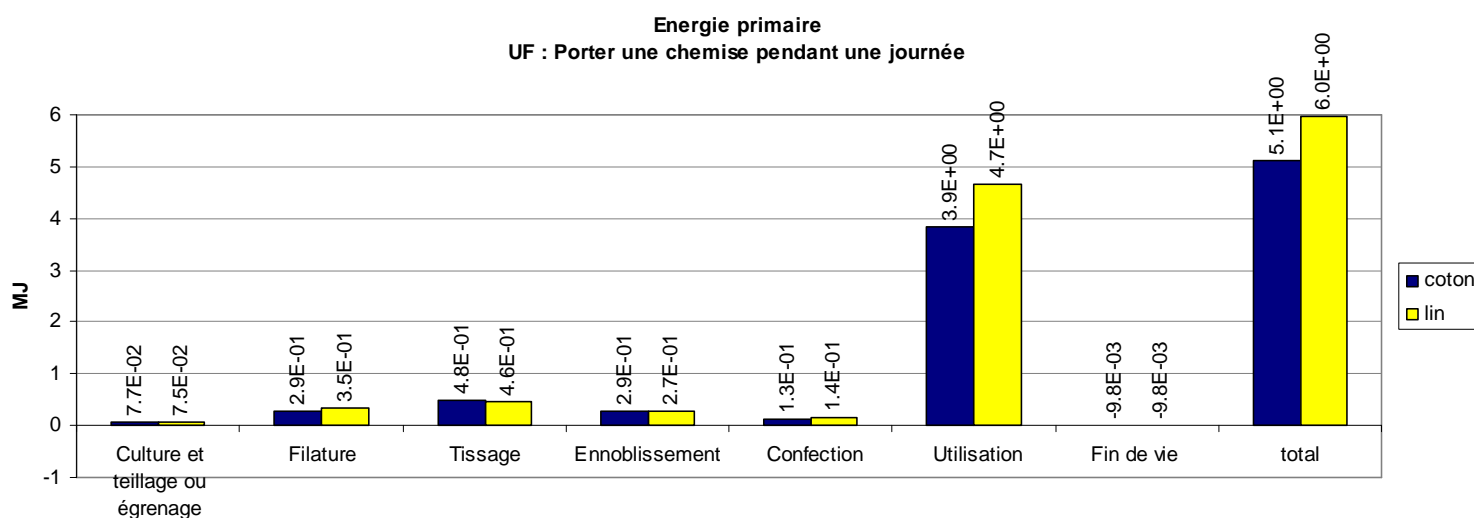
Dans le cas du coton, **l'étape de culture** est responsable de 78% de l'impact total, l'étape d'utilisation de 19% de l'impact total et l'étape d'ennoblement d'environ 2% de l'impact total.

Dans le cas du lin, **l'étape d'utilisation** est responsable de 84% de l'impact total et l'ennoblement et la filature (au mouillé) sont responsables de 12% de l'impact total.

La consommation d'eau, qui est bien plus importante pour le coton que pour le lin vient du fait que la culture du **coton** nécessite une **irrigation intensive** (environ 7100 l d'eau par kilogramme de fibre de coton produite) alors que pour le lin, les besoins en eau sont couverts par les précipitations dans les zones traditionnelles de culture du lin.

■ Consommation d'énergie primaire

Le graphe ci-dessous présente les résultats pour la consommation d'énergie primaire.



L'étape d'utilisation des chemises est responsable de 78% de l'impact total pour le lin et 75% pour le coton. Ceci est lié à la consommation d'électricité du fer à repasser (83% de l'impact lié à l'utilisation pour le lin et 79% pour le coton) et du lave-linge (11% de l'impact lié à l'utilisation pour le lin et 13% pour le coton).

On peut ainsi remarquer que pour une chemise l'étape de lavage a un bien moindre impact environnemental que l'étape de repassage. Le repassage est en effet 8 fois plus consommateur d'énergie que le lavage pour une chemise en lin et 6 fois pour une chemise en coton (temps de repassage plus long pour le lin).

Ceci s'explique par le fait qu'une chemise est légère par rapport à la masse de linge lavée à chaque cycle de lavage. On peut donc laver un grand nombre de chemises par machine, ce qui réduit considérablement la consommation d'énergie du lavage par chemise. Par contre, un temps de repassage relativement long est nécessaire pour chaque chemise, ce qui entraîne donc une forte consommation d'électricité.

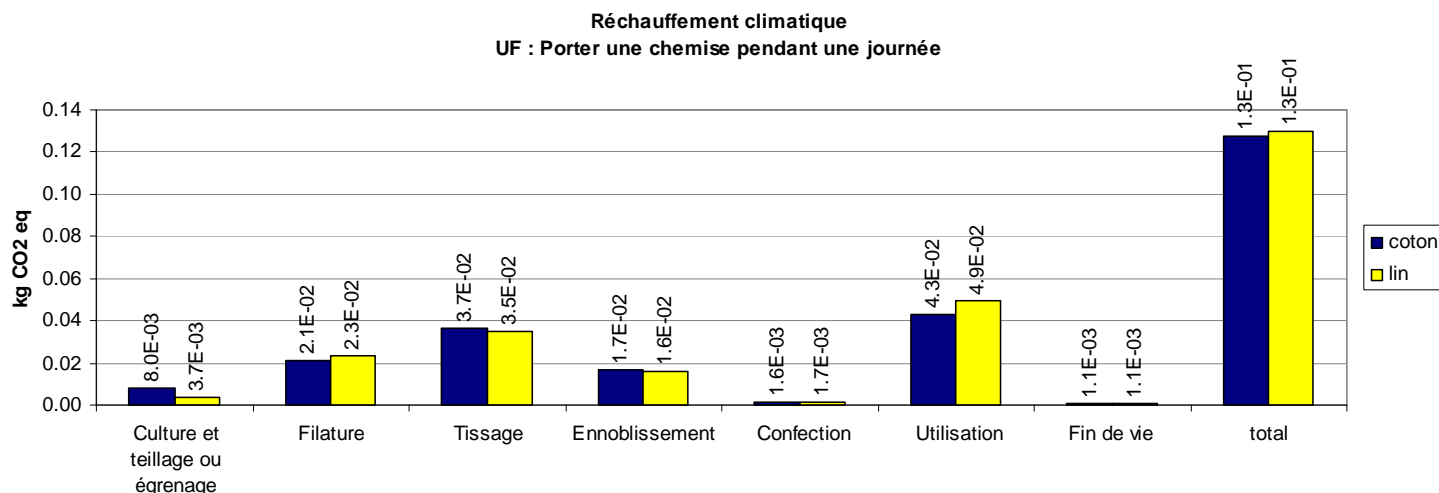
Les **étapes de filature, de tissage, d'ennoblissement** et de confection sont responsables de 20% des consommations d'énergie primaire pour le lin et 23% pour le coton. Cette énergie est consommée par la filière textile sous forme **d'électricité et de chaleur**.

L'étape de **culture** (et égrenage ou teillage) consomme moins de 2% de l'énergie primaire consommée sur l'ensemble du cycle de vie des chemises en coton ou en lin.

On peut également signaler que malgré les grandes distances parcourues par les matières premières et les chemises au cours de leur cycle de vie, la consommation de carburant lors des transports représente moins de 1% de l'énergie primaire totale consommée aussi bien pour le lin que pour le coton.

■ Réchauffement climatique

Le graphe ci-dessous présente les résultats pour l'indicateur de réchauffement climatique.



La répartition des émissions de gaz à effet de serre à chaque étape du cycle de vie suit un schéma similaire à celui de l'indicateur d'épuisement des ressources non renouvelables.

L'étape d'utilisation est responsable de 38% de l'impact potentiel de réchauffement climatique pour le lin et 33% pour le coton. Cela est dû aux émissions de dioxyde de carbone (CO₂) liées d'une part à la **consommation de ressources fossiles** (charbon, gaz, fuel) **pour la production d'électricité** pour le repassage et le lavage et d'autre part à la **production des matières premières de la lessive**.

La principale différence entre le lin et le coton en phase utilisation s'explique par le fait que le temps de repassage du lin est supérieur à celui du coton.

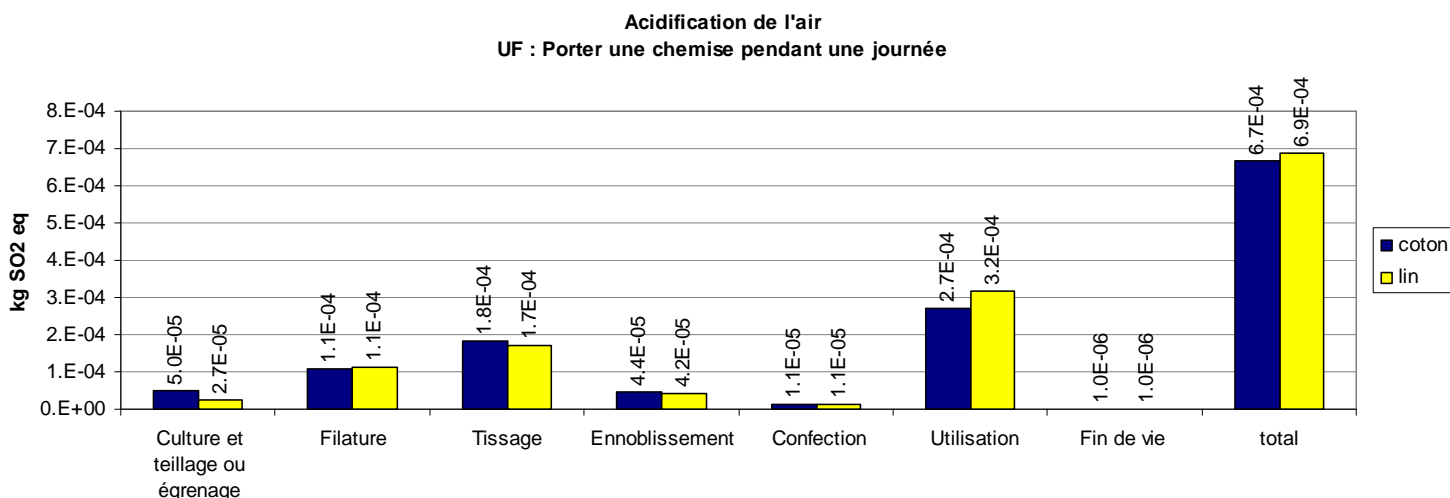
Les étapes **de filature, de tissage, d'ennoblissement et de confection** sont responsables de 58% de l'impact total pour le lin et 59% pour le coton. Cela est aussi dû en quasi totalité aux émissions de CO₂ liées à la **consommation de ressources fossiles** (charbon, gaz, fuel) **pour la production d'électricité et de chaleur**.

L'étape de **culture** est responsable de 3% de l'impact total pour le lin et de 6% pour le coton. Ceci est principalement dû aux émissions de CO₂ et de protoxyde d'azote (N₂O) lors de la production des engrais, aux émissions de CO₂ lors de l'utilisation de machines agricoles et aux émissions de protoxyde d'azote dans le champs liés à l'épandage d'engrais. La production et l'usage d'engrais pour la culture du lin rejette moins de gaz à effet de serre que pour la culture du coton.

Les étapes de transport entre le lieu de culture, l'usine textile puis l'utilisateur sont responsables d'environ 2% de l'impact total aussi bien pour le lin que pour le coton.

■ Acidification de l'air

Le graphe ci-dessous présente les résultats pour l'indicateur d'acidification de l'air.



L'étape d'**utilisation** contribue le plus à l'acidification de l'air (46% de l'impact total pour le lin et 41% pour le coton). Cela est dû principalement aux **émissions de dioxyde de soufre (SO₂)** dans l'air lors de la **production d'électricité en France** pour le repassage (67% de l'impact lié à l'utilisation pour le lin, 62% pour le coton) et pour le lavage (9% de l'impact lié à l'utilisation pour le lin, 10% pour le coton).

Cela est dû également aux émissions d'oxydes de soufre lors de la **production des matières premières de la lessive** (20% de l'impact lié à l'utilisation pour le lin, 23% pour le coton).

Les **étapes de filature, de tissage, d'ennoblissement et de confection** sont responsables de 50% de l'impact total pour le lin et 51% pour le coton. Cela est dû en quasi totalité aux **émissions de SO₂ et d'oxydes d'azote (NOx)** lors de la **production d'électricité en Chine**.

L'étape de **culture** est responsable de 4% de l'impact total pour le lin et de 7% pour le coton. Ceci est principalement lié aux émissions d'ammoniac (NH₃), de CO₂ et de NOx lors de la production d'engrais.

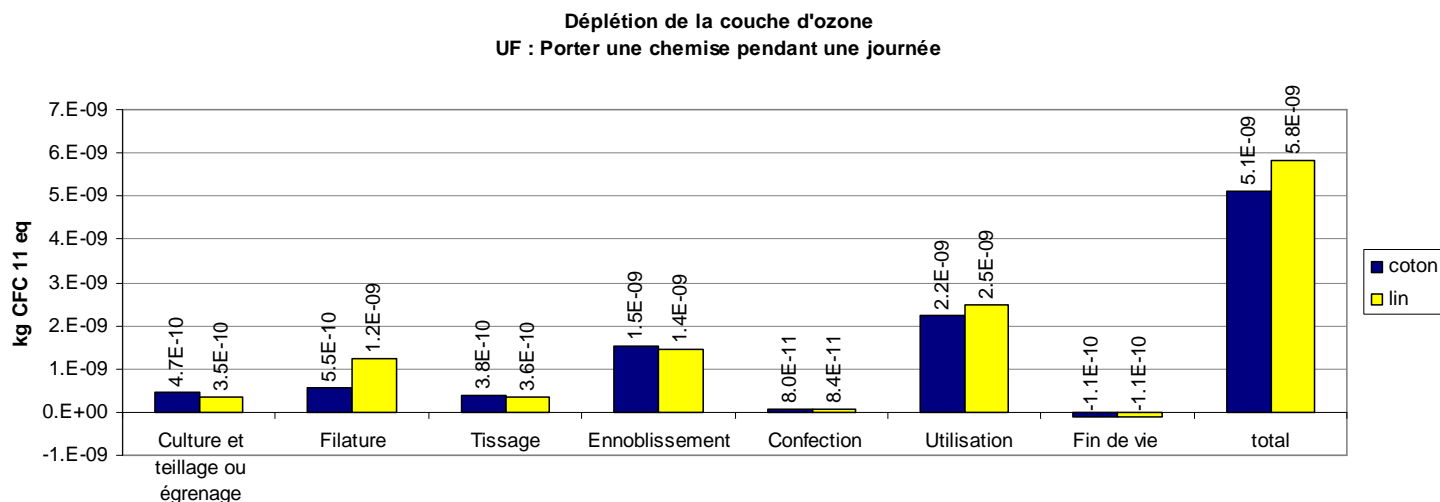
Les étapes de **transport** entre le lieu de culture, l'usine textile puis l'utilisateur sont responsables de 6% de l'impact total pour le lin et de 3,5% pour le coton.

Les principales différences entre le lin et le coton s'expliquent par les faits suivants :

- la chemise en lin consomme globalement plus d'énergie que la chemise en coton sur son cycle de vie (repassage, filature) et émet donc plus de gaz acidifiants,
- la production d'engrais pour la culture du lin rejette moins de gaz acidifiants que pour la culture du coton.

■ Déplétion de la couche d'ozone

Le graphe ci-dessous présente les résultats pour l'indicateur de déplétion de la couche d'ozone.



L'étape d'**utilisation** contribue le plus à la déplétion de la couche d'ozone (43% de l'impact total pour le lin et pour le coton). Cela est dû principalement aux **émissions de halon (Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211 et Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301)** liées à la **production d'électricité** en France pour le repassage (50% de l'impact lié à l'utilisation pour le lin et 43% pour le coton) et pour le lavage (6% de l'impact lié à l'utilisation pour le lin, 7% pour le coton).

Cela est dû également à l'émission de halon lors de la **production des matières premières de la lessive** (40% de l'impact lié à l'utilisation pour le lin, 45% pour le coton).

Les **étapes de filature, de tissage, d'ennoblissement et de confection** sont responsables de 53% de l'impact total pour le lin et 49% pour le coton. Cela est lié aux **émissions de halon** lors de la **combustion du gaz** ou la **production d'électricité** en Chine.

L'étape de **culture** est responsable de 6% de l'impact total pour le lin et de 9% pour le coton. Ceci est principalement lié aux émissions de halon liées à la production d'engrais et à l'utilisation de carburant.

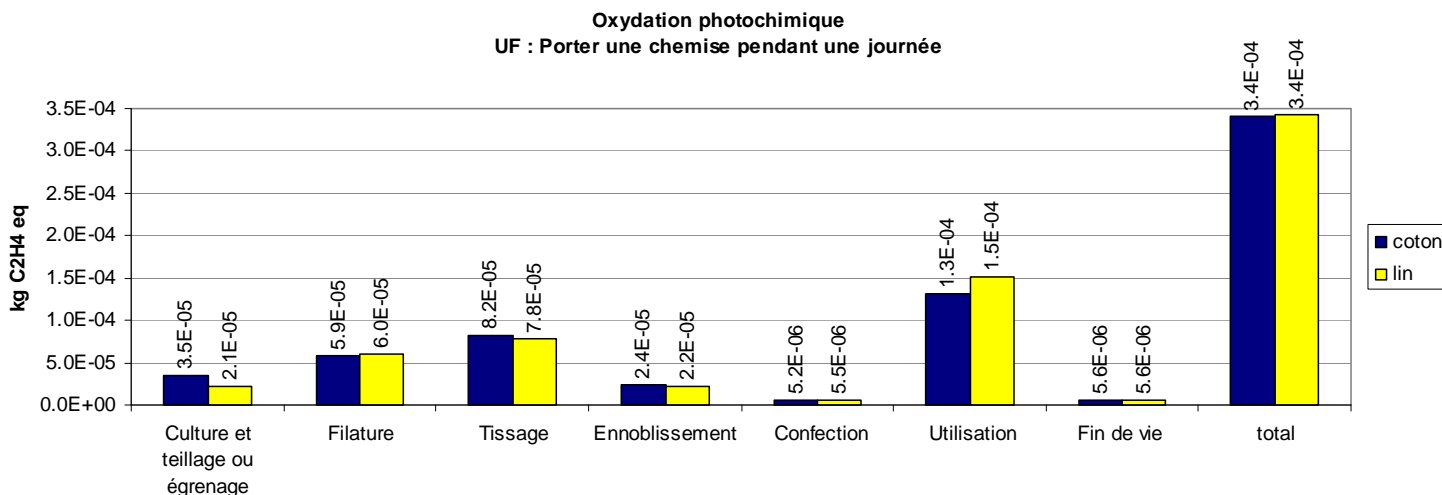
En fait, le **Halon** est utilisé dans le matériel anti-incendie des **plateformes pétrolières** et ceci se retrouve de manière indirecte dans la consommation de ressources fossiles et donc dans la consommation d'électricité. (source : *Life Cycle Data for Norwegian Oil and Gas, K. Bakkane, 1994*).

Les principales différences entre le lin et le coton s'expliquent par les faits suivants :

- l'étape de filature du lin, qui comprend une première étape de lessivage et blanchiment puis une étape de filature au mouillé, nécessite plus d'énergie et entraîne donc indirectement plus d'émissions de halons que la filature du coton. En particulier, la filature du coton consomme du gaz (en plus de l'électricité) et 1kWh de gaz à un pouvoir de déplétion de la couche d'ozone environ trois fois plus important qu'1kWh d'électricité (en Chine).
- la production d'engrais et la consommation de carburants pour la culture du lin entraînent moins de rejets de halon que pour la culture du coton.

■ Oxydation photochimique de l'air

Le graphe ci-dessous présente les résultats pour l'indicateur d'oxydation photochimique :



L'étape d'**utilisation** contribue le plus à l'oxydation photochimique de l'air (44% de l'impact total pour le lin et 38% pour le coton).

Cela est dû principalement aux **émissions d'oxydes d'azote (NOx)** dans l'air lors de la production d'électricité consommée pour le repassage (62% de l'impact lié à l'utilisation pour le lin, 56% pour le coton) et le lavage (8% de l'impact lié à l'utilisation pour le lin, 9% pour le coton) et lors de la production des matières premières de la lessive, notamment des zéolites (24% de l'impact lié à l'utilisation pour le lin, 28% pour le coton).

La principale différence entre le lin et le coton en phase utilisation s'explique par le fait que le temps de repassage du lin est supérieur à celui du coton.

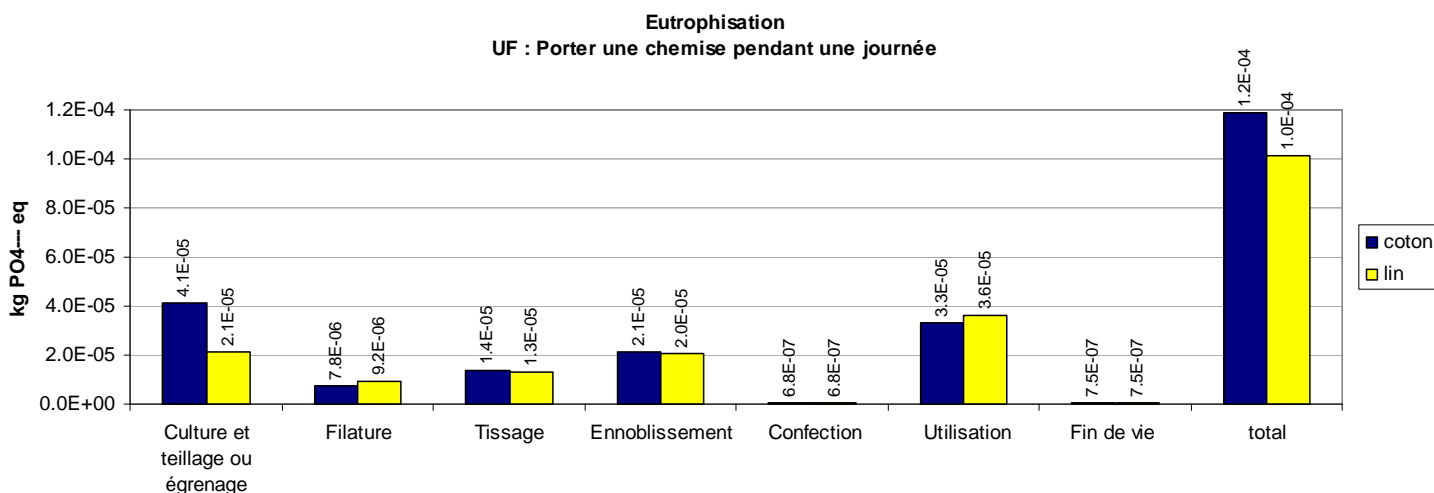
Les **étapes de filature, de tissage, d'ennoblement et de confection** sont responsables de 48% de l'impact total pour le lin et 49% pour le coton. Cela est aussi principalement dû aux émissions de NOx liées à la production d'électricité.

L'étape de **culture** est responsable de 6% de l'impact total pour le lin et de 10% pour le coton. Ceci est principalement dû aux émissions de NOx liées à la production d'engrais et à l'utilisation de carburant. La production d'engrais et la consommation de carburants pour la culture du lin entraînent moins de rejets de NOx que pour la culture du coton.

Les étapes de transport entre le lieu de culture, l'usine textile puis l'utilisateur sont responsables de 8% de l'impact total pour le lin et de 7% pour le coton.

■ Eutrophisation de l'eau

Le graphe ci-dessous présente les résultats pour l'indicateur d'eutrophisation des eaux.



L'étape d'**utilisation** est responsable de 33% de l'impact potentiel d'eutrophisation pour le lin et 26% pour le coton. Cela est dû principalement à l'étape de **lavage** (51% de l'impact lié à l'utilisation pour le lin, 56% pour le coton) car les effluents aqueux rejetés après utilisation de **lessive** présentent une **DCO (Demande Chimique en Oxygène)** importante. Cela est également dû aux productions d'électricité consommées lors du repassage et du lavage qui entraînent des **émissions d'oxyde d'azote** dans l'air puis indirectement un phénomène d'eutrophisation des eaux.

L'étape de **culture** est responsable de 22% de l'impact total pour le lin et 36% pour le coton. Cela est dû principalement à la **lixiviation des engrais** utilisés qui entraînent des émissions de **nitrate et phosphate** dans les milieux naturels (46% de l'impact lié à la culture pour le lin, 69% pour le coton) et à la production d'engrais qui entraîne en particulier des émissions de phosphate dans l'eau (46% de l'impact lié à la culture pour le lin, 16% pour le coton).

L'étape **d'ennoblement** est responsable de 21% de l'impact total pour le lin et 19% pour le coton. Aussi bien pour le lin que pour le coton, cela est dû à 85% aux rejets d'eaux usées lors des phases de désencollage et de blanchiment (forte Demande Chimique en Oxygène et importants rejets azotés).

L'impact lors des phases de **filature et tissage** est essentiellement dû aux productions d'électricité qui entraînent des émissions d'oxyde d'azote.

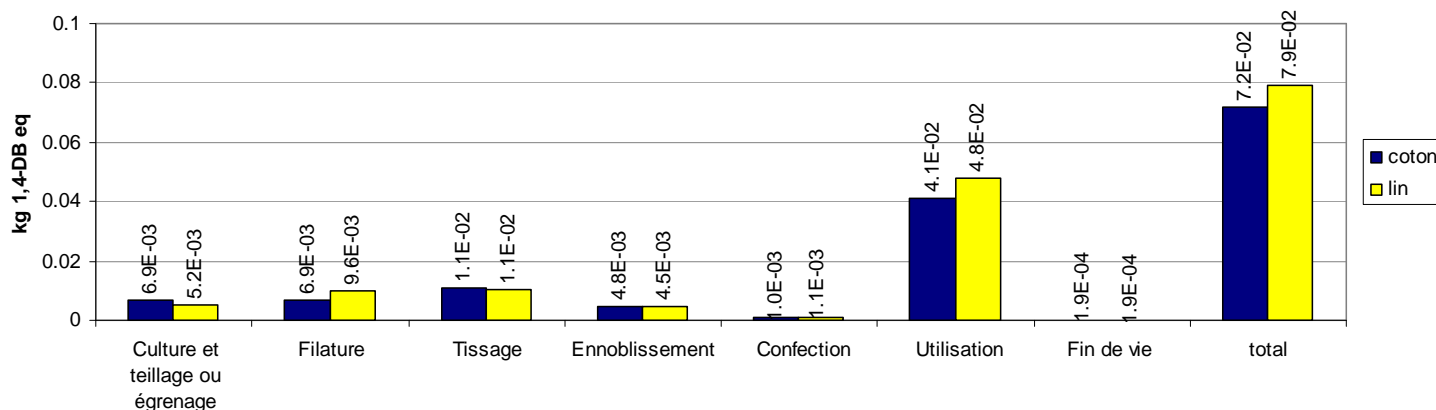
Les principales différences entre le lin et le coton s'expliquent par les faits suivants :

- les consommations d'énergie et donc les émissions d'oxydes d'azote, qui ont un impact sur l'eutrophisation, sont plus importantes pour le lin que pour le coton (filature du lin au mouillé nécessitant plus d'énergie que la filature du coton et temps de repassage plus important pour le lin que pour le coton),
- la lixiviation des engrais entraîne plus de rejets de nitrates et de phosphates dans la culture du coton que dans la culture du lin.

■ Toxicité humaine

Le graphe ci-dessous présente les résultats pour l'indicateur de toxicité humaine :

Toxicité humaine
UF : Porter une chemise pendant une journée



L'étape d'**utilisation** est responsable de 60% de l'impact total de toxicité humaine pour le lin et de 57% pour le coton.

Ceci est principalement lié aux consommations d'**électricité** pour le repassage (66% de l'impact lié à l'utilisation pour le lin, 60% pour le coton) et le lavage (8% de l'impact lié à l'utilisation pour le lin, 10% pour le coton). Le risque toxique provient des **émissions d'arsenic et de dioxines** dans l'air lors de la production de l'électricité.

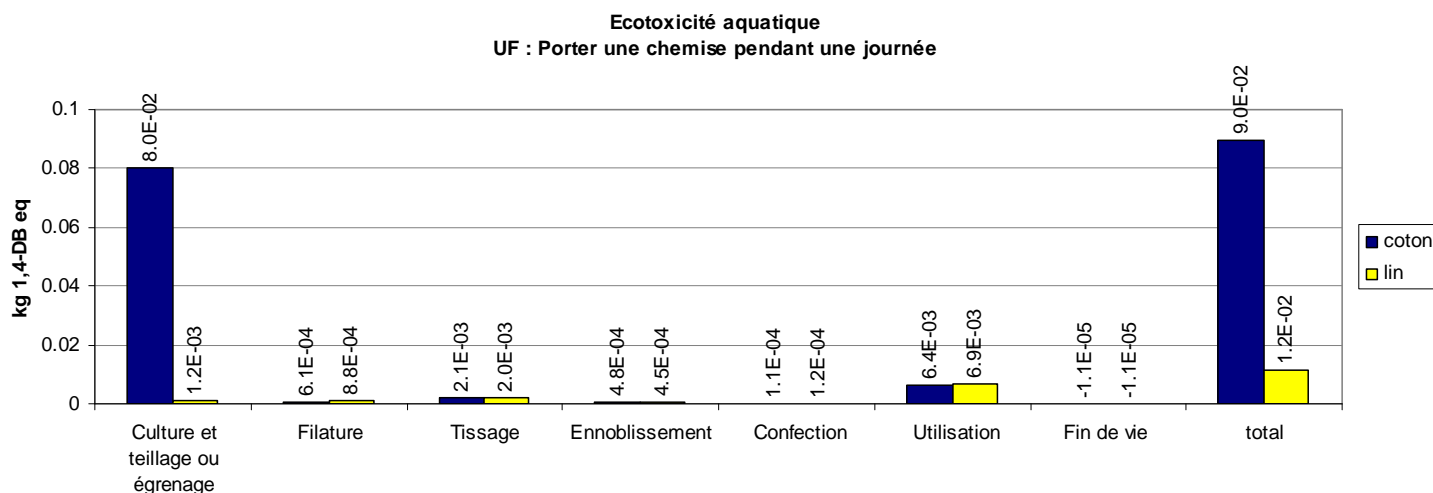
La principale différence entre le lin et le coton en phase utilisation s'explique par le fait que le temps de repassage du lin est supérieur à celui du coton.

Ceci est également dû à l'utilisation de **lessive** qui contribue à hauteur de 24% de l'impact lié à l'utilisation pour le lin et 28% pour le coton. Les **émissions de sodium dichromate** dans l'air lors de la production du sodium percarbonate qui est un constituant majeur de la lessive (18% de la formulation) sont principalement responsables de cet impact. Les **émissions de dioxines** dans l'air lors de la production des zéolites jouent aussi un rôle significatif.

Remarque : Etant donné que l'indicateur de toxicité humaine est un indicateur d'impact peu robuste avec des marges d'incertitude assez grandes, l'écart entre le lin et le coton n'est pas significatif.

■ Ecotoxicité aquatique

Le graphe ci-dessous présente les résultats pour l'indicateur d'écotoxicité aquatique.



Dans le cas du coton, **l'étape de culture** est responsable de 89% de l'impact sur l'écotoxicité aquatique et présente des résultats environ 65 fois plus importants que l'étape de culture du lin.

A l'étape de culture, les impacts sur l'écotoxicité aquatique sont principalement dus à aux émissions de pesticides dans l'eau, l'air et le sol.

La différence entre le lin et le coton s'explique par le fait que la production de coton nécessite des quantités plus importantes de pesticides que la production de lin et fait appel à des substances particulièrement toxiques telles que les défoliants qui ne sont pas utilisés lors de la production du lin. En effet, on rappelle que :

- d'une part la culture du coton utilise environ deux fois plus de pesticides que la culture du lin pour une même surface (utilisation de 5020 g/ha de pesticides, dont 1370 g/ha de défoliant pour le coton et 2395 g/ha de pesticides pour le lin)
- d'autre part la culture du coton a des rendements inférieurs à la culture du lin (production de 750 kg/ha de fibre de coton et production de 6550 kg/ha de lin roui qui donneront 1550 kg/ha de lin teillé puis environ 1000 kg/ha de lin peigné).

Pour le lin et pour le coton, **l'étape d'utilisation** contribue aussi à l'impact sur l'écotoxicité aquatique (60% de l'impact total pour le lin et 7% pour le coton).

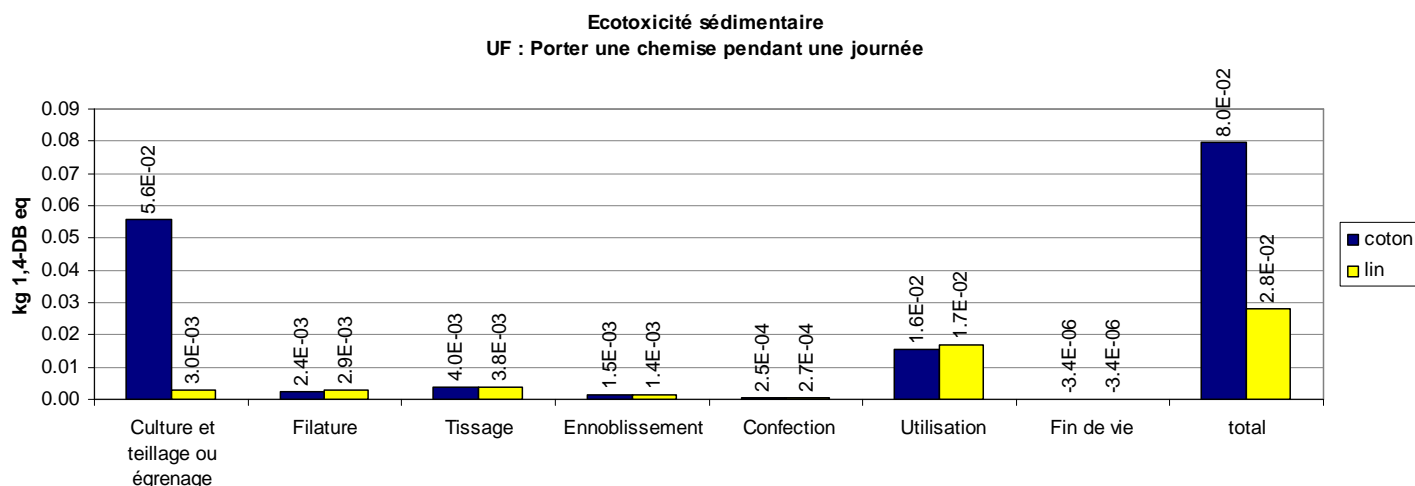
Cela est lié principalement à l'utilisation de lessive (57% de l'impact lié à l'utilisation pour le lin et 62% pour le coton). L'impact sur l'écotoxicité aquatique provient alors essentiellement des émissions de vanadium dans l'eau lors de la production des zéolites de la lessive.

Cela est lié également aux consommations d'électricité pour le repassage et le lavage (42% de l'impact lié à l'utilisation pour le lin et 37% pour le coton). L'impact sur l'écotoxicité aquatique provient alors essentiellement des émissions de nickel dans l'eau lors de la production d'électricité.

Remarque : Même si l'indicateur d'écotoxicité aquatique est un indicateur d'impact peu robuste avec des marges d'incertitude assez grandes, l'écart entre le lin et le coton est suffisamment important pour être significatif.

■ Ecotoxicité sédimentaire

Le graphe ci-dessous présente les résultats pour l'indicateur d'écotoxicité sédimentaire (eaux douces) :



Les résultats pour l'écotoxicité sédimentaire sont assez similaires aux résultats sur l'écotoxicité aquatique.

L'étape de **culture** représente 70% de l'impact total pour le coton et seulement 10% de l'impact total pour le lin. En valeur absolue, l'étape de culture du coton présente un impact environ 19 fois supérieur à celui de la culture du lin.

Comme pour l'écotoxicité aquatique, cet impact est essentiellement lié aux émissions de pesticides dans l'eau, l'air et le sol.

La différence entre le lin et le coton s'explique par le fait que la production de coton nécessite des quantités plus importantes de pesticides que la production de lin et fait appel à des substances particulièrement toxiques telles que les défoliants qui ne sont pas utilisés lors de la production du lin.

Pour le lin et pour le coton, **l'étape d'utilisation** contribue aussi à l'impact sur l'écotoxicité aquatique (60% de l'impact total pour le lin et 20% pour le coton).

Cela est lié principalement à l'utilisation de lessive (59% de l'impact lié à l'utilisation pour le lin et 64% pour le coton). L'impact sur l'écotoxicité aquatique provient alors essentiellement des émissions de vanadium dans l'eau lors de la production des zéolites de la lessive.

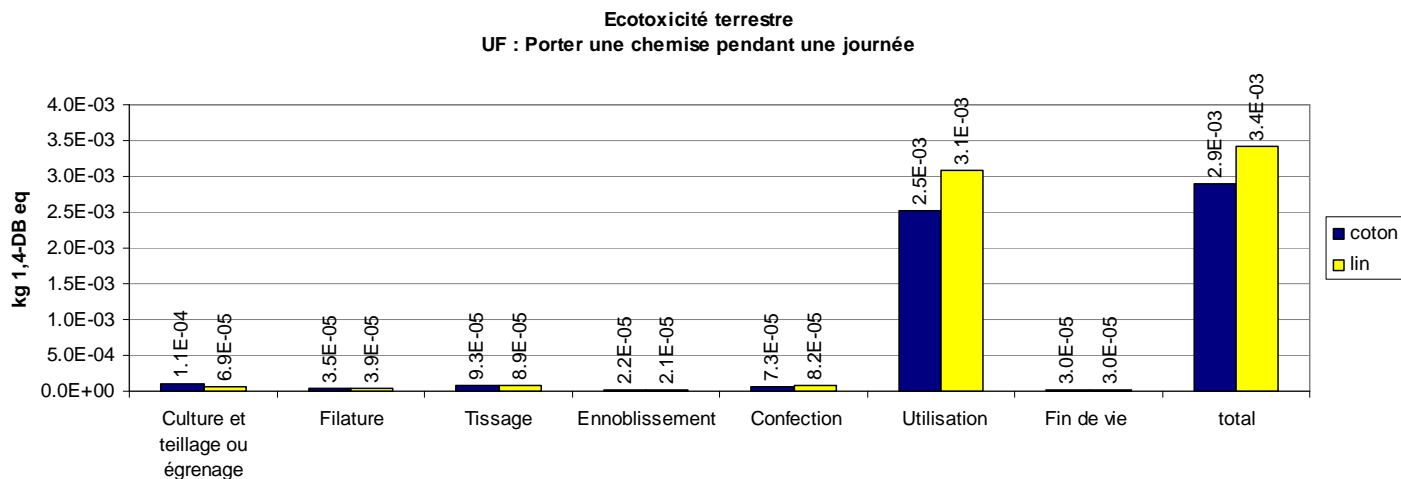
Cela est lié également aux consommations d'électricité pour le repassage et le lavage (41% de l'impact lié à l'utilisation pour le lin et 36% pour le coton). L'impact sur l'écotoxicité aquatique provient alors essentiellement des émissions de nickel dans l'eau et des émissions de dioxines dans l'air lors de la production d'électricité.

A l'étape d'utilisation, la différence entre lin et coton s'explique par le fait que les consommations électriques et donc les émissions de nickel et de dioxines sont plus importantes pour le lin que pour le coton (temps de repassage plus important pour le lin que pour le coton).

Remarque : Même si l'indicateur d'écotoxicité aquatique est un indicateur d'impact peu robuste avec des marges d'incertitude assez grandes, l'écart entre le lin et le coton est suffisamment important pour être significatif.

■ Ecotoxicité terrestre

Le graphe ci-dessous présente les résultats pour l'indicateur d'écotoxicité terrestre :



L'étape d'**utilisation** est responsable de 90% de l'impact d'écotoxicité terrestre potentiel pour le lin et 87% pour le coton. Ceci est lié aux consommations d'électricité lors du repassage et du lavage.

Cela est dû en quasi totalité (à environ 95%) aux émissions de chrome VI dans les sols lors de la **production d'électricité** en France

La différence de résultat entre le lin et le coton vient du fait que les consommations électriques en France et donc les émissions de chrome VI dans le sol sont plus importantes pour le lin que pour le coton (temps de repassage plus important pour le lin que pour le coton).

6.3. RESULTATS NORMES EN EQUIVALENT HABITANT SUR L'ENSEMBLE DU CYCLE DE VIE

La démarche de normation permet de juger de l'importance des impacts environnementaux associés à la chemise en lin ou en coton en les comparant avec les impacts générés par un « équivalent habitant » pendant un an. Cela permet ainsi de hiérarchiser les enjeux environnementaux.

Les tableaux ci-dessous présentent les résultats de l'ACV, en valeurs absolues puis normés en équivalents habitants. La normation en équivalent habitant a été effectuée pour 100 000 unités fonctionnelles de façon à donner des chiffres significatifs par rapport aux impacts d'un équivalent habitant par an.

	Résultats ACV LIN 1 UF	Valeurs de normation	Bilan pour 100 000 UF exprimé en eq.
Epuisement des ressources non renouvelables	9.55E-04 kg Sb eq	56	1.7
Consommation d'eau	6.36E-03 m3	59	11
Consommation d'énergie primaire	5.96E+00 MJ primary	160000	3.7
Réchauffement climatique	1.30E-01 kg CO2 eq	9250	1.4
Acidification de l'air	6.86E-04 kg SO2 eq	45	1.5
Déplétion de la couche d'ozone	5.84E-09 kg CFC-11 eq	0.003	0.19
Oxydation photochimique	3.43E-04 kg C2H4 eq	15	2.3
Eutrophisation	1.04E-04 kg PO4--- eq	11.5	0.90
Toxicité humaine	7.89E-02 kg 1,4-DB eq	2650	3.0
Ecotoxicité aquatique	1.15E-02 kg 1,4-DB eq	180	6.4
Ecotoxicité sédimentaire	2.83E-02 kg 1,4-DB eq	415	6.8
Ecotoxicité terrestre	3.41E-03 kg 1,4-DB eq	68	5.0

	Résultats ACV COTON 1 UF	Valeurs de normation	Bilan pour 10000 UF exprimé en eq. Hab.
Epuisement des ressources non renouvelables	9.28E-04 kg Sb eq	56	1.7
Consommation d'eau	2.55E-02 m3	59	43
Consommation d'énergie primaire	5.11E+00 MJ primary	160000	3.2
Réchauffement climatique	1.28E-01 kg CO2 eq	9250	1.4
Acidification de l'air	6.66E-04 kg SO2 eq	45	1.5
Déplétion de la couche d'ozone	5.11E-09 kg CFC-11 eq	0.003	0.17
Oxydation photochimique	3.41E-04 kg C2H4 eq	15	2.3
Eutrophisation	1.23E-04 kg PO4--- eq	11.5	1.1
Toxicité humaine	7.20E-02 kg 1,4-DB eq	2650	2.7
Ecotoxicité aquatique	8.98E-02 kg 1,4-DB eq	180	50
Ecotoxicité sédimentaire	7.97E-02 kg 1,4-DB eq	415	19
Ecotoxicité terrestre	2.89E-03 kg 1,4-DB eq	68	4.2

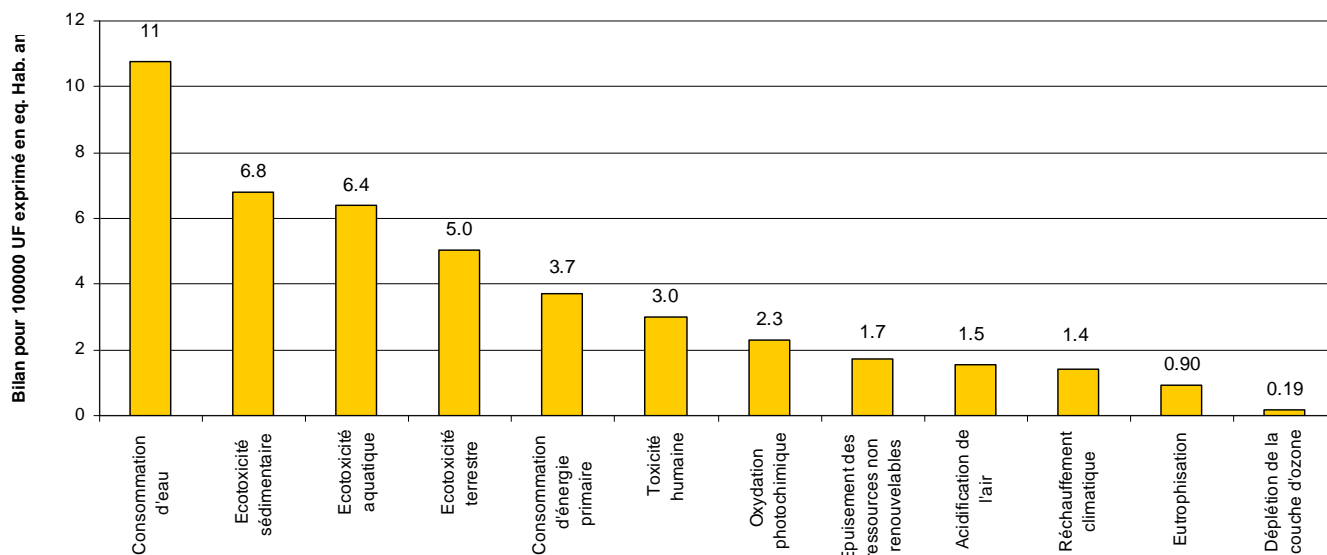
A titre d'illustration, on peut voir par exemple que sur l'ensemble du cycle de vie, 100 000 unités fonctionnelles « Porter une chemise pendant une journée » entraînent une consommation d'énergie égale à celle de :

- 3,7 équivalents habitants par an pour la chemise en lin,
- 3,2 équivalents habitants par an pour la chemise en coton.

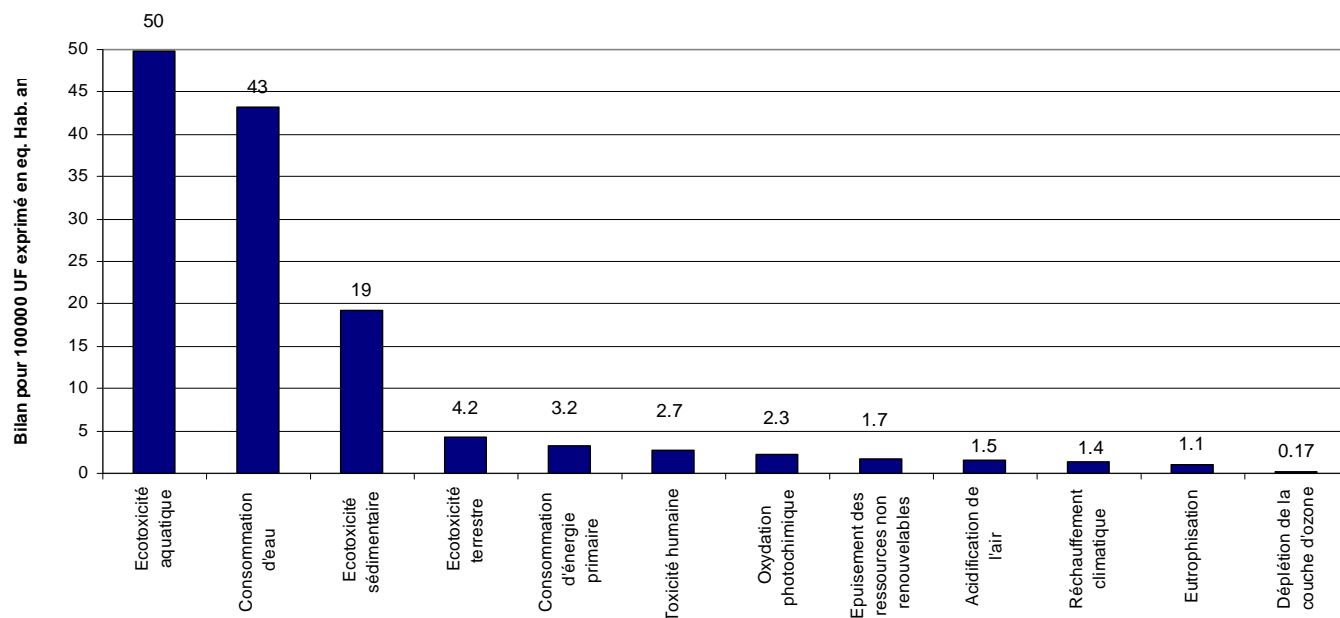
Remarque : Il faut noter que les valeurs de normation concernant la toxicité et l'éco-toxicité présentent une grande marge d'incertitude. Les valeurs concernant l'écotoxicité aquatique sont en particulier controversées. La démarche de normation au niveau de ses indicateurs présente donc une fiabilité limitée. Elle permet simplement de donner un ordre de grandeur sur l'impact en équivalent habitant.

Les graphes ci-dessous présentent la hiérarchisation des enjeux associés au cycle de vie des chemises en lin et en coton.

LIN : Resultats en eq. Hab. an pour 100000 UF
UF : "porter une chemise pendant une journée"



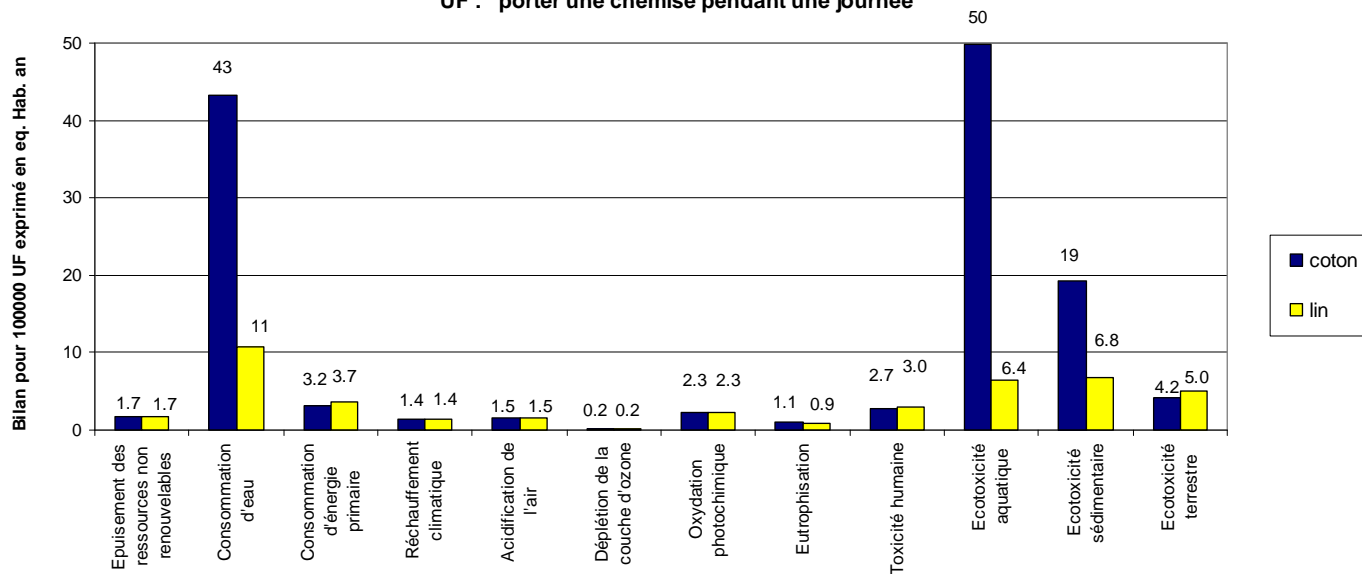
COTON : Resultats en eq. Hab. an pour 100000 UF
UF : "porter une chemise pendant une journée"



En comparaison avec les impacts générés en moyenne par un habitant européen, ces résultats montrent que les impacts les plus significatifs associés au cycle de vie d'une chemise sont :

- pour le lin : la consommation d'eau, l'écotoxicité sédimentaire, l'écotoxicité aquatique, puis l'écotoxicité terrestre.
- pour le coton : l'écotoxicité aquatique, la consommation d'eau puis l'écotoxicité sédimentaire.

**Resultats en eq. Hab. an pour 100000 UF
UF : "porter une chemise pendant une journée"**



Au niveau de ces enjeux les plus significatifs, les impacts associés à la chemise en coton sont plus importants que ceux de la chemise en lin. Ceci signifie que pour ces indicateurs, l'impact de la chemise en coton équivaut à celui d'un bien plus grand nombre d'habitants que pour la chemise en lin.

Ces impacts sont notamment liés à l'irrigation et à un usage important de pesticides lors de la culture du coton.

6.4. CONCLUSION SUR LE SCENARIO DE REFERENCE

Le tableau suivant résume qualitativement les résultats obtenus pour l'analyse comparative des produits chemise en lin et chemise en coton du scénario de référence.

Thème	Indicateur d'impact potentiel	Résultats LIN 1 UF	Résultats COTON 1 UF	Indice qualitatif de robustesse de l'indicateur
Consommation de ressources	Epuisement des ressources non renouvelables	=	=	+
	Consommation d'eau	++	--	++
Bilan énergétique	Énergie primaire	-	+	++
Bilan effet de serre	Potentiel de réchauffement climatique	=	=	++
Pollution de l'air	Acidification de l'air	=	=	+
	Oxydation photochimique	=	=	+
	Déplétion de la couche d'ozone	-	+	+
Pollution de l'eau	Eutrophisation	+	-	+
Risque toxique	Toxicité humaine	-	+	?
	Écotoxicité aquatique	++	--	?
	Écotoxicité sédimentaire	++	--	?
	Écotoxicité terrestre	-	+	?

=	écart < 5%
+ OU -	5% < écart < 100%
++ OU --	écart > 100%

	Positionnement équivalent
	Positionnement favorable
	Positionnement défavorable

++	Indicateur très robuste
+	Indicateur robuste
?	Indicateur peu robuste

- Pour les indicateurs de **consommation d'eau, d'écotoxicité aquatique, d'écotoxicité sédimentaire et d'eutrophisation** (4 indicateurs sur 12), les impacts environnementaux générés par le cycle de vie de la chemise en lin de référence sont bien moindres que ceux générés par la chemise en coton de référence. Ces résultats découlent directement de **l'étape de culture** de ces fibres, la culture du coton nécessitant notamment une irrigation intensive et une utilisation plus importante de pesticides que la culture du lin. Et même si les indicateurs d'écotoxicité aquatique et d'écotoxicité sédimentaire sont des indicateurs d'impact peu robustes avec des marges d'incertitude assez grandes, l'écart entre le lin et le coton est suffisamment important pour être significatif.
- Pour les indicateurs de **consommation d'énergie primaire, de déplétion de la couche d'ozone, de toxicité humaine et d'écotoxicité terrestre** (4 indicateurs sur 12), les écarts sont plus réduits et montrent un certain bénéfice environnemental en faveur du coton. Ces écarts proviennent principalement de **l'étape d'utilisation** et dans une moindre mesure de **l'étape de filature**. Ceci s'explique principalement par le fait les consommations énergétiques sont plus importantes pour la fabrication puis l'entretien de la chemise en lin que pour le coton (filature du lin au mouillé nécessitant plus d'énergie que la filature du coton et temps de repassage plus important pour le lin que pour le coton).
- Pour les indicateurs **d'épuisement des ressources non renouvelables, de réchauffement climatique, d'acidification de l'air et d'oxydation photochimique** (4 indicateurs sur 12), les résultats du lin et du coton sont très proches.

En comparaison avec les impacts générés en moyenne par un habitant européen, les **impacts les plus significatifs** associés au cycle de vie d'une chemise sont la **consommation d'eau, l'écotoxicité aquatique et l'écotoxicité sédimentaire**. Au niveau de ces enjeux les plus significatifs, les impacts associés à la chemise en coton sont plus importants que ceux de la chemise en lin.

7. Analyses de sensibilité par rapport au scénario de référence

Afin de mesurer l'influence de différentes hypothèses du scénario de référence, plusieurs analyses de sensibilité ont été effectuées.

Elles concernent :

- l'énergie consommée lors de la filature du coton,
- le lieu de production du lin et du coton,
- la durée de vie et le scénario de fin de vie des chemises,
- le nombre d'utilisation de la chemise avant chaque lavage,
- le temps de repassage des chemises.

Les trois dernières analyses de sensibilité sont liées au comportement des utilisateurs et permettent d'évaluer l'influence de leurs modes de vie sur les résultats de l'ACV.

7.1. ANALYSE DE L'INFLUENCE DE L'ENERGIE CONSOMMEE POUR LA FILATURE DU COTON

Les consommations d'électricité données dans la littérature pour la filature du coton sont très variables. Une valeur moyenne de 6,15 kWh par kilogramme de coton brut a été retenue pour le scénario de référence.

Afin d'évaluer l'influence de ce facteur au niveau des résultats de l'analyse comparative avec le lin, une analyse de sensibilité est effectuée en fonction des données présentées ci-dessous.

Filature	Données pour le filage de 1kg de coton brut		
Electricité	Min : 2,3 kWh/kg (1)	Moy : 6,15 kWh/kg	Max : 10 kWh/kg (2)

Sources: Aide à la prise en compte de l'environnement dans la conception des articles textiles, IFTH et BIO IS, 2005 (1)

Report 4 : Textile Mass Balance and Product Life Cycles, British Textile Technology Group, 1999 (2)

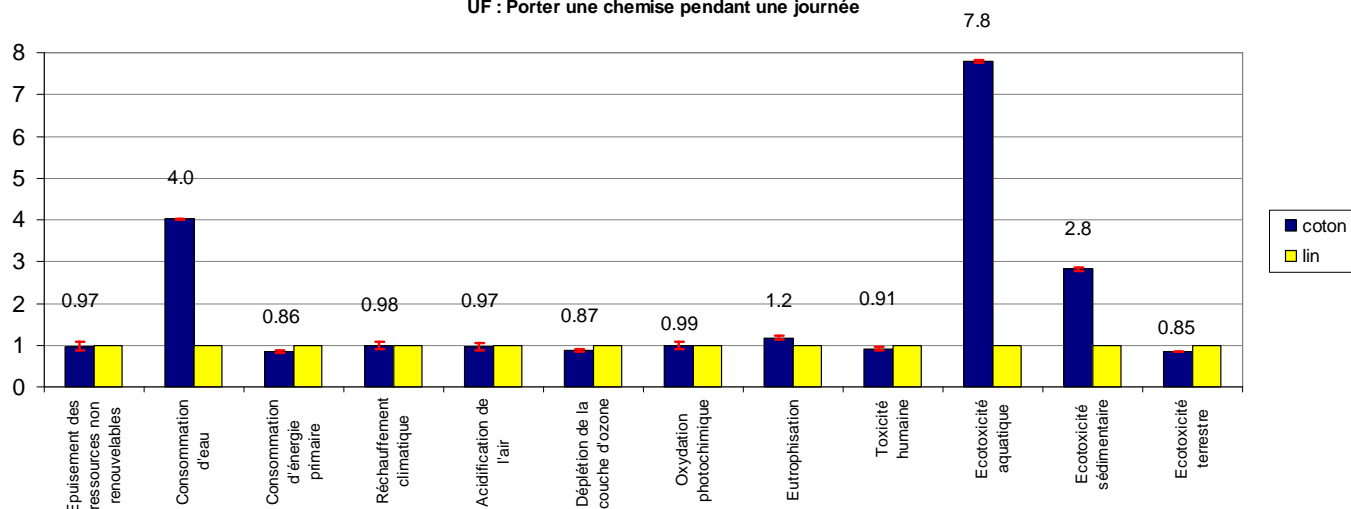
Le tableau et les deux graphes suivants présentent les résultats de l'analyse de sensibilité.

Les barres d'erreur en rouge sur les graphes présentent l'évolution des résultats du coton pour une donnée haute ou basse de consommation d'énergie en phase filature.

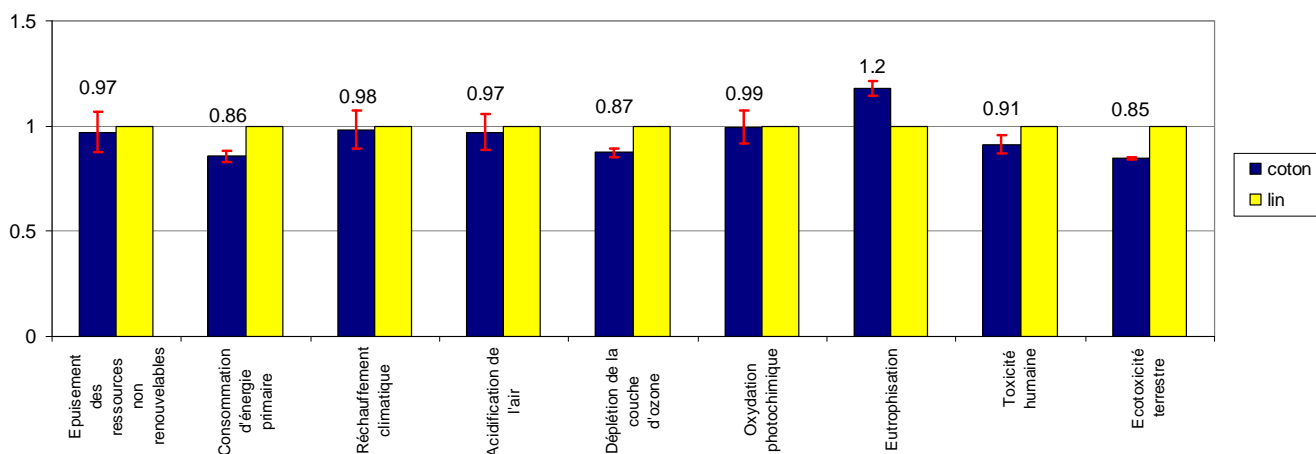
Le premier graphe présente les résultats pour l'ensemble des 13 indicateurs d'impact. Le second graphe présente un zoom au niveau des 9 indicateurs pour lesquels les résultats sont les plus serrés entre le lin et le coton.

	Unités	Résultats LIN 1 UF	Résultats COTON 1 UF Filature : 2.3kWh/kg	Résultats COTON 1 UF Filature : 6.15 kWh/kg	Résultats COTON 1 UF Filature : 10 kWh/kg
Epuisement des ressources non renouvelables	kg Sb eq	9.55E-04	8.35E-04	9.28E-04	1.02E-03
Consommation d'eau	m3	6.36E-03	2.55E-02	2.55E-02	2.56E-02
Consommation d'énergie primaire	MJ primary	5.96E+00	4.96E+00	5.11E+00	5.27E+00
Réchauffement climatique	kg CO2 eq	1.30E-01	1.16E-01	1.28E-01	1.40E-01
Acidification de l'air	kg SO2 eq	6.86E-04	6.08E-04	6.66E-04	7.25E-04
Déplétion de la couche d'ozone	kg CFC-11 eq	5.84E-09	4.99E-09	5.11E-09	5.22E-09
Oxydation photochimique	kg C2H4 eq	3.43E-04	3.15E-04	3.41E-04	3.68E-04
Eutrophisation	kg PO4--- eq	1.04E-04	1.19E-04	1.23E-04	1.26E-04
Toxicité humaine	kg 1,4-DB eq	7.89E-02	6.85E-02	7.20E-02	7.55E-02
Ecotoxicité aquatique	kg 1,4-DB eq	1.15E-02	8.95E-02	8.98E-02	9.01E-02
Ecotoxicité sédimentaire	kg 1,4-DB eq	2.83E-02	7.85E-02	7.97E-02	8.09E-02
Ecotoxicité terrestre	kg 1,4-DB eq	3.41E-03	2.87E-03	2.89E-03	2.90E-03

Analyse comparative avec normation à 1 pour le lin
Analyse de sensibilité en fonction de la consommation d'électricité lors de la filature du coton
UF : Porter une chemise pendant une journée



Analyse comparative avec normation à 1 pour le lin
Analyse de sensibilité en fonction de la consommation d'électricité lors de la filature du coton
 UF : Porter une chemise pendant une journée



■ **Conclusions concernant l'influence de l'électricité consommée pour la filature du coton**

La consommation d'électricité lors de la filature du coton a une influence variable en fonction des indicateurs.

Cette donnée a une très faible influence sur la consommation. Cette donnée a une influence faible ou moyenne sur la déplétion de la couche d'ozone, l'eutrophisation, la consommation globale d'énergie primaire et sur les indicateurs de toxicité et d'écotoxicité.

Cette donnée a une influence plus forte sur les 4 indicateurs suivants :

- épuisement des ressources renouvelables
- réchauffement climatique
- acidification de l'air
- oxydation photochimique.

En effet, on voit que le fait de considérer une valeur haute ou basse pour cette donnée change les résultats de l'analyse de cycle de vie et peut fait varier la balance en faveur du lin ou du coton pour ces indicateurs.

Mais quelle que soit l'hypothèse retenue, on constate que l'écart entre le lin et le coton reste cependant globalement compris autour + ou - 10%. On peut considérer dans ce contexte que pour ces indicateurs l'écart entre le lin et le coton est trop faible pour être significatif.

7.2. ANALYSE DE L'INFLUENCE DU LIEU DE PRODUCTION ET DE TRANSFORMATION DU LIN ET DU COTON

7.2.1. INFLUENCE DU LIEU DE PRODUCTION DU LIN

La culture du lin pour l'habillement est essentiellement basée dans le Nord de la France et en Belgique, deux zones géographiques très proches (59% de la production mondiale de fibres longues de lin pour ces deux pays). Le scénario de référence considéré pour le lin avec une culture du lin située en Picardie ou Normandie est donc assez représentatif de la production mondiale de lin.

7.2.2. INFLUENCE DU LIEU DE PRODUCTION ET DE TRANSFORMATION DU COTON

Le scénario de référence considère une production de coton et une filière textile en Chine tout en utilisant des données représentatives de la culture du coton aux Etats-Unis.

Ceci a une influence sur 3 aspects importants : les pratiques agricoles, les transports et les modes de production d'électricité. Il convient d'évaluer l'influence de ces hypothèses et sources de données et de s'interroger sur leur cohérence globale par rapport aux objectifs de l'étude : analyser l'impact environnemental d'une chemise en coton moyenne.

■ Influence du lieu de production du coton au niveau des pratiques agricoles

Le scénario moyen retenu considère une production de coton en Chine, qui est le premier producteur mondial de coton. Cependant, par manque de données fiables et représentatives de la culture du coton à l'échelle de ce pays, des données représentatives des pratiques agricoles des Etats-Unis ont été utilisées.

La Chine et les Etats-Unis sont les deux premiers producteurs mondiaux de coton et ont tous deux des modes de culture intensive avec des rendements élevés. Cependant, par manque de données, il est difficile de comparer les procédés agricoles de ces deux pays, ou de les comparer avec d'autres pays producteurs tels que l'Inde ou l'Ouzbékistan par exemple. Du point de vue des pratiques agricoles, il est donc difficile d'évaluer l'influence des hypothèses et des sources de données du scénario moyen retenu.

Par contre, il faut préciser que le fait d'utiliser des données des Etats-Unis est en cohérence avec l'objectif de l'étude « analyser une chemise moyenne en coton ». En effet, les données sur la production de coton aux Etats-Unis sont assez représentatives de la culture mondiale du coton, et donc de la chemise moyenne étudiée, puisque les Etats-Unis sont le deuxième producteur mondial de coton (21% de la production).

■ Influence du lieu de production et de transformation du coton au niveau des transports et du modèle électrique

Une analyse de sensibilité est effectuée afin de mesurer l'influence du lieu de production et de transformation du coton du point de vue des transports et des consommations électriques (modèle électrique différent selon les pays).

Pour cela, l'étude *Chaînes logistiques et consommation d'énergie : cas du yaourt et du jean*, réalisée par l'Inrets et B2K Consultants pour l'Ademe en juin 2005, a été utilisée. Cette étude présente 3 exemples de chaînes d'approvisionnement et de fabrication d'un pantalon en jean selon que le coton est produit en Inde, en Ouzbékistan ou en Egypte. Ces 3 pays sont respectivement les 3^{ème}, 5^{ème} et 10^{ème} producteurs mondiaux de coton.

En se basant sur cette étude, un nouveau scénario avec une culture du coton répartie entre ces 3 pays a été considéré. La répartition géographique des pays d'approvisionnement (soit l'Inde, l'Ouzbékistan ou l'Egypte) a été obtenue par pondération des parts relatives des productions de ces pays dans la production mondiale, comme présenté dans le tableau ci-dessous.

Répartition géographique de la production mondiale de coton			
	Production moyenne Mt 2001 - 2002	Part relative de la production totale	Poids relatifs des productions d'Inde, d'Ouzbékistan et d'Egypte
Chine	5,32	25%	
USA	4,42	21%	
Inde	2,508	12%	65%
Pakistan	1,853	9%	
Ouzbékistan	1,055	5%	27%
Egypte	0,314	1%	8%
autres	5,767	27%	
Total	21,237	100%	100%

Source : International Cotton Advisory Committee (ICAC) « Cotton : Review of the world situation » Vo.55, N° 5, Washington DC, 2002

► Transports considérés

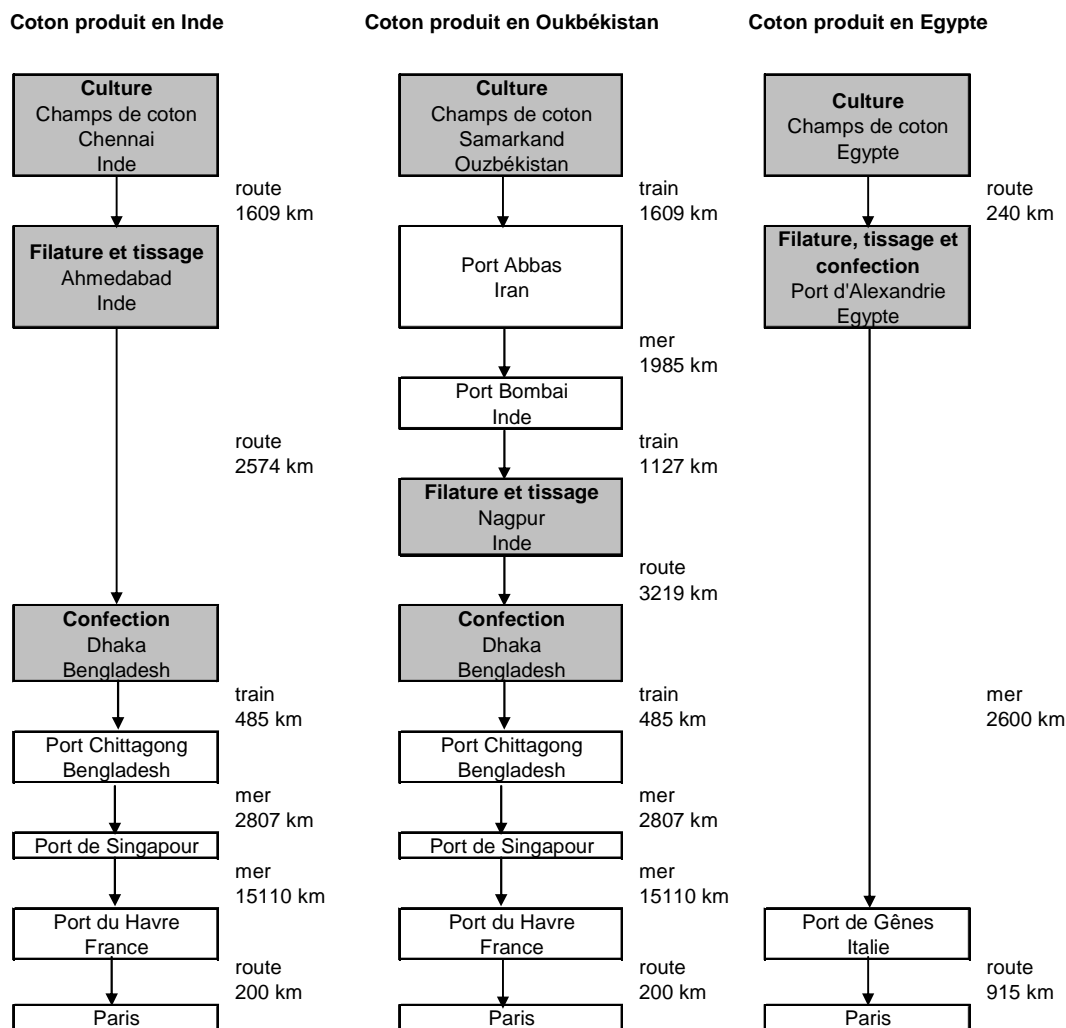
Pour le coton produit en Inde et en Ouzbékistan, nous avons considéré comme dans l'étude Inrets, une étape de filature et de tissage en Inde, une étape de confection au Bangladesh puis un trajet en France via le port de Singapour. Pour le coton produit en Egypte, nous avons considéré une étape de filature, tissage et confection au port d'Alexandrie puis un trajet en France via le port de Gênes en Italie.

Le détail des 3 chaînes logistiques est donné page suivante.

Les inventaires de cycle de vie utilisés pour modéliser le transport sont décrits dans le tableau ci-après :

	Source de l'inventaire de cycle de vie	Nom du module
Transport maritime	Ecolnvent v1.3	Transport, transoceanic freight ship/OCE S
Transport par camion		Transport, lorry 32t/RER S
Transport par train		Operation, freight train, diesel/RER U

Chaîne logistique prise en compte pour modéliser les transports



Sources : « Chaînes logistiques et consommation d'énergie : cas du yaourt et du jean », Inrets et B2K Consultants pour l'Ademe, juin 2005,

► Modèles électriques considérés

Concernant les consommations d'électricité durant les étapes de filature, tissage et confection, des inventaires de cycle de vie spécifiques aux pays de production considérés ont été créés, à partir des données de mix électriques fournies par l'Agence Internationale de l'Energie (www.iea.org). Les sources d'énergie renouvelables non prises en compte sont la biomasse, la géothermie, les déchets, et l'énergie solaire car les inventaires de cycle de vie ne sont pas disponibles, et elles représentent moins de 1% des sources utilisées par les 3 pays présentés ci-dessous.

Le tableau suivant présente les mix électriques d'un pays d'Asie moyen (hors Chine) et de l'Egypte, lieux de productions du coton considérés dans notre étude.

Electricity in Asia excluding China in 2002		
Flow		
<i>Unit: GWh</i>		
Production from:		
- coal	630036	47%
- oil	147969	11%
- gas	330556	25%
- hydro	165003	12%
Total Electricity Production	1334247	
Distribution Losses	240977	18%

Electricity in Egypt in 2003		
Flow		
<i>Unit: GWh</i>		
Production from:		
- coal		0%
- oil	5243	6%
- gas	73464	80%
- hydro	12939	14%
Total Electricity Production	91646	
Distribution Losses	10724	12%

Source: Agence Internationale de l'Energie, www.iea.org

Remarque : les données utilisées pour les mix électriques et pertes en ligne sur le réseau de distribution sont représentatives de la situation actuelle en Asie et en Egypte. En revanche les inventaires de cycle de vie relatifs aux différents modes de production d'électricité à partir de gaz, de fioul, de charbon, d'énergie hydraulique et nucléaire sont représentatifs des techniques actuellement utilisées en Europe. De fait, on considère que les techniques de production d'électricité dans ces différentes régions du monde présentent des performances environnementales similaires à celles utilisées en Europe.

Cette hypothèse peut introduire un biais, mais la consommation d'électricité dans ces différents pays est faible comparativement à la consommation d'électricité en France (lavage et repassage). On peut donc raisonnablement supposer que ce biais a une faible influence sur les résultats.

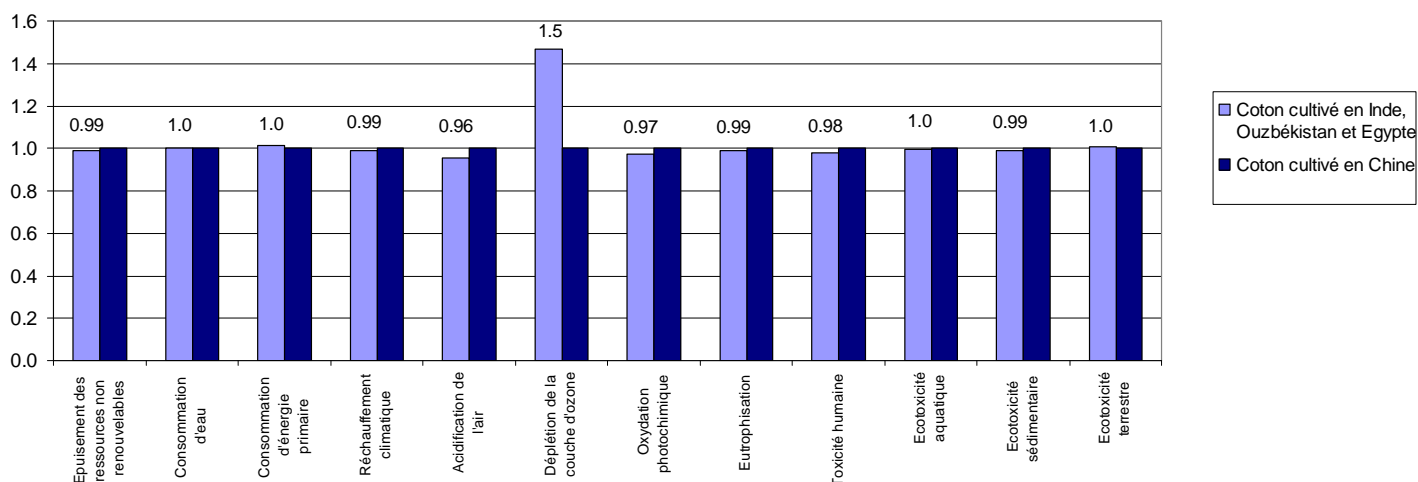
- Résultats comparatifs concernant l'influence du lieu de production et de transformation du coton au niveau des transports et du modèle électrique

Le tableau et le graphe suivants présentent les résultats comparatifs entre le scénario de référence où le coton est cultivé en Chine et un scénario où le coton est cultivé en Inde, en Ouzbékistan et en Egypte.

Dans le graphe, la valeur 1 a été affectée par défaut au scénario de référence.

	Unités	Résultats COTON cultivé en Inde, Ouzbékistan et Egypte 1 UF	Résultats COTON cultivé en Chine 1 UF
Epuisement des ressources non renouvelables	kg Sb eq	9.21E-04	9.28E-04
Consommation d'eau	m3	2.55E-02	2.55E-02
Consommation d'énergie primaire	MJ primary	5.19E+00	5.11E+00
Réchauffement climatique	kg CO2 eq	1.27E-01	1.28E-01
Acidification de l'air	kg SO2 eq	6.38E-04	6.66E-04
Déplétion de la couche d'ozone	kg CFC-11 eq	7.49E-09	5.11E-09
Oxydation photochimique	kg C2H4 eq	3.32E-04	3.41E-04
Eutrophisation	kg PO4--- eq	1.22E-04	1.23E-04
Toxicité humaine	kg 1,4-DB eq	7.04E-02	7.20E-02
Ecotoxicité aquatique	kg 1,4-DB eq	8.96E-02	8.98E-02
Ecotoxicité sédimentaire	kg 1,4-DB eq	7.87E-02	7.97E-02
Ecotoxicité terrestre	kg 1,4-DB eq	2.91E-03	2.89E-03

Analyse comparative avec normation à 1 pour le coton cultivé en Chine
UF : Porter une chemise pendant une journée



Par rapport au scénario de référence, les résultats sont quasi identiques pour tous les indicateurs sauf pour l'indicateur de déplétion de la couche d'ozone. Ceci s'explique par les constats suivants :

Concernant les **transports** : Dans le scénario Inde, Ouzbékistan, Egypte, les transports ont globalement pour l'ensemble des indicateurs un impact deux fois moins important que dans le scénario Chinois. Mais étant donné que le poids des transports sur l'ensemble du cycle de vie ne représente que quelques pour cent (de 1 à 7% suivant les indicateurs), ceci n'a pas une grande influence sur les résultats de l'ACV.

Concernant les **consommations d'électricité** : La consommation d'1kWh électrique en Inde ou en Ouzbékistan a environ les mêmes impacts sur l'environnement que la consommation d'1kWh en Chine sauf pour la déplétion de la couche d'ozone. Pour cet impact, la consommation d'électricité en Chine a un impact environ 5 fois inférieur[‡]. Le lieu de la filière textile a donc une influence significative sur cet indicateur mais pas sur les autres.

► **Conclusions concernant l'influence du lieu de production et de transformation du coton au niveau des transports et du modèle électrique**

Ces résultats montrent que le transport dans les chaînes logistiques considérées a globalement peu d'influence sur les résultats de l'ACV.

Les lieux de production (lieu de production des fibres mais aussi et surtout lieu de la filière textile) peuvent par contre avoir une influence, comme c'est le cas ici sur l'indicateur de déplétion de la couche d'ozone qui varie suivant les modèles électriques considérés. Cependant, aussi bien la chemise en lin que la chemise en coton pourraient être fabriquées dans les différents pays considérés car ils ont tous une industrie textile très développée.

Ces résultats montrent que cette analyse de sensibilité ne modifie pas le positionnement des deux chemises sur les indicateurs d'impact ayant la plus forte ampleur.

[‡] L'impact sur la couche d'ozone est dû principalement aux émissions de halon qui est utilisé dans le matériel anti-incendie des plateformes pétrolières. Ceci se retrouve de manière indirecte dans la consommation de ressources fossiles et donc dans la consommation d'électricité produite à partir de pétrole ou de gaz. Le pourcentage d'électricité produite à partir de pétrole ou de gaz est d'environ 4% en Chine alors qu'il est d'environ 36% dans le reste de l'Asie.

7.2.3. ANALYSE DE L'INFLUENCE DE LA DUREE DE VIE ET DU SCENARIO DE FIN DE VIE DES CHEMISES

Dans le scénario de référence, il a été considéré que les chemises sont en moyenne portées soixante fois puis sont dans 30% des cas jetées avec les déchets ménagers et dans 70% des cas réorientées dans une filière de réemploi.

On considère que le réemploi se fait en France, par un utilisateur ayant le même comportement d'utilisation que le précédent. Ceci revient donc à doubler la durée de vie des chemises en filière de réemploi.

Au final, le scénario de fin de vie avec 70% de chemises en réemploi revient donc à multiplié par 1,7 le nombre d'utilisations initial de la chemise et conduit à une durée de vie totale moyenne d'une centaine d'utilisations par chemise (102 utilisations).

Afin de mesurer l'influence de ces hypothèses, une analyse de sensibilité a été effectuée en fonction de la durée de vie totale moyenne par chemise.

Pour changer cette durée de vie totale moyenne, on peut agir sur deux paramètres :

- le nombre d'utilisations pour un premier utilisateur,
- le pourcentage de chemises envoyées en filière de réemploi.

On considère ici que le pourcentage en filière de réemploi reste fixe et que la durée de vie par utilisateur varie. On considère les trois cas suivants :

Conditions d'utilisation des chemises			
Durée de vie pour un utilisateur	40 utilisations	60 utilisations	80 utilisations
Pourcentage en filière de réemploi	70%	70%	70%
Durée de vie totale moyenne	68 utilisations	102 utilisations	136 utilisations

Sources: Organisations professionnelles du lin

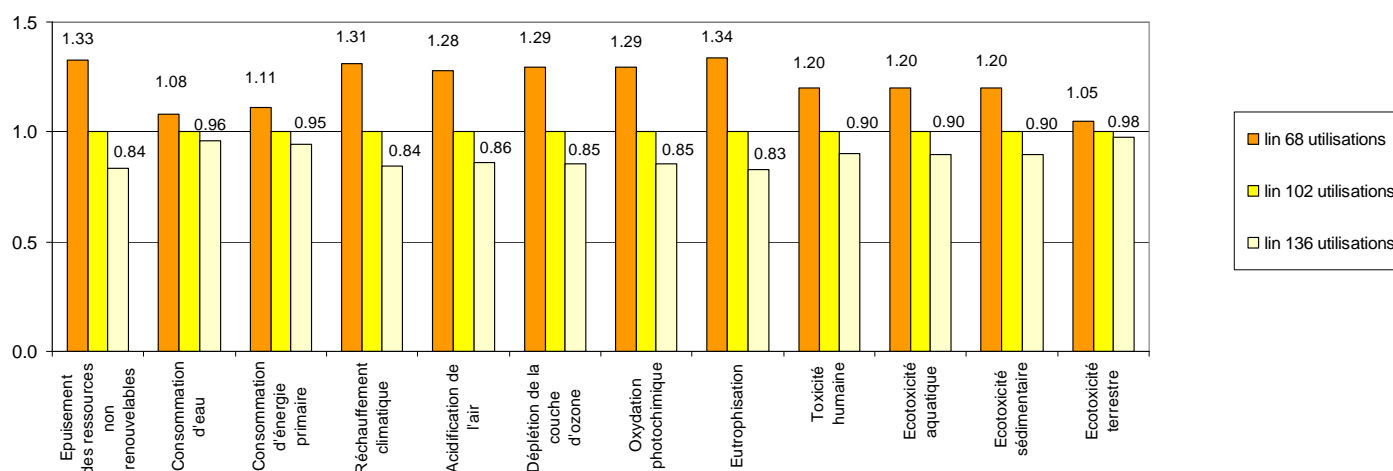
Les tableaux suivants présentent les résultats de l'analyse de cycle de vie de la chemise en lin ou en coton en fonction de la durée de vie totale moyenne de la chemise.

	Unités	Résultats LIN 1 UF 68 utilisations	Résultats LIN 1 UF 102 utilisations	Résultats LIN 1 UF 136 utilisations
Epuisement des ressources non renouvelables	kg Sb eq	1.27E-03	9.55E-04	7.99E-04
Consommation d'eau	m3	6.86E-03	6.36E-03	6.10E-03
Consommation d'énergie primaire	MJ primary	6.61E+00	5.96E+00	5.64E+00
Réchauffement climatique	kg CO2 eq	1.71E-01	1.30E-01	1.10E-01
Acidification de l'air	kg SO2 eq	8.76E-04	6.86E-04	5.91E-04
Déplétion de la couche d'ozone	kg CFC-11 eq	7.56E-09	5.84E-09	4.98E-09
Oxydation photochimique	kg C2H4 eq	4.44E-04	3.43E-04	2.93E-04
Eutrophisation	kg PO4--- eq	1.39E-04	1.04E-04	8.64E-05
Toxicité humaine	kg 1,4-DB eq	9.48E-02	7.89E-02	7.10E-02
Ecotoxicité aquatique	kg 1,4-DB eq	1.38E-02	1.15E-02	1.04E-02
Ecotoxicité sédimentaire	kg 1,4-DB eq	3.40E-02	2.83E-02	2.54E-02
Ecotoxicité terrestre	kg 1,4-DB eq	3.58E-03	3.41E-03	3.33E-03

	Unités	Résultats COTON 1 UF 68 utilisations	Résultats COTON 1 UF 102 utilisations	Résultats COTON 1 UF 136 utilisations
Epuisement des ressources non renouvelables	kg Sb eq	1.25E-03	9.28E-04	7.68E-04
Consommation d'eau	m3	3.59E-02	2.55E-02	2.04E-02
Consommation d'énergie primaire	MJ primary	5.75E+00	5.11E+00	4.80E+00
Réchauffement climatique	kg CO2 eq	1.71E-01	1.28E-01	1.06E-01
Acidification de l'air	kg SO2 eq	8.69E-04	6.66E-04	5.65E-04
Déplétion de la couche d'ozone	kg CFC-11 eq	6.59E-09	5.11E-09	4.37E-09
Oxydation photochimique	kg C2H4 eq	4.51E-04	3.41E-04	2.87E-04
Eutrophisation	kg PO4--- eq	1.69E-04	1.23E-04	9.97E-05
Toxicité humaine	kg 1,4-DB eq	8.77E-02	7.20E-02	6.41E-02
Ecotoxicité aquatique	kg 1,4-DB eq	1.31E-01	8.98E-02	6.89E-02
Ecotoxicité sédimentaire	kg 1,4-DB eq	1.12E-01	7.97E-02	6.37E-02
Ecotoxicité terrestre	kg 1,4-DB eq	3.07E-03	2.89E-03	2.79E-03

On s'intéresse dans un premier temps à l'évolution globale des impacts en fonction de la durée de vie de la chemise en prenant le cas du lin. Dans le graphe ci-dessous, la valeur 1 a été affectée par défaut au scénario de référence, à savoir à la chemise en lin d'une durée de vie totale moyenne de 102 utilisations.

Analyse de sensibilité en fonction de la durée de vie totale moyenne de la chemise en lin
Normation à 1 pour le scénario de référence (102 utilisations)
UF : Porter une chemise pendant une journée



Plus la durée de vie de la chemise est longue, plus les impacts associés à l'unité fonctionnelle « Porter une chemise pendant une journée » sont réduits.

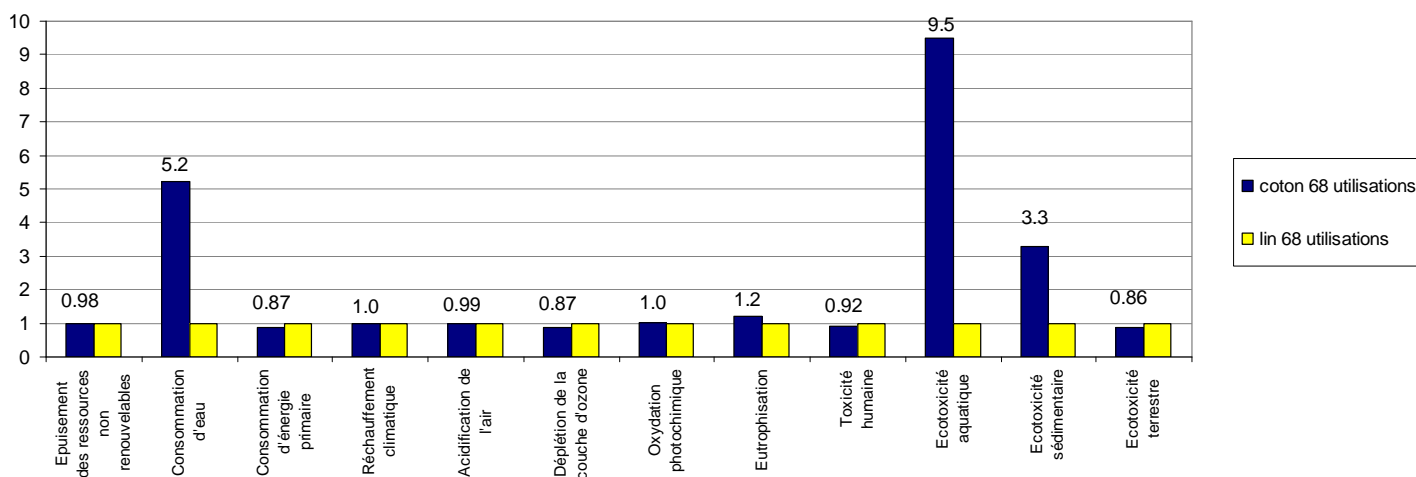
En effet, compte tenu de l'unité fonctionnelle choisie, quelle que soit la durée de vie de la chemise, les impacts associés à la phase utilisation sont identiques (1 lavage et 1 repassage). Par contre, l'ensemble des impacts associés aux phases de culture et de production sont « amortis », c'est-à-dire divisés par un plus grand nombre d'utilisation, si l'on augmente la durée de vie de la chemise.

La durée de vie moyenne totale de la chemise considérée dans le scénario de référence conditionne donc directement l'ensemble des résultats de l'ACV.

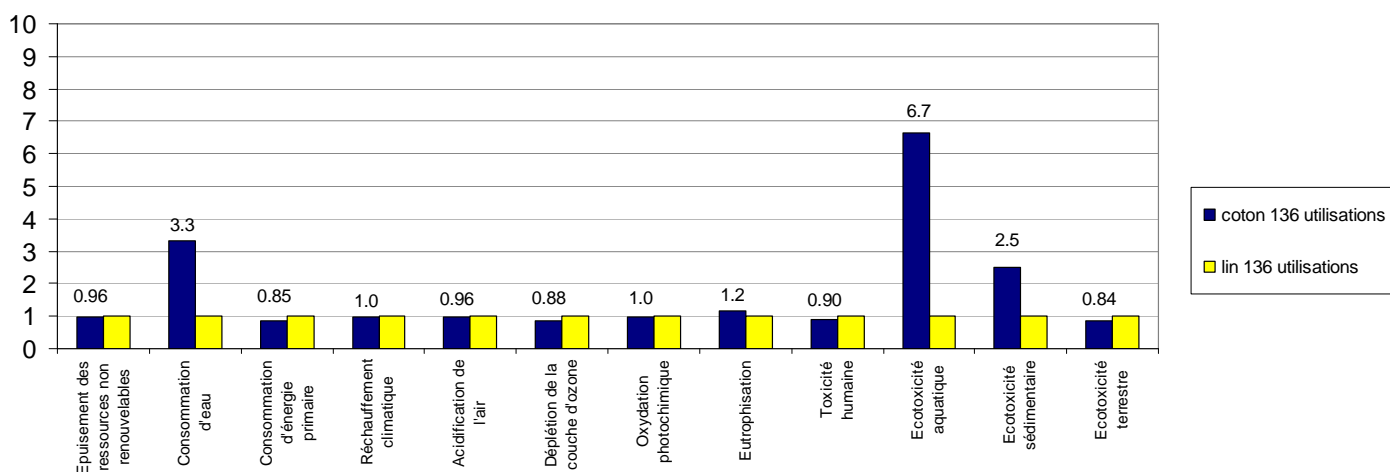
On s'intéresse dans un second temps à l'analyse comparative d'une chemise en lin et en coton en fonction de la durée de vie des chemises.

Les graphes suivants présentent les résultats de l'ACV pour des durées de vie totales moyennes de 68 et 136 utilisations. La valeur 1 a été affectée au lin.

Analyse de sensibilité en fonction de la durée de vie totale moyenne des chemises
Analyse comparative avec normation à 1 pour le lin - 68 utilisations
UF : Porter une chemise pendant une journée



Analyse de sensibilité en fonction de la durée de vie totale moyenne des chemises
Analyse comparative avec normation à 1 pour le lin - 136 utilisations
UF : Porter une chemise pendant une journée



On constate que l'évolution de la durée de vie des chemises ne change pas les conclusions de l'ACV comparative entre le lin et le coton.

On constate également que plus on considère une durée de vie longue pour les chemises, plus les impacts associés au coton sont réduits par rapport au lin.

Ceci s'explique par les raisons suivantes.

Avec l'unité fonctionnelle choisie « Porter une chemise pendant une journée », les impacts associés à la phase utilisation ne changent pas en fonction de la durée de vie.

Par contre, les impacts associés aux phases de culture et de production varient.

Si l'on raisonne sur l'ensemble du cycle de vie, le fait de considérer une durée de vie courte va donc mettre globalement plus de poids sur les impacts associés aux phases culture et production et le fait de considérer une durée de vie longue va mettre globalement plus de poids sur la phase utilisation (en relatif).

Les impacts associés à la culture du coton sont plus élevés que pour le lin. Les impacts associés à l'utilisation de la chemise en coton sont moins élevés que ceux du lin (temps de repassage). On observe donc :

- un écart réduit entre le lin et le coton sur les impacts de consommation d'eau, d'écotoxicité aquatique, d'écotoxicité sédimentaire et d'eutrophisation,
- un écart plus important entre le lin et le coton pour les impacts tels que la consommation d'énergie primaire, l'écotoxicité terrestre, la déplétion de la couche d'ozone...

■ Conclusions concernant l'influence de la durée de vie et du scénario de fin de vie des chemises

L'augmentation de la durée de vie totale des chemises (soit pour un utilisateur soit par les filières de réemploi) diminue fortement les impacts associés à l'unité fonctionnelle « Porter une chemise pendant une journée ». L'utilisateur peut donc avoir une influence significative sur les impacts associés à l'utilisation de chemises.

Par contre, l'évolution de la durée de vie des chemises ne change pas les conclusions de l'ACV comparative entre le lin et le coton. Même si l'évolution de la durée de vie peut faire varier les écarts entre le lin et le coton, on peut considérer que le scénario de référence est représentatif.

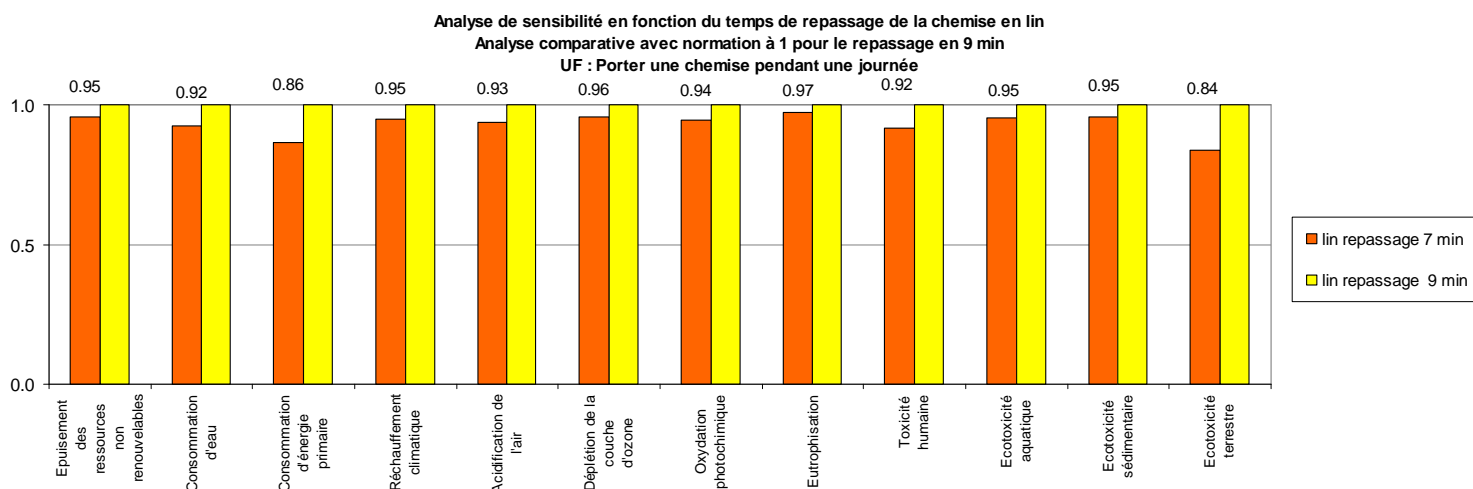
7.2.4. ANALYSE DE L'INFLUENCE DU TEMPS DE REPASSAGE

Dans le scénario de référence, il a été considéré que le temps de repassage d'une chemise en lin est de 9 min et en coton de 7 min.

Afin de mesurer l'influence de cette hypothèse, une analyse de sensibilité a été effectuée en considérant un temps de repassage identique de 7 min pour les chemises lin et coton.

	Unités	Résultats LIN 1 UF repassage 7 min	Résultats COTON 1 UF repassage 7 min
Epuisement des ressources non renouvelables	kg Sb eq	9.12E-04	9.28E-04
Consommation d'eau	m3	5.87E-03	2.55E-02
Consommation d'énergie primaire	MJ primary	5.15E+00	5.11E+00
Réchauffement climatique	kg CO2 eq	1.23E-01	1.28E-01
Acidification de l'air	kg SO2 eq	6.41E-04	6.66E-04
Déplétion de la couche d'ozone	kg CFC-11 eq	5.58E-09	5.11E-09
Oxydation photochimique	kg C2H4 eq	3.24E-04	3.41E-04
Eutrophisation	kg PO4--- eq	1.01E-04	1.23E-04
Toxicité humaine	kg 1,4-DB eq	7.23E-02	7.20E-02
Ecotoxicité aquatique	kg 1,4-DB eq	1.10E-02	8.98E-02
Ecotoxicité sédimentaire	kg 1,4-DB eq	2.70E-02	7.97E-02
Ecotoxicité terrestre	kg 1,4-DB eq	2.85E-03	2.89E-03

On s'intéresse dans un premier temps à l'évolution globale des impacts en fonction du temps de repassage de la chemise en prenant le cas du lin. Dans le graphe ci-dessous, la valeur 1 a été affectée par défaut au scénario de référence, à savoir à la chemise en lin avec un temps de repassage de 9 minutes.



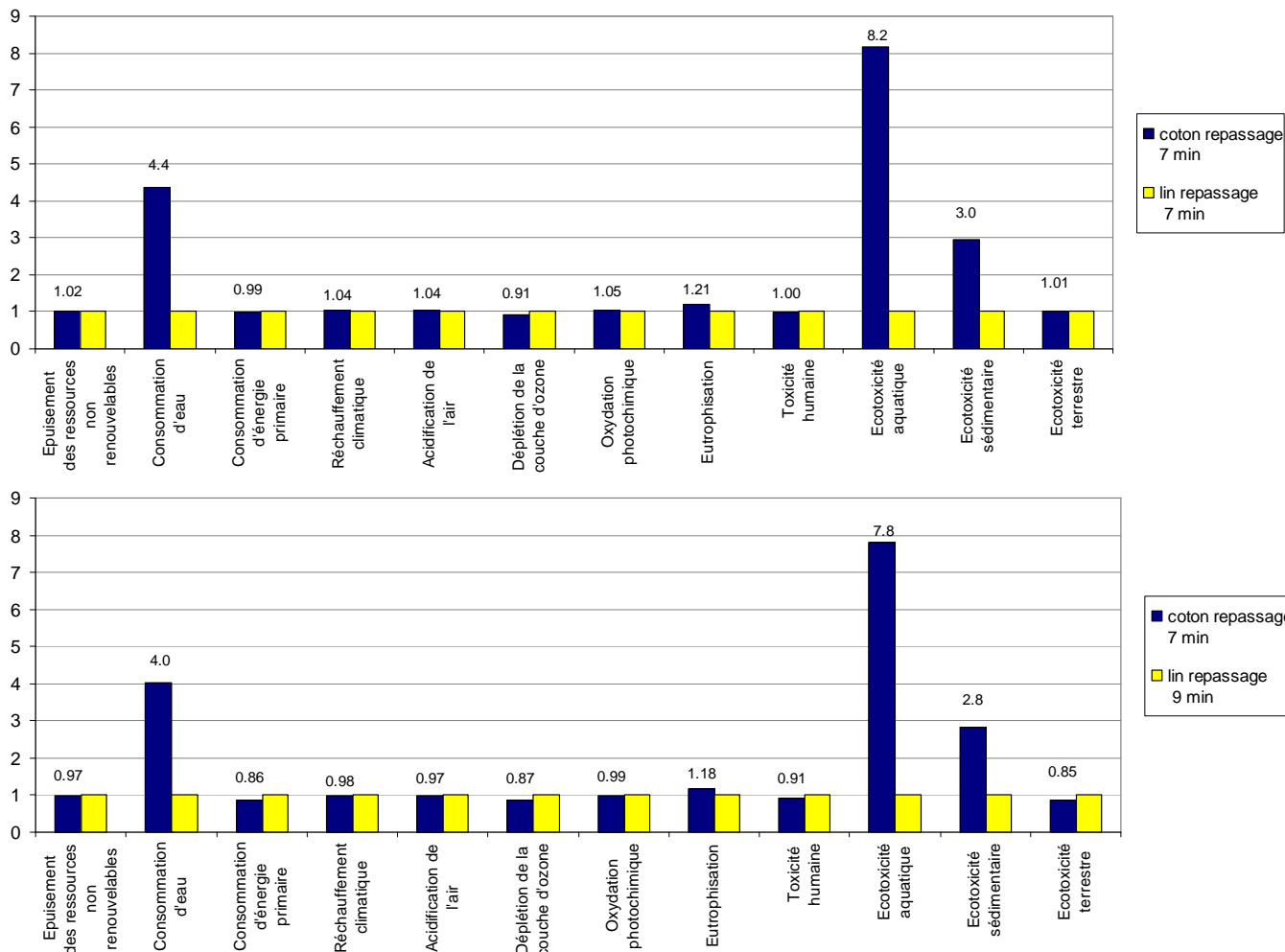
On constate que le temps de repassage considéré a une influence sensible sur les impacts associés à l'unité fonctionnelle « Porter une chemise pendant une journée ». Une diminution du temps de deux minutes entraîne une diminution d'impacts de -3 à -16% sur les indicateurs.

Pour certains indicateurs tels que la consommation d'énergie primaire ou l'écotoxicité terrestre, on constate notamment que le fait de réduire le temps de repassage de deux minutes pour la chemise en lin a plus d'influence que le fait de passer sa durée de vie moyenne de 102 à 136 utilisations.

On voit ainsi que le comportement de l'utilisateur lors du repassage peut modifier de façon significative les impacts liés à l'utilisation de chemises.

On s'intéresse dans un second temps à l'analyse comparative d'une chemise en lin et en coton en fonction du temps de repassage. Les graphes suivant présentent les résultats.

Analyse de sensibilité en fonction du temps de repassage des chemises
Analyse comparative avec normation à 1 pour le lin
UF : Porter une chemise pendant une journée



Si l'on compare par rapport au scénario de référence, on constate que l'hypothèse sur les temps de repassage des chemises a une forte influence. Le fait de considérer ici des temps de repassage identiques modifie pour certains indicateurs les résultats de l'ACV comparative. En effet, dans le scénario de référence, le lin a un positionnement défavorable par rapport au coton sur les indicateurs de consommation d'énergie primaire, de toxicité humaine et d'écotoxicité terrestre. Dans le cas d'un temps de repassage identique, le positionnement du lin et du coton est équivalent sur ces 3 indicateurs.

■ Conclusions concernant l'influence du temps de repassage des chemises

Le temps de repassage des chemises a une influence sensible sur les impacts associés à l'unité fonctionnelle « porter une chemise pendant une journée ». L'utilisateur peut avoir une influence significative sur ce paramètre. L'industrie textile peut également agir pour améliorer la finition des tissus afin d'en faciliter le repassage.

D'autre part, l'hypothèse d'un temps de repassage plus long pour le lin que pour le coton dans le scénario de référence a une forte influence sur les résultats de l'ACV comparative. Elle est à l'origine des résultats en faveur du coton pour les indicateurs de consommation d'énergie primaire, de toxicité humaine et d'écotoxicité aquatique.

Toutefois, on peut considérer qu'en moyenne une chemise en lin est plus délicate à repasser qu'une chemise en coton et que le scénario de référence est assez représentatif.

7.2.5. ANALYSE DE L'INFLUENCE DU NOMBRE D'UTILISATION AVANT CHAQUE LAVAGE ET REPASSAGE

Dans le scénario de référence, il a été considéré que les chemises sont lavées à chaque utilisation.

Afin de mesurer l'influence de cette hypothèse, une analyse de sensibilité a été effectuée en considérant également un scénario avec deux utilisations avant chaque lavage.

Les tableaux et les graphes suivants présentent les résultats. Dans les graphes, la valeur 1 a été affectée au scénario 1 utilisation.

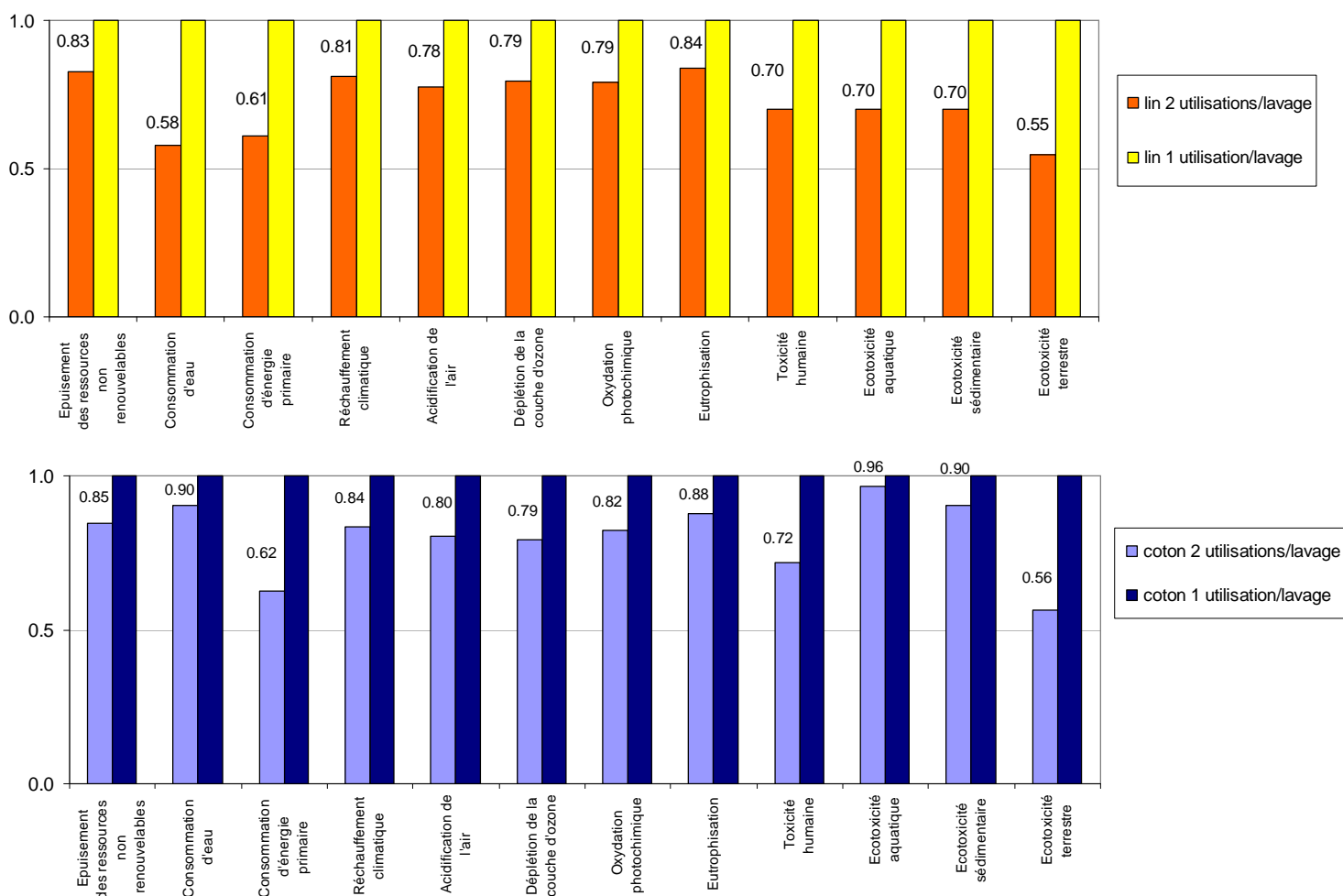
	Unités	Résultats LIN 1 UF	Résultats LIN 1UF 2 utilisations avant lavage et repassage
Epuisement des ressources non renouvelables	kg Sb eq	9.55E-04	7.90E-04
Consommation d'eau	m ³	6.36E-03	3.69E-03
Consommation d'énergie primaire	MJ primary	5.96E+00	3.63E+00
Réchauffement climatique	kg CO ₂ eq	1.30E-01	1.06E-01
Acidification de l'air	kg SO ₂ eq	6.86E-04	5.33E-04
Déplétion de la couche d'ozone	kg CFC-11 eq	5.84E-09	4.64E-09
Oxydation photochimique	kg C ₂ H ₄ eq	3.43E-04	2.72E-04
Eutrophisation	kg PO ₄ --- eq	1.04E-04	8.72E-05
Toxicité humaine	kg 1,4-DB eq	7.89E-02	5.53E-02
Ecotoxicité aquatique	kg 1,4-DB eq	1.15E-02	8.08E-03
Ecotoxicité sédimentaire	kg 1,4-DB eq	2.83E-02	1.98E-02
Ecotoxicité terrestre	kg 1,4-DB eq	3.41E-03	1.87E-03

	Unités	Résultats COTON 1 UF	Résultats COTON 1UF 2 utilisations avant lavage et repassage
Epuisement des ressources non renouvelables	kg Sb eq	9.28E-04	7.85E-04
Consommation d'eau	m ³	2.55E-02	2.31E-02
Consommation d'énergie primaire	MJ primary	5.11E+00	3.19E+00
Réchauffement climatique	kg CO ₂ eq	1.28E-01	1.07E-01
Acidification de l'air	kg SO ₂ eq	6.66E-04	5.36E-04
Déplétion de la couche d'ozone	kg CFC-11 eq	5.11E-09	4.03E-09
Oxydation photochimique	kg C ₂ H ₄ eq	3.41E-04	2.80E-04
Eutrophisation	kg PO ₄ --- eq	1.23E-04	1.07E-04
Toxicité humaine	kg 1,4-DB eq	7.20E-02	5.17E-02
Ecotoxicité aquatique	kg 1,4-DB eq	8.98E-02	8.66E-02
Ecotoxicité sédimentaire	kg 1,4-DB eq	7.97E-02	7.19E-02
Ecotoxicité terrestre	kg 1,4-DB eq	2.89E-03	1.63E-03

On s'intéresse dans un premier temps à l'évolution globale des impacts en fonction du nombre d'utilisations avant lavage dans le cas du lin ou du coton.

Dans les graphes suivants, la valeur 1 a été affectée par défaut au scénario de référence, à savoir à la chemise en lin ou en coton lavée à chaque utilisation.

Analyse de sensibilité en fonction du nombre d'utilisation avant lavage et repassage
Analyse comparative avec normation à 1 pour 1 utilisation
UF : Porter une chemise pendant une journée



Pour le lin, on constate que le fait de porter la chemise deux fois avant chaque lavage et repassage réduit les impacts sur l'ensemble du cycle de vie de -16 à -45% en fonction des indicateurs.

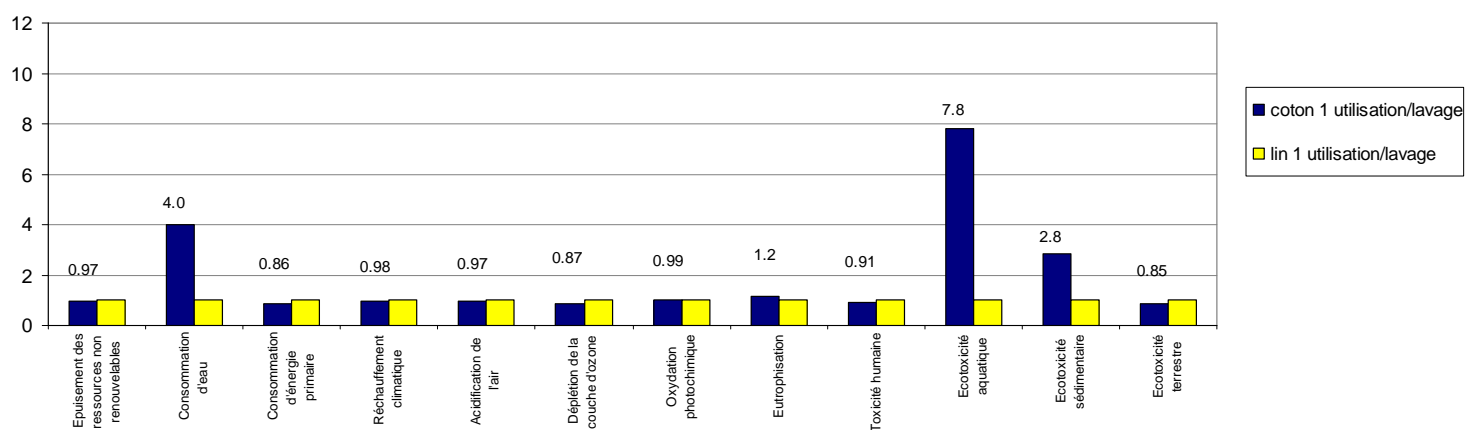
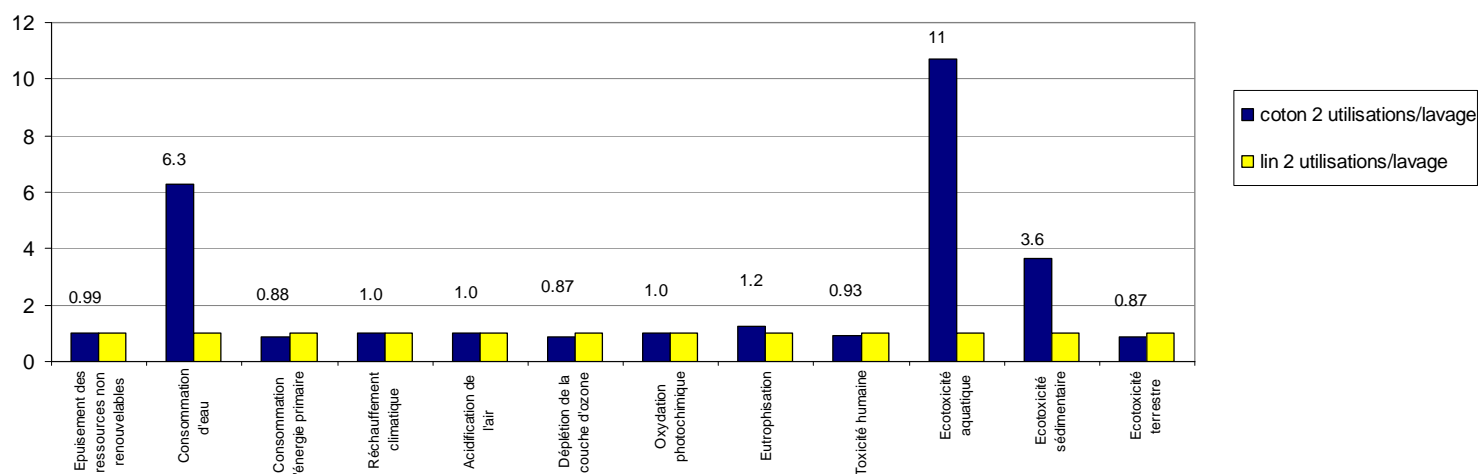
Pour le coton, le fait de porter la chemise deux fois avant chaque lavage et repassage réduit les impacts sur l'ensemble du cycle de vie de -4 à -44% en fonction des indicateurs.

On voit ainsi que le comportement de l'utilisateur peut modifier de façon significative les impacts liés à l'utilisation de chemises.

On s'intéresse dans un second temps à l'analyse comparative d'une chemise en lin et en coton en fonction du nombre d'utilisation avant lavage et repassage.

Le graphe suivant présente les résultats de l'ACV comparative avec une ou deux utilisations avant lavage et repassage. La valeur 1 a été affectée au lin.

Analyse de sensibilité en fonction du nombre d'utilisation avant lavage et repassage
Analyse comparative avec normation à 1 pour 1 utilisation
UF : Porter une chemise pendant une journée



La principale différence concerne l'indicateur de **consommation d'eau**. Dans le cas du lin, le fait de considérer un moins grand nombre de lavage réduit considérablement la consommation d'eau (-40% en passant de une à deux utilisations avant lavage). Dans le cas du coton, la consommation d'eau n'est réduite que de 10% car sur l'ensemble du cycle de vie l'essentiel de la consommation d'eau a lieu en phase de culture du coton.

Le même raisonnement peut être tenu pour l'indicateur **d'écotoxicité aquatique et d'écotoxicité sédimentaire**.

Pour ces trois indicateurs, la réduction du nombre de lavages augmente l'écart entre le lin et le coton au bénéfice du lin. Pour les autres indicateurs, les résultats de l'ACV comparative n'évoluent pas significativement.

■ **Conclusions concernant l'influence du nombre d'utilisations avant lavage**

Augmenter le nombre d'utilisation avant lavage diminue fortement les impacts associés à l'unité fonctionnelle « Porter une chemise pendant une journée ». L'utilisateur peut donc avoir une influence significative sur les impacts associés à l'utilisation de chemises[§].

Cette augmentation du nombre d'utilisation avant lavage augmente l'écart entre le coton et le lin, au bénéfice du lin, pour les enjeux les plus significatifs tels que la consommation d'eau et l'écotoxicité aquatique.

[§] Si l'augmentation du nombre d'utilisations avant lavage n'est pas forcément pertinente pour une chemise, la simulation reste intéressante car elle peut s'appliquer à d'autres vêtements.

8. Conclusions

Les paragraphes suivants résument qualitativement les résultats obtenus par indicateur pour l'analyse comparative des produits chemise en lin et chemise en coton du scénario de référence.

- ▶ Pour les indicateurs de **consommation d'eau, d'écotoxicité aquatique, d'écotoxicité sédimentaire et d'eutrophisation** (4 indicateurs sur 12), les impacts environnementaux générés par le cycle de vie de la chemise en lin de référence sont bien moindres que ceux générés par la chemise en coton de référence. Ces résultats découlent directement de **l'étape de culture** de ces fibres, la culture du coton nécessitant notamment une irrigation intensive et une utilisation plus importante de pesticides que la culture du lin. Et même si les indicateurs d'écotoxicité aquatique et d'écotoxicité sédimentaire sont des indicateurs d'impact peu robustes avec des marges d'incertitude assez grandes, l'écart entre le lin et le coton est suffisamment important pour être significatif.
- ▶ Pour les indicateurs de **consommation d'énergie primaire, de déplétion de la couche d'ozone, de toxicité humaine et d'écotoxicité terrestre** (4 indicateurs sur 12), les écarts sont plus réduits et montrent un certain bénéfice environnemental en faveur du coton. Ces écarts proviennent principalement de **l'étape d'utilisation** et dans une moindre mesure de **l'étape de filature**. Ceci s'explique principalement par le fait que les consommations énergétiques sont plus importantes pour la fabrication puis l'entretien de la chemise en lin que pour le coton (filature du lin au mouillé nécessitant plus d'énergie que la filature du coton et temps de repassage plus important pour le lin que pour le coton).
- ▶ Pour les indicateurs d'épuisement des ressources non renouvelables, de réchauffement climatique, d'acidification de l'air et d'oxydation photochimique (4 indicateurs sur 12), les résultats du lin et du coton sont très proches.

L'analyse par étape du cycle de vie a montré que globalement :

- les étapes d'utilisation et/ou de culture contribuent le plus à l'impact total,
- les étapes de filature, tissage et ennoblement ont une contribution moyenne,
- les étapes de confection et de fin de vie ont des impacts négligeables.

Les résultats de la normation en équivalent habitant ont montré que **les principaux enjeux environnementaux** liés aux cycles de vie d'une chemise en lin ou en coton se situent au niveau de la **consommation d'eau, de l'écotoxicité aquatique et de l'écotoxicité sédimentaire**.

Pour ces indicateurs, il ressort que les impacts associés au cycle de vie de la chemise en coton sont plus importants que pour la chemise en lin. Ceci signifie que pour ces indicateurs, l'impact de la chemise en coton équivaut à celui d'un bien plus grand nombre d'habitants pour la chemise en lin.

La chemise en lin présente donc un avantage par rapport à la chemise en coton sur les enjeux environnementaux les plus importants tels que la consommation d'eau ou l'écotoxicité aquatique et sédimentaire. Sur les autres enjeux environnementaux – dont la gravité est ici de second ordre comme la consommation d'énergie primaire ou la déplétion de la couche d'ozone – c'est la chemise en coton qui présente un avantage. **Toutefois, les préjudices associés à la chemise en lin concernant les enjeux de second ordre sont assez minimes par rapport aux bénéfices associés à la chemise en lin sur les enjeux les plus significatifs.**

Par rapport au scénario de référence, cinq **analyses de sensibilité** ont permis d'évaluer l'influence de certaines hypothèses du scénario de référence par rapport aux résultats de l'analyse comparative.

Ces analyses de sensibilité ont porté sur les cinq paramètres suivants, pour lesquels des incertitudes ou des alternatives au scénario de référence peuvent exister :

- l'énergie consommée lors de la filature du coton,
- le lieu de production du lin et du coton,
- la durée de vie et le scénario de fin de vie des chemises,
- le nombre d'utilisation de la chemise avant chaque lavage,
- le temps de repassage des chemises.

Les trois dernières analyses de sensibilité sont liées au comportement des utilisateurs et permettent d'évaluer l'influence de leurs modes de vie sur les résultats de l'ACV.

► Il ressort de ces analyses que la variation de l'énergie consommée lors de la filature du coton a une influence assez importante sur 4 indicateurs (épuisement des ressources renouvelables, réchauffement climatique, acidification de l'air et oxydation photochimique) et peut faire varier la balance en faveur du lin ou du coton. Néanmoins, quelle que soit l'hypothèse retenue, on constate que l'écart entre le lin et le coton reste très faible. On peut considérer que cet écart est inférieur aux incertitudes sur les indicateurs et que le lin et le coton ont un positionnement équivalent sur ces 4 indicateurs.

► Il ressort que les lieux de production et de transformation considérés pour le lin et le coton n'ont pas d'influence significative sur les indicateurs d'impact de plus forte ampleur (logistique et modèle de production électrique).

► Il ressort également que l'augmentation de la durée de vie totale des chemises (soit pour un utilisateur soit par les filières de réemploi), la réduction du temps de repassage des chemises et l'augmentation du nombre d'utilisation des chemises avant lavage diminuent fortement les impacts associés à l'unité fonctionnelle « Porter une chemise pendant une journée ». L'utilisateur peut donc avoir une influence significative sur les impacts associés à l'utilisation de chemises.

On peut préciser que l'hypothèse d'un temps de repassage plus long pour le lin que pour le coton a une forte influence sur les résultats de l'ACV comparative. Cette hypothèse est à l'origine des résultats en faveur du coton pour les indicateurs de consommation d'énergie primaire, de toxicité humaine et d'écotoxicité terrestre.

► Enfin, il ressort de ces analyses qu'au niveau des enjeux environnementaux les plus significatifs (consommation d'eau, écotoxicité aquatique et écotoxicité sédimentaire), les différents scénarios étudiés ne changent pas les conclusions de l'ACV comparative entre le lin et le coton. Sur ces indicateurs de premier ordre, le lin reste toujours plus favorable que le coton.

En conclusion, le tableau suivant résume qualitativement les résultats obtenus pour l'analyse comparative des produits chemise en lin et chemise en coton sur l'ensemble de leur cycle de vie.

Thème	Indicateur d'impact potentiel	Résultats LIN 1 UF	Résultats COTON 1 UF	Indice qualitatif de robustesse de l'indicateur
Consommation de ressources	Epuisement des ressources non renouvelables	=	=	+
	Consommation d'eau	++	--	++
Bilan énergétique	Énergie primaire	-	+	++
Bilan effet de serre	Potentiel de réchauffement climatique	=	=	++
Pollution de l'air	Acidification de l'air	=	=	+
	Oxydation photochimique	=	=	+
	Déplétion de la couche d'ozone	-	+	+
Pollution de l'eau	Eutrophisation	+	-	+
Risque toxique	Toxicité humaine	-	+	?
	Écotoxicité aquatique	++	--	?
	Écotoxicité sédimentaire	++	--	?
	Écotoxicité terrestre	-	+	?

=	écart < 5%
+ OU -	5% < écart < 100%
++ OU --	écart > 100%

	Positionnement équivalent
	Positionnement favorable
	Positionnement défavorable

++	Indicateur très robuste
+	Indicateur robuste
?	Indicateur peu robuste

ANNEXES



Les annexes sont présentées dans un second rapport.

ANNEXE 1 : REVUE CRITIQUE

ANNEXE 2 : DESCRIPTION DES INDICATEURS D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT ET DES FACTEURS DE CARACTERISATION

ANNEXE 3 : FACTEURS DE CARACTERISATION DES INDICATEURS D'IMPACTS POTENTIELS SUR L'ENVIRONNEMENT

ANNEXE 4 : EMISSIONS LIEES AUX ENGRAIS ET AUX PESTICIDES

ANNEXE 5 : INVENTAIRES DE CYCLE DE VIE

Les émissions de métaux lourds liés aux engrais et les différentes émissions liés aux pesticides ne figurent pas dans les tableaux d'inventaires. Leurs contributions aux indicateurs d'impact de toxicité et d'écotoxicité ont été calculées directement à partir des facteurs de caractérisation. Ces éléments sont donnés à la suite des inventaires.