



Étude des perturbateurs et facilitateurs au recyclage des textiles et linges de maison

Étude mandatée par ECO TLC



Rapport réalisé par l'Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries Textiles, juillet 2014.

Sommaire

I.	Introduction	4
a.	Contexte et objectifs de l'étude	4
b.	Méthodologie.....	5
II.	Perturbateurs et facilitateurs.....	7
a.	Définition/limite et champs de l'étude	8
b.	Les perturbateurs externes	8
c.	Les perturbateurs internes.....	12
d.	L'élasthanne, perturbateur interne.....	15
e.	Les facilitateurs	17
III.	La filière amont/préparation au recyclage.....	18
a.	Description de la filière de recyclage des textiles et linges de maison	18
b.	La collecte	19
c.	Le tri	19
d.	Le démantèlement et le délissage des corps durs	21
IV.	Les voies de recyclage des textiles et linges de maison	22
a.	Les chiffons d'essuyage	23
b.	Le recyclage mécanique pour la filature et non-tissé	24
c.	Le recyclage thermique	27
d.	Le recyclage chimique	30
e.	La valorisation énergétique/déchets ultimes.....	32
V.	Fiche éco-conception, exemple de la chemise.....	33
a.	Eco-conception en général.....	33
b.	Cas particulier de la chemise.....	34
c.	Analyse du cycle de vie	35
VI.	Les procédés à l'étude/en cours/en voie d'amélioration	37
VII.	Conclusions	39
VIII.	Annexe	40
a.	Récapitulatif des contacts pris	40
b.	Liste des valeurs par défaut, logiciel SPIN IT	43
	Glossaire:.....	46
	Sources:.....	47

Liste des illustrations/images/tableaux :

Illustration 1 : Filières de fin de vie des textiles et linges de maison	6
Illustration 2 : Liste des perturbateurs externes et leurs fonctions	10
Illustration 3 : Liste des perturbateurs internes et leurs fonctions.....	13
Illustration 4 : Liste des problèmes causés par les perturbateurs internes	14
Illustration 5 : Présentation des facilitateurs au recyclage des TL et leurs impacts.....	18
Illustration 6: Catégories des fibres textiles.....	23
Illustration 7: Réseau du recyclage mécanique des TL.....	26
Illustration 8 : Réseau du recyclage chimique des TL.....	31
Illustration 9: Fiche éco-conception d'une chemise de ville stretch	35
Illustration 10: Cycle de vie des textiles et linges de maison	36
Illustration 11 : Résultats graphique de scenarii ACV pour une chemise.....	37

I. Introduction

L'éco-organisme, Eco TLC, est une société privée, à but non-lucratif, elle a pour objectifs d'encadrer et de soutenir la valorisation des textiles usagés. Elle perçoit les éco-contributions des metteurs en marché, conventionne les opérateurs de tri afin de pérenniser ou de développer leur activité, soutient les collectivités territoriales au titre d'actions de communication, pour sensibiliser les citoyens au tri des textiles, finance des projets de R&D, et encourage le développement de produits éco-conçus.

a. Contexte et objectifs de l'étude

Eco TLC a pour objectif dans son cahier des charges 2014-2019 de faire progresser la modulation de son barème amont (mesures de prévention amont). Selon l'article du code l'environnement L.541-10 « les contributions financières sont modulées en fonction de la prise en compte, lors de la conception du produit, de l'impact de leur fin de vie sur l'environnement, particulièrement de leur valorisation matière, et de leur qualité environnementale ».

Dans cette perspective, le barème doit intégrer des critères d'amélioration de la recyclabilité des produits, c'est-à-dire prendre en compte certaines conditions et techniques afin de faciliter au maximum le recyclage des produits. Cette modulation peut reposer sur les notions suivantes :

- la durabilité ;
- l'incorporation de fibres recyclées ;
- la présence et/ou l'absence de perturbateurs et de facilitateurs au recyclage des Textiles et Lingés de maison.

Cette étude ne concerne que le troisième point et sera susceptible de servir de support à la mise en place par Eco TLC d'une prochaine éco modulation du barème amont reposant sur la notion de perturbateur/facilitateur du recyclage.

L'objectif de l'étude est donc de définir et de recenser les différents facteurs qui impactent le recyclage ou l'aptitude au recyclage des TL. C'est aussi de permettre la constitution d'une base de références pour les metteurs en marché désireux d'engager une démarche d'éco-conception orientée « fin de vie ».

Environ 600 000 tonnes de TLC sont mises en marché chaque année¹ [Eco TLC 2013], 20% de ce tonnage est collecté puis trié. Depuis 2007, la collecte et le tri des textiles en fin de vie n'ont cessé d'augmenter.

On peut distinguer plusieurs catégories de TL en fin de vie :

- les rebuts de production : chutes de production ou productions non conformes ;

- la post-consommation : articles textiles usagés ;
- les déchets professionnels : articles et vêtements de travail d'administration ou autres comme pour les secteurs hospitalier, ferroviaire, etc.

La filière du réemploi représente toujours la part la plus importante des débouchés pour les TL en fin de vie, soit 61,2%. Pour cette étude, elle ne rentrera pas en considération, seules les filières de recyclage et revalorisation y sont considérées.

La valorisation par recyclage représente 30% des tonnages triés (21% en recyclage mécanique et 9% en chiffons d'essuyage), et l'élimination en tant que déchets ultimes à hauteur de 8 à 9% (enfouissement, incinération avec ou sans valorisation énergétique, etc.).

Le champ d'étude couvre non seulement, toutes les filières de revalorisation des articles textiles habillement et linges de maison en fin de vie, mais aussi les étapes dites « de préparation au recyclage » ou encore de « déstructuration des articles » (découpage et déliassage) effectuées majoritairement dans les centres de tri.

b. Méthodologie

L'étude consiste à récupérer et à collecter toutes les informations relatives aux perturbations que créent les TL lors de leur passage dans les différents processus de recyclage. Mais aussi de mettre en avant tout ce qui, au contraire, améliore ou facilite la recyclabilité des TL.

Une première étape d'analyse et de structuration des informations indispensables à collecter pour l'étude a été nécessaire.

L'étude s'est articulée selon plusieurs grandes étapes :

- collecte d'informations sur les méthodes et moyens de collecte et de tri des TL ;
- analyse des différentes filières de recyclage et valorisation des TL en fin de vie : recherches bibliographiques, contacts mails et téléphoniques, visites de sites, études des procédés de fabrication, etc. (voir l'**annexe 1** : liste des contacts pris);
- prise de contact avec des organismes, associations, laboratoires en relation avec les recyclages des TL. Un mode opératoire ainsi qu'un formulaire de questions, adaptés à chaque filière mais aussi à chaque débouché de produits finis, ont été établis puis utilisés systématiquement lors de chaque prise de contact ;
- étude des procédés en cours de réalisation ou seulement en phase d'étude sur le recyclage des TL.

Une cinquantaine d'entreprises, organismes ou associations professionnelles ont été contactés avec un retour d'informations pour plus de 70% d'entre eux.

Les recherches ont été menées en France majoritairement mais aussi en Europe et en Asie. À noter que le recyclage des TL français n'est pas rentable pour une revalorisation réalisée à l'étranger et une réutilisation en France. Il existe peu d'acteurs utilisant uniquement des TL en fin de vie comme matière première. Un grand nombre de sociétés, spécialistes du recyclage, ont testé des TL comme matière première ou simplement essayé d'adapter leur process aux TL, mais par soucis d'approvisionnement ou de difficultés techniques, ont simplement abandonné.

L'illustration ci-dessous schématise le cycle de vie des TL, de l'utilisation par le consommateur à la fin de vie :

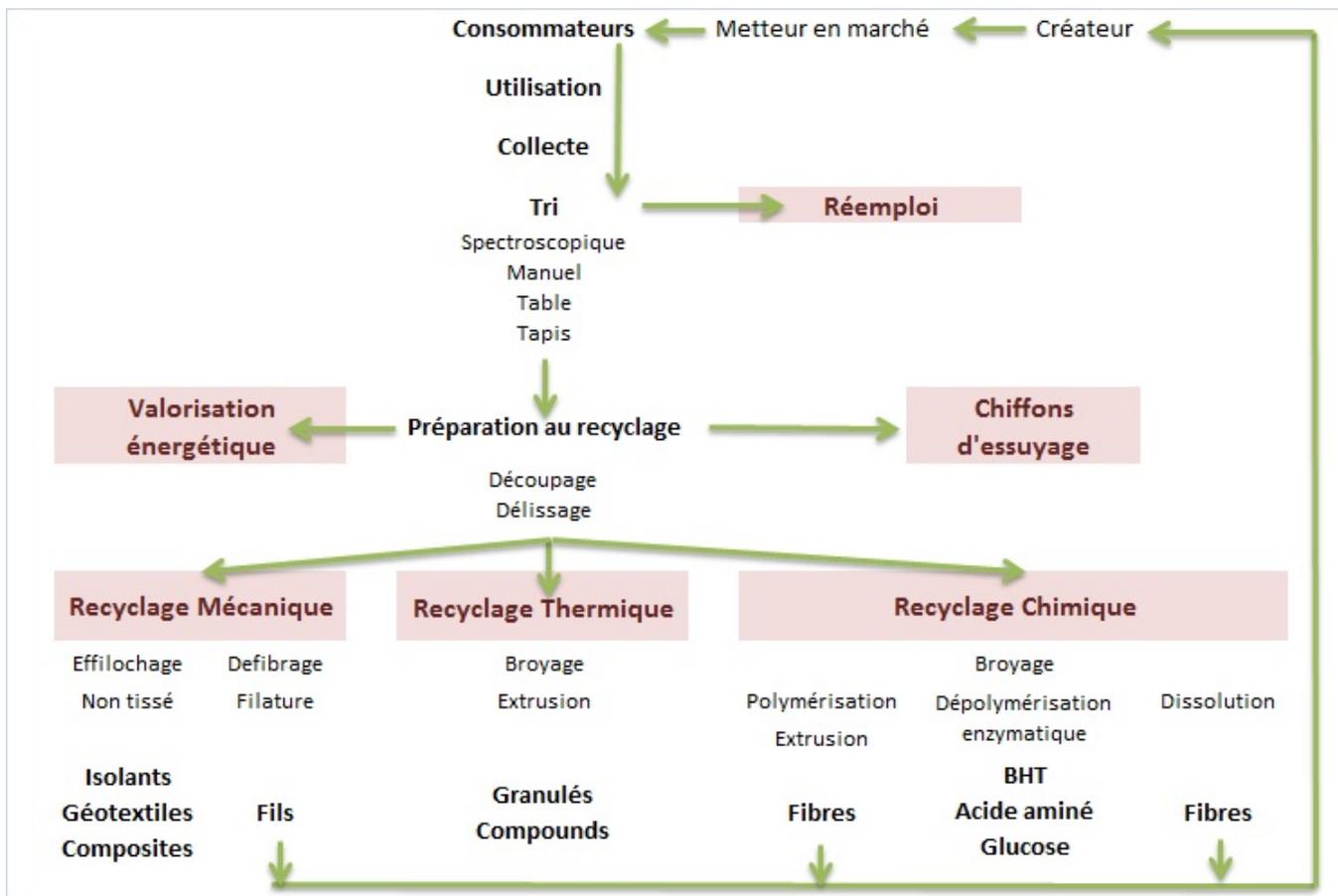


Illustration 1 : Filières de fin de vie des textiles et linges de maison

Les TL sont conçus puis mis en marché par différents acteurs du textile en France : donneurs d'ordres, fabricants, importateurs, etc.

Une fois utilisés par les consommateurs, les TL sont collectés (voir la partie III.b) selon diverses méthodes soutenues par Eco TLC puis triés dans des centres de tri. A l'heure actuelle, les TL sont triés par article et manuellement (tri sur table et tapis). D'autres méthodes de tri automatique par composition ou couleur sont sur le point d'émerger

comme le tri par spectroscopie (voir la partie III.c), procédure qui permet de déterminer la composition de chaque d'article à l'aide de spectroscopie proche de l'infrarouge.

Les TL encore en bon état, appelés aussi « crème », sont réemployés directement en France ou envoyés en Afrique.

On observe qu'avant chaque filière de recyclage, une étape que l'on peut appeler préparation au recyclage est nécessaire. Elle consiste à déstructurer les articles et à éliminer les éléments appelés plus couramment « points durs » chez les spécialistes du recyclage mécanique. À noter que cette catégorie d'éléments perturbants sera classifiée dans la partie II.a et II.b. C'est pourquoi cette partie sera présentée séparément du reste des filières de recyclage.

Suite à la préparation des TL (découpage et délissage), chaque article est envoyé en fonction de sa composition, contexture, armure ou encore de l'aspect général vers une filière de recyclage :

- chiffons d'essuyage ;
- recyclage mécanique : les TL sont effilochés ou défibrés dans le but de refaire du fil, non-tissé, isolant, géotextile, etc. ;
- recyclage thermique : les TL composés de matière synthétique sont broyés puis extrudés (fondus) pour refaire des granulés de matière première ou encore des compounds ;
- recyclage chimique : les TL sont broyés puis dissous, dépolymérisés ou encore extrudés afin de réaliser de nouveaux produits comme des fibres ;
- déchets ultimes : les TL serviront comme combustibles solides de récupération pour les cimenteries ou encore pour la valorisation énergétique.

Certains de ces nouveaux produits, plus particulièrement les fibres ou les fils sont déjà utilisés afin de refaire des TL.

Toutes ces informations ont été récoltées auprès des spécialistes du recyclage des textiles (voir l'annexe 1 : liste des contacts pris).

II. Perturbateurs et facilitateurs

La première notion de perturbateur a été créée par les spécialistes de collecte/tri du recyclage, plus particulièrement les effilocheurs, sous l'expression « points durs ». Puis, très rapidement, il est apparu que ces perturbateurs diffèrent d'une filière à une autre notamment en fonction du procédé retenu et de sa maturité.

Les facilitateurs au recyclage sont quasiment inexistants, on peut les définir comme tous les éléments non perturbateurs ou encore comme les éléments simplifiant le recyclage.

a. Définition/limite et champs de l'étude

Les perturbateurs ou facilitateurs peuvent être décrits comme des éléments à part entière, des armures ou contextures spécifiques à l'étoffe, la composition, la finition, l'aspect général de l'article ou encore ses conditions d'utilisation.

On retrouve ces éléments perturbateurs ou facilitateurs aux différentes étapes du cycle de revalorisation des textiles en fin de vie, mais aussi dans chaque filière de revalorisation. Un élément peut être perturbant dans une voie de recyclage et non dans une autre, c'est pourquoi chaque filière est analysée une à une (voir partie **IV.**) afin de mettre en avant les perturbateurs associés à un process en particulier et d'expliquer en quoi et comment ils sont perturbants.

Après quelques mois de recherche, il est apparu que les perturbateurs peuvent se distinguer en deux grandes catégories, à savoir:

- **les perturbateurs externes** : éléments externes à l'étoffe textile, cousus ou collés directement sur l'article et qui peuvent être déliés (séparés manuellement ou automatiquement) ;
- **les perturbateurs internes** : éléments constitutifs (internes au textile majoritaire de l'article) ou structurels de l'étoffe, séparés en plusieurs sous-catégories de composition, d'aspect, de contexture ou encore d'utilisation.

Ces deux classes sont définies de manière la plus exhaustive possible au **b.** et **c.** de cette partie.

Les facilitateurs ou plutôt éléments non perturbants au recyclage sont très peu nombreux. Ils sont facteurs de l'homogénéisation et de la standardisation des articles. Ils facilitent l'étape de préparation au recyclage (voir la partie **III.d**), étape incontournable et la plus sensible pour toutes les voies de recyclage des TL.

b. Les perturbateurs externes

Comme définis précédemment, les perturbateurs externes sont des éléments non constitutifs du textile de base. Ils ont des caractéristiques fonctionnelles, esthétiques voire les deux. Ces éléments varient en nombre et en genre selon la créativité des designers ou plus simplement en fonction de leur utilité dans l'article.

Exemple des boutons sur une chemise de ville standard :

- fonction : sert d'attache pour lier 2 pans ;
- composition : en plastique, métal, nacre, bois, textile, corne ou encore en cuir ;
- quantité pour une chemise : de 0 à 3 pour le col, de 7 à 9 centraux, de 1 à 2 de courtoisie, de 2 à 6 pour les manches, soit de 10 à 20 boutons par chemise.

Ces perturbateurs externes constituent un problème dans chaque filière de recyclage des TL, mais aussi dans les différentes phases de procédé de fabrication. Il y a deux exceptions : le cas de la filière de revalorisation énergétique, qui ne sera perturbée que par des éléments métalliques, et le cas, très rare, d'articles entièrement réalisés en une seule matière synthétique (éttoffe + perturbateur externe).

Ci-dessous une liste, qui se veut la plus exhaustive possible, des perturbateurs externes.

Catégorie	Fonction	Éléments perturbateurs	Composition possible
Attache	Sert à attacher/liar deux pans.	Fermeture à glissière	Nylon, Métal/Co, Nylon/Co
	Sert à attacher/liar deux pans.	Bouton	Métal, nacre, bois, corne, PET, résine, cuir.
	Sert à attacher/liar deux pans.	Bandebourg	Cuir, bois, PET
	Sert à attacher/liar deux pans.	Agrafe	Métal, PET, résine.
	Sert à attacher/liar deux pans.	Fermoir	Métal, résine.
	Sert à attacher/liar deux pans.	Boucle	Métal, PET, résine.
	Sert à attacher/liar deux pans.	Pression	Métal, PET, résine.
	Sert à attacher/liar deux pans.	Fil de couture/couture	PET, coton.
	Sert à attacher/liar deux pans.	Mousqueton	Métal, résine, PET, nylon.
	Sert à attacher/liar deux pans.	Crochet	Métal, nylon.
	Sert à attacher/liar deux pans.	Tressage/cordon	PET, Coton, PA.
	Renfort circulaire qui sert à passer un lacet, tresse, etc.	Oeillet	Métal.
Transmettre des informations	Sert à informer sur la marque.	Étiquette tissée	PET, coton.
	Sert à informer sur la composition et les conseils d'entretiens.	Étiquette imprimée	PET.
	Sert à informer sur la marque ou simplement esthétique.	Étiquette simili-cuir	PET, PUR.
	Sert à retranscrire des informations et d'anti vol.	Puce RFID	Pet, cuivre, Coton.
Caractère majoritairement fonctionnel	Sert à réfléchir/émettre de la lumière.	Bande réfléchissante	Pigment, nylon, base textile variée.
	Sert à réfléchir/émettre de la lumière.	Bande phosphorescente	Pigment, nylon, base textile variée.
	Apporte du maintien.	Bande antidérapante	Nylon, elasthanne.
	Apporte de l'élasticité au textile.	Bande élastique	Elastodiène.
	Sert à solidifier une couture ou simplement esthétique	Rivet	Métal.
	Sert à structurer le vêtement ou simplement esthétique.	Epaulette	Composite base textile/non tissé/mousse.
	Sert à bloquer et à ajuster al longueur d'un cordon.	Arrêt cordon	Métal, nylon, PET.
	Sert d'armature pour soutenir et modeler la poitrine.	Baleine (SG)	Métal.
	Sert d'armature pour rigidifier le col.	Baleine de col	Métal, plastique.
	Sert de bague de fixation et renforce l'armature du soutien gorge.	Anneau	Métal, bois.
	Sert à structurer l'article.	Mousse	PUR.
	Sert à créer un compartiment.	Fond de poche	PET, coton.
Apporte du confort ou simplement esthétique.	Doublure	PET, viscose.	
Caractère majoritairement esthétique	Sert à informer sur la marque ou simplement esthétique.	Ecusson	Fibres naturelles, synthétiques, artificelles.
	Uniquement pour l'esthétisme du textile.	Dentelle	Fibres naturelles, synthétiques, artificelles.
	Uniquement pour l'esthétisme du textile.	Broderie	Fibres naturelles, synthétiques, artificelles.
	Uniquement pour l'esthétisme du textile.	Empiècement	Fibres naturelles, synthétiques, artificelles.
	Uniquement pour l'esthétisme du textile.	Strass/paillette	Fibres naturelles, synthétiques, artificelles.
	Uniquement pour l'esthétisme du textile.	Perle	Fibres naturelles, synthétiques, artificelles.
	Uniquement pour l'esthétisme du textile.	Pompon	Fibres naturelles, synthétiques, artificelles.
	Uniquement pour l'esthétisme du textile.	Nœuds	Fibres naturelles, synthétiques, artificelles.
	Uniquement pour l'esthétisme du textile.	Pendentif	Fibres naturelles, synthétiques, artificelles.
	Uniquement pour l'esthétisme du textile.	Breloque	Fibres naturelles, synthétiques, artificelles.

Illustration 2 : Liste des perturbateurs externes et leurs fonctions

Ces perturbateurs sont déliés et éliminés majoritairement lors de l'étape dite de « préparation au recyclage ». Le déliage s'effectue en parallèle du démantèlement/découpage des articles (voir la partie III.d), cette étape est généralement effectuée à la main à l'aide d'une « découpeuse » ou plus rarement automatisée. C'est la raison pour laquelle l'élimination de ces perturbateurs reste délicate et coûteuse.

À noter que cette étape est nécessaire et pratiquée dans l'unique but de supprimer ces perturbateurs externes.

La diversité des articles à traiter et la diversité des perturbateurs à éliminer rend encore plus difficile et chronophage cette étape de retraitement. À savoir que si cette étape est correctement réalisée, les autres phases du procédé ne seront pas perturbées ou très peu.

Plus généralement, ces éléments perturbent de façon similaire les filières de recyclage :

- le taux élevé de perturbateurs externes et leur positionnement dans chaque article provoque une perte de matière considérable lors du déliage. Exemple du pull de « pompier » où plus de 40% en masse de matière est mis au déchet ;
- si des particules de perturbateurs externes sont encore présentes après le déliage, elles provoquent des anomalies, une perte qualitative et une diminution de la valeur ajoutée des produits finis. Certains marchés, comme celui de l'automobile, au cahier des charges très strict refusent les produits à base de TL en fin de vie car le taux d'impuretés encore présent dans le produit fini est trop important ;
- l'utilisation des TL comme matière première dans certains procédés de fabrication très poussiéreux, comme l'effilochage, endommage et encrasse sérieusement l'outil de production et provoque des risques d'incendie important.

Afin de remédier aux problèmes causés par ces perturbateurs externes, des pistes d'amélioration ont été mises en avant par les différents acteurs du recyclage des TL.

- Introduire un minimum de composants externes au textile.
- Eviter autant que possible les éléments uniquement esthétiques et privilégier l'aspect fonctionnel.
- Remplacer les éléments qui servent à « transmettre une information » par une impression directe sur le textile.
- Faciliter la séparation/déliage de ces éléments : lors de la conception (voire de l'éco-conception) prendre en compte l'étape de déliage et de démantèlement nécessaire avant le recyclage de l'article.
- Améliorer la durabilité des éléments fonctionnels.
- Homogénéiser la composition des fournitures avec celle de l'article, ex : article PET et fournitures PET pour un recyclage mécanique thermique.
- Standardiser les vêtements de travail (secteurs hospitalier, gendarmerie, pompier, etc.) ce qui facilitera le déliage des points durs.

Ces pistes d'amélioration serviront aussi comme base aux metteurs en marché désireux d'éco-concevoir leurs produits.

Perfectionner le délissage, en vue d'une automatisation générale, permettrait aux filières encore réticentes de s'investir dans l'utilisation de TL en fin de vie comme matière première.

c. Les perturbateurs internes

Comme définis précédemment, les perturbateurs internes sont des éléments constitutifs ou structurels de l'étoffe principale. A l'instar des perturbateurs externes, ils ont des caractéristiques fonctionnelles, esthétiques ou les deux. Ces éléments varient en fonction de leurs utilités dans l'article et il est possible de les distinguer en plusieurs catégories relatives à :

- la composition de l'étoffe : composants, même en faible proportion, qui perturbent ou bloquent complètement le recyclage d'un article dans une ou plusieurs voies de recyclage ;
- l'aspect général de l'article : la coloration de l'étoffe et les colorants utilisés pour le teindre provoquent des réactions chimiques lors de sa réutilisation ou lors de la tentative du recyclage par voie chimique ;
- aux apprêts et finitions qui empêchent le recyclage des fibres ayant subi une altération ;
- la contexture : le type de maille (liage) ou d'armure de l'étoffe qui empêchent le recyclage par des procédés mécaniques de revalorisation ;
- l'utilisation de l'article au quotidien : l'utilisation de produits nocifs comme les détergents empêchent le recyclage chimique tout autant que les conditions de collecte d'articles souillés et humides bloquent le recyclage mécanique.

A l'exception de la revalorisation énergétique, ces perturbateurs internes constituent un problème dans chaque filière de recyclage des TL₂ mais aussi dans les différentes phases des procédés de fabrication.

Ci-dessous une liste, qui se veut la plus exhaustive possible, des perturbateurs internes.

Catégorie	Fonction	Eléments perturbateurs	Estimation: Intensité de perturbation
Composition	Apporte de l'élasticité au textile.	Elasthane sup à 5 %	****

18 juillet 2014

**[ETUDE DES PERTURBATEURS ET FACILITATEURS AU
RECYCLAGE DES TEXTILES ET LINGES DE MAISON]**

	Apporte de l'élasticité au textile.	Fil d'élastique	**
	Uniquement esthétique, apporte une touche de brillance à l'article.	Fil comportant du métal	**
	Apporte de la coloration à l'article, simplement esthétique.	Colorant/teinture/couleur	*
	Apporte des performances techniques au textile.	Multi-composants (hors élasthane)>2	****
Apprêt	Apporte des performances techniques au textile.	Enduction	***
	Apporte des performances techniques et esthétiques au textile.	Impression	**
	Sert à lier 2 composants/ pans.	Colle	**
	Uniquement esthétique.	Flocage	**
	Traitement de finition apportant des caractéristiques techniques.	Apprêt chimique	*
Contexture	Apporte de la technicité à l'étoffe.	Tissu ou tricot jacquard	***
	Apporte de la finesse au tissu.	Tissu avec fil Nm élevé	***
	Rend le textile indémaillable.	Maille jetée	****
	Apporte de l'élasticité au textile.	Tissu ou tricot extensible	***
utilisation	/	Humidité	***
	/	Saleté	***
	/	Nettoyage/ lessive	*

Légende :

Intensité de perturbation, de * peu perturbant à **** très perturbant.

Ces perturbateurs ne peuvent être déliés ou éliminés de l'article par une simple étape de découpe ou de séparation comme pour les perturbateurs externes. Leur simple présence dans un article le rend inapte à certaines voies de recyclage voire à toutes.

Ci-dessous la liste des perturbateurs internes et les facteurs de perturbations associés.

Perturbateurs internes	Filière de recyclage perturbée	Perturbation
Elasthane sup à 5 % Fil d'élastique Fil comportant du métal	Recyclage mécanique (effilochage) Recyclage thermique	La présence de ces composants dans l'article entrave le bon déroulement du process de recyclage.
Colorant/teinture/couleur	Chiffons d'essuyage Recyclage thermique et chimique	Perte de valeur ajoutée. Dégorgement des colorants lorsque les chiffons sont destinés à l'essuyage de solvants en industrie. Certaines substances altèrent les réactions chimiques ou thermiques utilisées pour recycler les articles.
Multi-composants	Recyclage mécanique et thermique	La pluralité des composants provoque une diminution de solution au recyclage. Chaque voie de recyclage ne traite qu'une liste de matériaux donnée.
Enduction Impression Colle Flocage	Recyclage mécanique (effilochage) Recyclage thermique et chimique	L'ennoblissement des textiles entrave le bon déroulement des process de recyclage, détériore les outils de production, crée des impuretés dans les produits finis (carbonisation) et provoque des pertes qualitatives.
Aprêt chimique	Recyclage mécanique, thermique et chimique	Certains types d'apprêts sont irréversibles, ils rendent les fibres inaptes à certains traitements de recyclage. Ex: traitement anti-froissage bloque la filature des fibres de coton issues des TL.
Tissu jacquard Tissu avec fil de Nm élevé Maille jetée Tissu ou tricot extensible	Recyclage mécanique (effilochage)	Certaines structures d'étoffes, plus particulièrement la maille jetée, sont indémaillables et donc ineffilochables ou indéfibrables.
Humidité Saleté	Recyclage mécanique (effilochage) Chiffons d'essuyage Recyclage thermique	Les souillures présentes sur les articles les rendent inexploitable si les textiles ne sont pas nettoyés.
Nettoyage/lessive	Recyclage thermique	Certains détergents ont une action néfaste sur le PA ou le PET, qui provoquent des pertes de caractéristiques techniques.

Illustration 4 : Liste des problèmes causés par les perturbateurs internes

Plus généralement, ces éléments perturbent de façon similaire les filières de recyclage.

- De même que pour les perturbateurs internes, l'utilisation des TL comme matière première dans certains procédés de recyclage, endommage et encrasse sérieusement l'outil de production.
- Les articles multi-composants : 3 à 4 composants différents au sein d'une même pièce, génèrent une incompatibilité avec la majorité des filières de recyclage. Pour les filières capables de les absorber, cette composition multiple provoque une variabilité de composition finale ou encore des impuretés (carbonisation de certains composants).
- Perte qualitative et diminution de la valeur ajoutée des produits finis.
Certains marchés, comme celui de l'automobile au cahier des charges très strict, refusent les produits avec de l'élasthanne même en très faible quantité puisque celui-ci provoque une perte de résistance à la combustion.

Afin de remédier aux problèmes causés par ces perturbateurs, des pistes d'amélioration ont été mises en avant par les différents acteurs du recyclage des TL.

- Introduire un minimum de composants bloquants au textile (élasthanne en quantité supérieure à 5%, élastique, fil de métal).
- Eviter autant que possible l'ennoblissement uniquement esthétique et privilégier l'aspect fonctionnel.
- Privilégier les colorants de couleurs claires.
- Améliorer la durabilité des éléments fonctionnels.
- Faciliter la détermination de la composition de l'article (dans le but d'orienter le tri des TL par composition et non pas par article ce qui facilitera énormément le recyclage).
- Privilégier les mono-composants ou les bi-composants recyclables simultanément. Exemple du recyclage mécanique/thermique nécessitant des fibres purement synthétiques.

Ces pistes d'amélioration serviront aussi comme base aux metteurs en marché désireux d'éco-concevoir leurs produits.

d. L'élasthanne, perturbateur interne

Les fils d'élasthanne sont présents dans une bonne partie des articles d'habillement en raison de leur capacité à rendre l'étoffe plus souple, élastique, conformable à la morphologie des utilisateurs ou encore infroissable. Autrefois réservés principalement à l'habillement féminin, on en retrouve aujourd'hui même dans des jeans pour homme.

Les quantités d'élasthanne introduites dans un article dépendent du titrage de la fibre principale (plus le Nm est élevé moins il y a d'élasthanne) et de l'usage de l'étoffe (un

vêtement de sport compte un plus grand pourcentage d'élasthanne qu'un vêtement de ville) :

- de 1 à 5 % d'élasthanne : quasi-totalité des vêtements basiques comme les t-shirts, jeans, pulls, blousons, chemises, vestes, etc. ;
- de 6 à 10 % d'élasthanne : certains sous-vêtements, les jupes et les pantalons stretch ;
- de 11 à 15 % d'élasthanne : certaines jupes et robes (près du corps) et les sous-vêtements ;
- au-delà de 16 % d'élasthanne : les vêtements sont plus rares et ne concernent que de petites quantités, surtout des sous-vêtements et maillots de bain.

➤ **Propriétés inhérentes de l'élasthanne :**

Elasthanne, est un terme générique pour les fibres hautement élastiques (jusqu'à 700%) récupérant leur longueur initiale. On appelle élasthanne toute fibre plastique avec au moins 85 % de polyuréthane. Elles n'existent qu'en filaments (pas d'étoffe 100%) et ne se teignent pas.

Le polyuréthane a une température de fusion autour de 180°C. L'élasthanne est très inflammable et dégage des gaz toxiques quand il brûle. C'est pourquoi le secteur automobile (normes anti-feu et de combustion des matériaux) est si réticent à utiliser des matériaux provenant des TL en fin de vie.

➤ **Quantités d'élasthanne en combinaison dans un article :**

Comme énoncé précédemment et selon les analyses réalisées auprès de deux grandes enseignes de prêt à porter, on constate que le pourcentage d'élasthanne dans une étoffe dépend de la matière à laquelle il est associé. Plus généralement, on le retrouve associé :

- de 0 à 5 % avec des matières naturelles et artificielles ;
- de 5 à 10 % avec du synthétique et des mélanges coton/synthétique ;
- au delà de 10% avec du synthétique.

Au vu de ses propriétés techniques et de la diversité des articles avec lesquels il est associé, il est évident qu'il est difficile de déterminer sous quelles conditions et surtout à partir de quelle quantité d'élasthanne la combinaison élasthanne/fibre principale de l'étoffe empêche le recyclage.

➤ **Perturbateurs internes :**

Ce qui rend principalement l'élasthanne perturbant est sa propriété élastique. En effet l'élasticité apportée aux étoffes cause surtout des problèmes d'ordre mécanique lors du

retraitement. Lors du recyclage par voie mécanique (effilochage), les morceaux d'étoffe passent entre des rouleaux, ils sont alors tirés de part et d'autre afin d'être effilochés et défibrés. C'est à ce niveau que l'élasthane bloque le processus d'effilochage puisque l'étoffe devenue élastique ne « cède » pas et reste quasiment intacte. On parlera alors « d'étoiles », morceaux d'étoffe non effilochés encore présents dans le produit fini. A noter que les étoiles ne sont pas forcément constituées d'élasthane, elles peuvent être aussi dues à la structure de l'étoffe (voir la partie **IV.b**).

A l'heure actuelle, on ne peut déterminer précisément à quel taux et sous quelles conditions (article, composition de l'article, titrage) l'élasthane perturbe. Les TL traités chez les recycleurs spécialistes de l'effilochage arrivent directement par lots des centres de tri. Ces lots sont composés de TL de mêmes catégories : jeans/pantalons en coton majoritaire, tricot en laine/acrylique, etc. La composition précise de chaque article ou même plus largement du lot est inconnue.

On peut tout de même émettre l'hypothèse selon laquelle les articles comprenant une quantité d'élasthane inférieure à 5% ne seraient pas perturbants pour le recyclage mécanique par effilochage puisque la composition de la majorité des jeans et pantalons en contient une proportion inférieure à 5% et que cela ne semble pas entraîner une souci lors du recyclage.

e. Les facilitateurs

Comme définit précédemment les facilitateurs ne sont pas des éléments ou des composants de TL mais plutôt un ensemble d'éléments. On appellera facilitateurs tout ensemble d'éléments ayant un impact positif sur au moins l'une des filières de recyclage ou sur au moins une étape de recyclage.

Ces facilitateurs constituent un intérêt dans chaque filière de recyclage des TL, mais aussi dans les différentes phases des procédés de fabrication. Ci-dessous une liste des facilitateurs, qui se veut la plus exhaustive possible.

Facilitateurs au recyclage		Impacts	Filières de recyclage associées
Homogénéité	de couleur	Au niveau du tri et amélioration de la valeur ajoutée des produits de seconde vie.	Préparation au recyclage, Chiffons d'essuyage.
	du textile principal	Tri par composition, plus d'opportunités de fin de vie.	Préparation au recyclage, Recyclage thermique, mécanique, chimique.

	du textile et des composants	Au niveau du tri par composition, délissage non nécessaire, amélioration de la valeur ajoutée.	Préparation au recyclage, Recyclage thermique, chimique.
	de l'emplacement des perturbateurs externes	Découpe et délissage plus efficace, gain de temps, minimisation de la perte matière.	Préparation au recyclage.
Standardisation des vêtements à usage professionnels afin de créer plus d'opportunité de fin de vie.		Découpe et délissage plus efficace, gain de temps, minimisation de la perte matière.	Préparation au recyclage, Recyclage mécanique.
Séparation/démantèlement automatique.	Perturbateurs externes	Découpe et délissage plus efficace, gain de temps, minimisation de la perte matière, plus d'opportunités de fin de vie.	Toutes les filières de recyclage.
	Articles	Étape de découpe non nécessaire ou très simplifiée, gain de temps, minimisation de la perte matière.	Toutes les filières de recyclage.

Ces facilitateurs font partie des pistes pour éco-concevoir les TL.

Illustration 5 : Présentation des facilitateurs au recyclage des TL et leurs impacts

III. La filière amont/préparation au recyclage

Pour rappel, plus de 2,5 milliards de pièces sont mises en marché chaque année en France, respectivement 82% de vêtements, 8% de linges de maison et 10% de chaussures. Ce qui représente entre 3 et 4% du budget des ménages en France, 11 kilogrammes par an et par habitant, soit au total plus de 50 milliards d'euros² [Alain CLAUDOT fév. 2014]. Dans ce chapitre, les opérations correspondant à la préparation au recyclage vont être décrites. Les problèmes technologiques seront présentés et nous aborderons quelques pistes d'amélioration.

a. Description de la filière de recyclage des textiles et linges de maison

Les TL, et plus particulièrement dans le secteur de l'habillement, sont des produits de mode qui suivent les saisons. Leur fin de vie n'est donc pas associée à leur perte de fonctionnalité mais plutôt aux tendances actuelles, styles et goûts du propriétaire. Ce qui justifie le pourcentage important que représente le réemploi dans la filière du recyclage des TL.

Environ 128 000 tonnes de TL sont collectées et triées chaque année, approximativement 62% sont réemployées directement (filiale Afrique du nord, friperies, etc.), 9% terminent en

chiffons d'essuyage pour l'industrie, 21% sont recyclées (voir les filières décrites dans le IV.) et 8% finissent en déchets ultimes dont 3% en valorisation énergétique¹ [Eco TLC 2012].

Les TL sont collectés, puis triés dans des centres de tri spécialisés. Ils sont alors séparés selon plusieurs catégories et réexpédiés dans les différentes voies de recyclage existantes (voir la partie IV.) dans le but de servir à nouveau comme matière première pour de nouveaux produits : non-tissé, isolant, fibre, fil, géotextile, compound, granulé, etc.

b. La collecte

Les TL, devenus « non utilisables » par le consommateur pour des raisons purement esthétiques, d'usure ou encore de perte de fonctionnalité, sont collectés/récupérés selon différentes méthodes :

- le don à une association caritative ;
- le dépôt en conteneur ou box ;
- le porte à porte (historiquement dans le Nord de la France);
- de plus en plus par des chaînes de magasin ou directement en boutique contre des bons de réduction.

Il existe en France plus de 30 800 points d'apport de TL usagés³ [Eco TLC 2013]. Les consignes de dépôt sont similaires d'une méthode de collecte à une autre : articles propres et secs, mis en sac fermé de petite contenance.

A ce stade de la filière, on peut déjà observer des perturbateurs externes au recyclage des TL : **les vêtements souillés et/ou humides**. Cette nuisance est :

- soit apportée directement par le consommateur, malgré les directives et consignes de dépôt à respecter : vêtements apportés déjà souillés et/ou mouillés, sacs mal fermés, sacs laissés sur la voie publique aux contacts des intempéries et non dans les box ;
- soit liée aux méthodes de collecte, de réacheminements ou encore de stockages sur les centres de tri.

c. Le tri

Une fois arrivés dans les centres de tri (en France principalement, mais aussi à l'étranger), les TL sont déchargés manuellement afin de réaliser un premier tri grossier. Ceci va permettre de sélectionner des pièces de qualité boutique (haut de gamme en bon, voire très bon état) pour le réemploi ou au contraire des pièces souillées et humides pour les déchets ultimes.

Le reste des TL est trié par article, à l'heure actuelle, principalement manuellement dans les centres de tri en France⁵ [ADEME sep. 2012].

- **Sur tapis** : les TL sont convoyés sur un tapis pour être triés plus finement selon une dizaine de catégories (déchet, tricot, cuir, fourrure, blouson, qualité boutique, mélange de coton pour effilochage, coton pour essuyage, coton blanc pour essuyage, lingerie, pyjama, sport, etc.).
- **Sur table** : tri plus poussé, où l'on va trier par qualité de l'article pour le réemploi et réacheminer des erreurs de tri précédentes.

D'autres méthodes de tri sont en cours de développement ou sur le point d'être implantées comme la machine de tri mise au point par le groupement Textiles4Textiles⁴ [Textiles4Textiles]. Cette technologie par spectroscopie proche de l'infrarouge (capable de reconnaître les polymères entre eux et les fibreux) nécessite quelques améliorations pour pouvoir correctement différencier les articles sombres et humides.

Ce type de machine permettra d'automatiser l'étape de tri, mais aussi de trier par matière et par couleur et non pas par qualité d'article. Le but final étant d'améliorer la productivité et la qualité de l'opération de tri afin de mieux orienter les TL et de faire progresser leur valorisation. Ces systèmes concernent surtout les articles destinés à être recyclés et non réemployés.

A ce stade de la filière, on peut observer des perturbateurs internes au recyclage des TL : **les articles multi-composants et les couleurs**.

Les TL sont généralement composés de plusieurs fibres, en fonction de la catégorie de l'article, de l'utilisation ou encore de la mode. Exemple : pour la chemise, on retrouve des sous-catégories de ville, décontractée, près du corps ou encore sportswear. La composition va varier principalement entre 4 matières : coton, polyester, polyamide et élasthane.

La diversité des composants au sein d'un même article pose problème pour les débouchés de recyclages thermique (pour les articles synthétiques). Le recyclage mécanique par effilochage accepte les multi-composants sous certaines conditions (voir la partie **IV.b**).

Ces multi-composants sont difficiles à orienter manuellement dans les centres de tri puisque la détermination de la composition se réalise principalement au toucher et à l'œil par une opératrice. Ce qui justifie l'intérêt des machines de tri automatique par composition.

De plus ce type de tri plus fin aura un impact positif sur la qualité des produits finis à base de TL usagés puisqu'on pourra alors déterminer plus précisément leur composition finale.

d. Le démantèlement et le délissage des corps durs

Une fois triés, les TL sont découpés selon une taille standard nécessaire en fonction de la filière de recyclage empruntée. Puis délissés de tout corps dur, c'est-à-dire que l'on va supprimer (par découpe) tous les composants gênants au recyclage de l'étoffe. C'est lors de cette phase de recyclage que vont être supprimés tout les **perturbateurs externes** (voir **illustration 2**).

Cette étape, aussi appelée « préparation au recyclage », a pour but de transformer et de conditionner l'article en vue de le rendre recyclable (découpe en chiffons, déchiquetage, élimination des perturbateurs externes, etc.). Cette opération est réalisée directement dans les centres de tri, par des ESAT (établissement et service d'aide par le travail, anciennement CAT) ou encore chez certains recycleurs équipés de coupeuse guillotine.

Le délissage manuel réalisé à l'aide d'une découpeuse/cisailleuse, contraint par la diversité des articles, est d'une grande efficacité, mais il a un très faible rendement. Par contre, pour le délissage automatisé, le point faible est la mauvaise qualité du délissage. Pour ce type de délissage il est nécessaire de pouvoir récupérer, tout au long du procédé, les particules de perturbateurs externes restantes. A noter qu'à l'inverse du délissage manuel, la vitesse de traitement est très élevée.

Le délissage des perturbateurs externes et le découpage des articles sont primordiaux pour le recyclage des TL en fin de vie. Ce traitement implique :

- un rendement aléatoire, fonction de la technique de séparation employée (manuelle ou automatique) ;
- perte matière importante, exemple du pull pompier une fois délissé seulement 62% en masse du textile est recyclé ;
- un temps et un coût non négligeables ;
- des risques de pollution et de taux élevé d'impuretés encore présentes après traitement.

Ces contraintes sont déterminantes pour les prochaines étapes de recyclage. Toutes les filières, à l'exception de la valorisation énergétique, sont impactées économiquement, techniquement et qualitativement par cette phase.

Afin de faire progresser le délissage des perturbateurs externes et le découpage des TL, des pistes d'amélioration ont été mises en avant par les différents acteurs de la préparation au recyclage.

- Rassembler autant que faire se peut les perturbateurs sur l'article afin de minimiser la perte matière et de gagner en temps de traitement.
- Lors de la conception, prendre en compte le démantèlement et le délissage futurs des corps durs (voir la partie **VI.** sur les fils dégradables sous conditions WEAR 2).

- Minimiser le nombre de coutures (surtout épaisses) sur le même article, privilégier les liages de pans par thermocollage.

Ces pistes d'amélioration serviront aussi comme base aux metteurs en marché désireux d'éco-concevoir leurs produits.

Perfectionner le déliassage et le découpage, en vue d'une automatisation générale, permettrait de rendre plus rentables les différentes filières de recyclage.

IV. Les voies de recyclage des textiles et linges de maison

Afin de mieux comprendre les différentes filières de recyclage des TL en fin de vie, l'illustration 6 schématise de façon synthétique les différentes catégories de fibres, que l'on peut trouver sur le marché de l'habillement et des linges de maison.

Type	Catégorie	Origine	Dénomination	Marque/ Formule
Fibres Naturelles	Organiques	Végétales	Coton	
			Lin	
			Chanvre	
			Sisal	
			Jute	
			Kenaf	
			Ramie	
		Animales	Laine	
			Soie	
			Pashmîna	
			Cachemire	
			Mohair	
			Alpaga	
			Angora	
Fibres Chimiques	Synthétiques	Issu du pétrole	Polypropylène	PP
			Polyester	PET
			Polyamide	PA, Nylon
			Polyuréthane	PUR
			Aramide	Nomex, Kevlar, Twaron
			Acrylique	PAN
			Elasthane	Lycra, Spandex
	Issu des biomasses	Acide polylactique	PLA	

Artificielles	Cellulosiques	Viscose	Soie artificielle, Rayonne
		Modal	
		Acétate de cellulose	
		Lyocell	Lyocell, Tencell
		Bambou	

Illustration 6: Catégories des fibres textiles

Les fibres végétales représentent environ 36% du volume mis sur le marché et les fibres synthétiques/artificielles environ 58%.

Mise à part la valorisation énergétique (TL mis aux déchets ultimes), chaque filière de valorisation est associée à une ou plusieurs catégories de TL, et à un ou plusieurs composants. Les articles ne peuvent être orientés que vers la filière correspondant à chacun de ses composants, pour lesquels les perturbateurs sont admis en vue du recyclage.

C'est pourquoi, on peut distinguer des différences de perturbateurs et de perturbations en fonction de la filière de valorisation choisie.

a. Les chiffons d'essuyage

En 2012, plus de 14 000 tonnes de TL collectés en France ont été valorisées en chiffons d'essuyage¹ [Eco TLC 2012]. Ils sont destinés principalement à l'utilisation par l'industrie lourde ou encore par les ménages.

➤ Process et fin de vie :

Les TL en fin de vie collectés sont triés dans les centres de tri selon plusieurs critères qui vont permettre de réaliser des chiffons de gammes différentes, en fonction de : la texture, la couleur (avantage pour le blanc), la structure de l'étoffe et la composition.

Le procédé de « fabrication » des chiffons d'essuyage, réalisés à partir de TL en fin de vie, suit principalement deux réseaux :

- **Les fabricants** : ces entreprises reçoivent les TL triés par catégories et réalisent les étapes de découpe (ajustés à la taille standard), de délissage des perturbateurs externes et de conditionnement directement sur leur site. Des partenariats existent entre certains fabricants et des centres de tri afin que les TL soient délissés et découpés directement sur le centre de tri avant d'arriver sur le site des fabricants de chiffons. Dans ce cas, les fabricants sont également des négociants.
- **Les négociants** : Les TL triés par catégories sont découpés et délissés des perturbateurs externes sur le centre de tri ou expédiés à l'étranger (Afrique du Nord, pays de l'Est et péninsule arabique ou encore en Inde) pour être traités. Les lots de TL

traités sont alors revendus en France chez des négociants pour être reconditionnés afin d'être revendus.

Les étapes de tri, délissage et découpe sont, à ce jour, uniquement réalisées manuellement. Ce procédé de fabrication est arrivé à maturité et est fortement concurrencé par des produits à base de matériaux vierges et à usage unique.

➤ **Caractérisation des articles associés :**

On retrouve, dans cette filière de recyclage, principalement des articles en coton ou en mélange coton/polyester et coton/polyamide avec le coton comme espèce majoritaire. Se retrouvent aussi les articles de structures souples, en éponge, molleton ou encore en jersey. De plus, beaucoup de linges de maison ainsi que des tissus ou tricotés absorbant en font partie.

➤ **Perturbations :**

Les perturbateurs identifiés, dans cette filière, sont tous les éléments non constitutifs du textile, c'est-à-dire les perturbateurs externes, entre autres : les coutures épaisses, les doublures, fonds de poches, les empiècements, etc. ainsi que des perturbateurs internes : souillure et humidité.

Ces perturbateurs provoquent une perte de matière première importante lors du délissage et la nécessité de procéder à l'étape de délissage des points durs avant de pouvoir valoriser les TL en chiffons, étape couteuse et lente qui impacte la rentabilité de toute la filière.

➤ **Amélioration/éco-conception :**

L'automatisation du délissage, la réduction de la quantité de perturbateurs externes et de meilleures communications sur les conditions de collecte (afin de limiter les articles collectés souillés et humides) permettront d'augmenter le taux de recyclabilité dans cette filière.

b. Le recyclage mécanique pour la filature et non-tissé

En 2012, le recyclage mécanique a été identifié comme la filière de revalorisation des TL en fin de vie la plus porteuse (exception faite du réemploi). Ce recyclage consiste à dématérialiser les articles textiles en matière première secondaire, c'est-à-dire de passer de l'état d'étoffe à la fibre. Ces nouvelles matières premières sont ensuite réintroduites pour fabriquer à nouveau du fil, du non-tissé ou de la bourre.

➤ **Process et fin de vie :**

A ce stade de la filière de recyclage, les TL en fin de vie collectés ont été triés dans les centres de tri pour obtenir des articles correspondant aux attentes de cette filière.

- Délessage et découpage : étape réalisée soit dans le centre de tri ou ESAT manuellement ou soit directement chez l'effilocheur muni d'un système automatique de coupeuse/guillotine et de récupération des perturbateurs externes par densité. A noter qu'en termes de qualité et de précision, la procédure manuelle est meilleure bien que plus lente et plus couteuse. A ce niveau, on retrouve les TL sous forme de « chiquettes », c'est-à-dire de morceaux grossiers d'étoffe.
- Effilochage : étape réalisée soit chez un recycleur spécialiste des TL ou de chutes de production soit chez un prestataire de services pour du travail à façon. Le process est entièrement automatisé et les chiquettes passent entre des rouleaux d'effilochage (garnis de picots plus ou moins larges en fonction de l'avancement dans le process) où l'étoffe est alors étirée de part et d'autre afin d'obtenir des fibres. Cette étape agresse et casse les fibres et affecte leurs propriétés mécaniques tout autant que leur longueur. A ce niveau, on retrouve des fibres et de la bourre, directement utilisables en tant que produits finis ou envoyés comme matière première secondaire pour d'autres étapes de valorisation.
- Pré-démaillage et démaillage : étape réalisée chez un spécialiste des TL et des chutes de production. Le process est entièrement automatisé et sous brevet, les TL découpés et délessés sont pré-démaillés et démaillés afin de ne pas agresser et casser les fibres, le but étant de garantir une certaine qualité des fibres de seconde vie. A ce niveau, on retrouve des fibres et de la bourre utilisables envoyées comme matière première secondaire pour l'étape de filature.
- Seconde vie de filature : étape réalisée chez les filateurs spécialiste des TL en fin de vie ou de chute de production. Le process est entièrement automatisé et la bourre de fibres provenant des TL est filée soit directement en 100% matière recyclée soit en mélange avec de la matière vierge pour améliorer la qualité du fil produit et/ou rendre possible l'étape de cardage. Principalement deux types de filature sont employés : soit la filature conventionnelle à anneaux 'ring spinning' (fils en torsion S ou Z), les fils alors obtenus par cette méthode sont généralement de bonne qualité, soit la filature open end adaptée aux fibres courtes. A ce stade du process, on retrouve des fils à base de TL en fin de vie, utilisables pour tisser ou tricoter de nouveaux articles.
- Seconde vie non-tissé : étape réalisée chez des producteurs de non-tissés capables d'absorber de la bourre provenant de chutes de production ou TL en fin de vie. Le process est une succession d'étapes mécaniques : ouvraison, cardage (démêle et individualise les fibres), nappage air laid (dispersion des fibres pêle-mêle par un flux d'air pour former un voile), thermoliage (des fibres de polyester au point de fusion bas, sont introduites en mélange dans la bourre afin de consolider la nappe épaisse via de la chaleur et de la pression) et découpe/conditionnement. A ce stade du process, on retrouve des non-tissés à base de TL en fin de vie (en 100% mais aussi en mélange avec de la matière vierge), utilisables en tant qu'isolant acoustique et thermique. A noter que la bourre de fibres provenant de TL peut subir, par d'autres

étapes intermédiaires, des traitements antifongiques, retardateurs de flamme, etc., afin d'apporter d'autres caractéristiques au non-tissé produit.

Il existe plusieurs façons d'associer les étapes décrites précédemment. Ci-dessous une illustration du réseau de recyclage mécanique des TL.

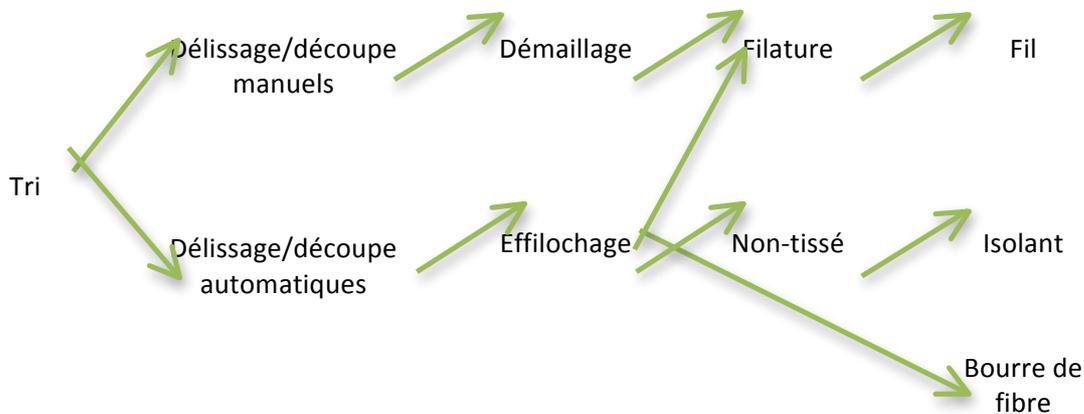


Illustration 7: Réseau du recyclage mécanique des TL

➤ Caractérisation des articles associés :

On retrouve, dans cette filière de recyclage, plusieurs catégories de matière :

- coton ou des mélanges coton/polyester, coton/polyamide avec le coton majoritaire ;
- laine ou des mélanges laine/acrylique avec la laine majoritaire ;
- aramide (provenant de vêtement professionnel technique) ;
- parfois du lin et des matières synthétiques (assez rarement).

A noter qu'un faible taux d'élasthanne (maximum de 5%) est acceptable en mélange avec les autres composants pour la réalisation de certains produits finis comme les non-tissés. Plus généralement, on retrouve des articles de différentes structures : tissus en toile, sergé, velours, etc., et tricotés en jersey, en côte, etc., soit des étoffes peu ou moyennement denses/serrées (en opposition aux tissus qui sont utilisés pour la réalisation de doublures, impossible à traiter dans cette filière). Avec une exception pour les tricotés réalisés en maille jetée, plus particulièrement en jauge fine. Les grandes catégories d'articles de cette filière sont les jeans, pantalons, vêtements de travail ou encore les chemises.

➤ Perturbations :

Les perturbateurs identifiés dans cette filière sont tous les éléments non constitutifs du textile, c'est-à-dire tous les perturbateurs externes. Plus précisément : les éléments métalliques et plastiques, les doublures, étiquettes, dentelles, etc. Mais aussi quelques perturbateurs internes : souillure et humidité, maille jetée, tissu ou tricot jacquard, tissu avec un Nm élevé, fil métal, fil élastique, bords côtes élastiques, mélange de couleurs, certains apprêts chimique, tricot ou tissu élastique et élasthanne à plus de 5%.

Ces perturbateurs provoquent une perte de matière première importante lors du délissage et la nécessité de procéder à l'étape de délissage des points durs avant de pouvoir valoriser les TL en chiffons, étape couteuse et lente qui entraîne une diminution de la rentabilité de toute la filière. De plus, ces éléments provoquent des perturbations, différentes à chaque étape :

- effilochage : les particules restantes des perturbateurs externes encrassent et détériorent les outils de production. Les particules métalliques provoquent de grands risques d'incendie surtout lors de l'effilochage de la laine, matière qui crée beaucoup de poussières ;
- filature : la multiplication des composants au sein d'un même article, accentue le caractère de variabilité de composition du produit de seconde vie créé (valable aussi pour le non-tissé) ;
- non-tissé : les particules restantes des perturbateurs externes, à ce stade beaucoup de morceaux d'étiquette ou d'étoiles (petits morceaux d'étoffe élastique non effilochés), diminuent la valeur ajoutée des produits finis et provoquent une perte qualitative. Dans le cas de l'utilisation de non-tissé pour le secteur automobile, l'élasthanne, même inférieure à 5% en masse, provoque une perte qualitative du produit fini. Diminution du caractère de résistance à la combustion par le non-tissé. Les produits finis issus du recyclage des TL sont majoritairement de couleur bleu-gris ce qui fait aussi diminuer la valeur ajoutée.

On peut conclure que ces perturbations sont soit d'ordre mécanique (lié au bon déroulement du processus) soit de caractérisation (liée à la composition du produit fini).

➤ **Améliorations/éco-conception :**

De même que pour les chiffons d'essuyage, les améliorations ci-dessous permettront d'augmenter le taux de recyclabilité dans cette filière :

- l'automatisation du délissage ;
- la réduction de la quantité de perturbateurs externes ;
- de meilleures communications sur les conditions de collecte ;
- la réduction du nombre de composants par article.

c. Le recyclage thermique

Cette filière est très peu développée pour le recyclage des TL en France, principalement parce qu'elle est réservée aux articles composés de matière synthétique ou contenant des matériaux synthétiques. Pourtant, selon les acteurs de cette filière, ce procédé de recyclage sera, à terme, plus rentable économiquement que le recyclage mécanique. Les produits finis réalisés dans cette filière sont destinés principalement à l'utilisation dans la plasturgie ou encore réintégrés dans le secteur du textile.

➤ **Process et fin de vie :**

A ce stade de la filière de recyclage, les TL en fin de vie collectés ont été triés sur les lignes des centres de tri pour obtenir des articles uniquement synthétiques ou contenant en majorité des matériaux synthétiques. Des essais ont été réalisés dans des centres de tri pour tester le tri automatique par spectroscopie infrarouge. Cette filière met en avant l'importance d'un tri par composition (par spectroscopie) et non par article, car il est important pour le bon déroulement de ce process de connaître la composition exacte de chaque article. Le mélange d'articles à base de fibres naturelles comme la laine avec un lot d'articles en polyester, par exemple, aura une incidence plus que néfaste sur le bon déroulement du traitement.

Le procédé de recyclage thermique comprend les étapes suivantes :

- délissage et découpage : étape réalisée manuellement, soit directement dans le centre de tri ou ESAT, pour plus de précision de traitement. A ce niveau, on retrouve les TL sous forme de « chiquettes », c'est-à-dire de morceaux grossiers d'étoffe ;
- broyage : étape réalisée chez un recycleur spécialiste des TL ou de chutes de production. Le process est entièrement automatisé, les chiquettes passent entre des cylindres munis de couteaux, l'étoffe est alors déchirée et broyée de toutes parts afin d'obtenir des petits voire de très petits morceaux d'étoffe ;
- densification : seconde étape du process, les TL broyés sont acheminés vers un tambour afin d'être agglomérés et densifiés. Ce procédé permet de mélanger et plastifier le produit par le biais de lames montées sur rotors afin de préparer à la troisième étape du process. A ce niveau, on retrouve des agglomérats de fibres fondues ;
- extrusion/composage : Les agglomérats de fibres provenant des TL sont extrudés ou composés (ajout d'additifs ou d'autres composants). C'est-à-dire, les agglomérats sont fondus puis compressés afin d'obtenir des granulés mono-composants ou multi-composants. Ces granulés de matière première secondaire sont utilisables pour produire d'autres matériaux ;
- transformation en article de seconde vie : dernière étape du process, les granulés sont transformés par injection ou encore par extrusion pour réaliser de nouveaux produits : barrière anti-oiseaux, fibres synthétiques, etc.

Ce type de procédé est assez général dans le secteur de la plasturgie, mais très peu d'entreprises l'ont adapté et perfectionné pour pouvoir traiter des TL en fin de vie. Une demande de financement et de subventions est en cours pour l'investissement d'une unité de recyclage par voie thermique en France. Cette unité pourra prendre en charge des TL composés de polyester ou encore de polyamide.

➤ **Caractérisation des articles associés :**

On retrouve, dans cette filière de recyclage, essentiellement des articles composés de matériaux synthétiques : polyester, polyamide, PVC, polypropylène, à l'état pur ou en mélange polyester/polyamide, polyester/PVC, polyamide/PVC, polyester/polypropylène. Et quelques fois des mélanges avec des fibres naturelles comme coton/PVC. A noter que chaque acteur de la filière a sa propre spécialité et qu'il ne traite qu'un seul, voire deux types de composants ou mélanges de composants.

Dans cette filière, la structure de l'article n'aura pas d'incidence, toutes les catégories d'articles peuvent être traitées à condition d'être en synthétiques. Ce qui limite le nombre de TL pouvant être traités. On peut tout de même mettre en avant certaines classes de TL comme les articles de sport, les sous-vêtements, les articles en polaire, les produits en skai ou encore les rideaux.

➤ **Perturbations :**

Les perturbateurs identifiés, dans cette filière, sont tous les éléments non constitutifs du textile, c'est-à-dire tous les perturbateurs externes, surtout les fils de couture et les éléments métalliques. Mais aussi des perturbateurs internes : souillure et humidité, quantité d'élasthanne supérieure à 3%, détergents (lessives), colorant/teinture, apprêts, impressions, flocages, colles et surtout les multi-composants (supérieur à 2).

Ces perturbateurs provoquent une perte de matière première importante lors du délissage. La nécessité de procéder à l'étape de délissage des points durs avant de pouvoir valoriser les TL en granulés de matière première secondaire, étape couteuse et lente qui fait diminuer la rentabilité de toute la filière. De plus, tous ces éléments provoquent des perturbations accrues au stade de l'extrusion et par voie de conséquence engendrent des déséquilibres dans les granulés produits :

- les particules restantes des perturbateurs externes, surtout métalliques, encrassent et détériorent profondément les outils de production ;
- Les fils de coutures restants, fils principalement en coton ou coton/polyester, sont carbonisés dans l'extrudeuse et ne sont pas filtrés en tête d'extrudeuse car trop fins. Ces impuretés font diminuer la qualité intrinsèque du produit fini ;
- Les perturbateurs internes comme l'élasthanne (>3%), apprêts, colorants, lessives, etc. provoquent aussi une perte qualitative du produit fini. Il arrive que certains de ces perturbateurs apporte même un caractère « malodorant » au produit fini ;
- Certaines extrudeuses, non munies de dégazage, ne peuvent pas accepter les articles humides qui génèrent de la porosité dans les granulés ;
- la multiplicité des composants au sein d'un même article, accentue le caractère de variabilité de composition du produit de seconde vie créé.

On peut conclure que ces perturbations sont soit d'ordre mécanique (liées au bon déroulement du process) soit de caractérisation (liées à la composition du produit fini).

➤ **Amélioration/éco-conception :**

Les améliorations ci-dessous permettront d'augmenter le taux de recyclabilité dans cette filière :

- l'automatisation du délissage ;
- la réduction de la quantité de perturbateurs externes ;
- de meilleures communications sur les conditions de collecte ;
- la réduction du nombre de composants par article.

d. Le recyclage chimique

Le recyclage chimique n'est que très peu développé en France et Europe de nos jours. Par contre, il est utilisé à plus grande échelle en Asie.

Ce recyclage consiste à dématérialiser les articles puis par régénération chimique de recréer des fibres synthétiques. C'est-à-dire de passer de l'état d'étoffe à l'état de fibres/filaments/granulés par le biais de procédés de dissolution, de dépolymérisation des fibres/filaments en molécules et de polymérisation ou encore d'extrusion.

➤ **Process et fin de vie :**

A ce stade de la filière de recyclage, les TL en fin de vie collectés ont été triés dans des centres de tri pour obtenir des articles correspondant aux attentes de cette filière.

- Délissage et découpage : étape réalisée manuellement, soit directement dans le centre de tri soit par ESAT, pour plus de précision de traitement. A ce niveau, on retrouve les TL sous forme de « chiquettes », c'est-à-dire de morceaux grossiers d'étoffe.
- Broyage : étape réalisée chez un recycleur spécialiste des TL ou de chutes de production. Le process est entièrement automatisé, les chiquettes passent entre des cylindres munis de couteaux, l'étoffe est alors déchirée et broyée de toutes parts afin d'obtenir des petits voire de très petits morceaux d'étoffe.
- Dissolution/solvolyse : les morceaux d'étoffe sont dissouts par solvolyses successives (dépolymérisation) afin de récupérer une solution contenant la matière synthétique à recycler. A ce niveau, on retrouve deux catégories de matières : celles dissoutes et contenues dans la solution et, dans le cas d'articles multi-composant, des fibres en suspension dans le solvant.
- Filtration/extraction : Les fibres non dissoutes par le solvant sont filtrées et extraites. Ces fibres sont soit revendues directement chez un effilocheur pour être réintégrer

- sous forme de bourre par exemple (fibres de qualité moyenne), ou soit compactées en briquettes, dans le cas de fibres de mauvaise qualité, pour servir de combustible.
- Précipitation/condensation : La solution contenant les fibres dissoutes est précipitée ou condensée (fonction du process) afin de récupérer les matériaux et molécules d'intérêt pour la chimie. A ce niveau, on retrouve plusieurs catégories de matières : poudre de polymères, acides aminés, glucose, éthanol ou encore du BHT. Certain de ces composants seront à nouveau polymérisés afin de fabriquer des matériaux textiles.
 - Extrusion : Les poudres de matériaux synthétiques (provenant des TL) sont extrudées soit directement sans additif soit avec un autre composant (de même nature) afin d'améliorer les caractéristiques techniques du produit fini. Plus précisément, les poudres sont fondues puis compressées afin d'obtenir des granulés mono-composants ou directement des filaments synthétiques. Les granulés de matière première secondaire sont utilisables pour produire d'autres matériaux et les filaments peuvent être réintégrés dans le secteur du textile.

Il existe plusieurs façons d'associer les étapes décrites précédemment. Ci-dessous une illustration du réseau de recyclage chimique des TL.

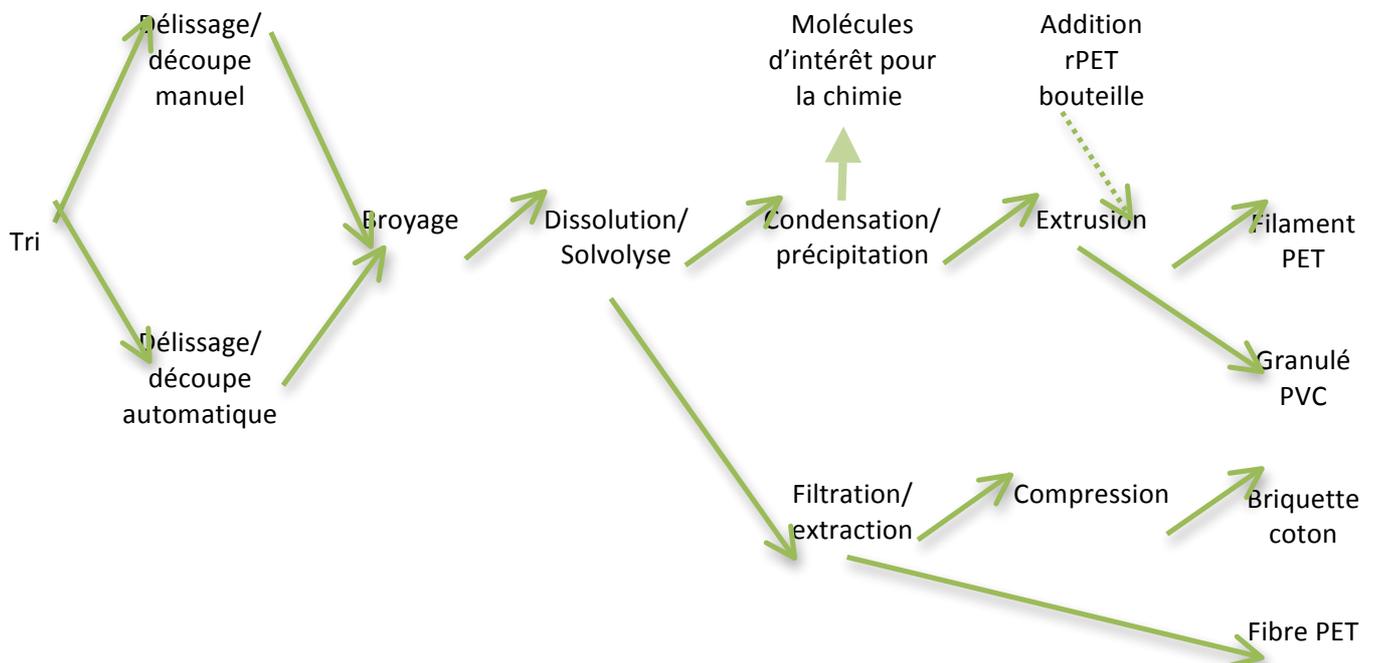


Illustration 8 : Réseau du recyclage chimique des TL

➤ **Caractérisation des articles associés :**

On retrouve dans cette filière de recyclage, deux grands types de réseaux qui traitent différentes catégories d'article :

- le procédé par solvolyses successives traite le tout-venant des articles en fin de vie. Chaque article, de composition synthétique ou naturelle peut être recyclé, à l'exception de l'acrylique qui pose problème. La structure de l'article n'aura pas d'incidence ici et toutes les catégories d'articles peuvent être traitées indépendamment. Ce procédé n'en est pour le moment qu'au stade de l'unité pilote ;
- ce procédé chimique associe une étape de recyclage thermique (extrusion), traite le polyester et les mélanges polyester/coton, polyester/PVC. A noter que chaque acteur de la filière a sa propre spécialité et qu'il ne traite qu'un seul type de composition. Ce process existe en Europe depuis quelques mois pour le traitement des draps de lit usagés et depuis quelques années pour les bâches.

➤ **Perturbations :**

Les perturbateurs identifiés dans cette filière sont tous les éléments non constitutifs du textile, c'est-à-dire tous les perturbateurs externes. Il existe aussi quelques perturbateurs internes : fil métal, colorant /teinture, certains apprêts chimiques.

Ces perturbateurs provoquent une perte de matière première importante lors du délissage et la nécessité de procéder à l'étape de délissage des points durs avant de pouvoir valoriser les TL en qualité de matière première secondaire, étape coûteuse et lente qui diminue la rentabilité de toute la filière.

Les colorants et apprêts chimiques, solubles dans les solvants utilisés pour dissoudre les fibres synthétiques, perturbent la réaction chimique en cours et peut altérer la qualité du produit fini.

➤ **Améliorations/éco-conception :**

L'automatisation du délissage, la réduction de la quantité de perturbateurs externes et la limitation d'utilisation de certains colorants et apprêts permettront d'augmenter le taux de recyclabilité dans cette filière.

e. La valorisation énergétique/déchets ultimes

En 2012, un peu moins de 11 000 tonnes de TL collectés et triés en France ont été mises au déchet pour être enfouies ou incinérées¹ [Eco TLC 2012]. Une partie de ce tonnage a été valorisée énergétiquement.

On retrouvera dans cette voie de recyclage tous les articles n'ayant pas trouvé de filière appropriée. En particulier, les collants, bas, sous-vêtements, textiles enduits, articles avec une quantité importante de perturbateurs externes (ex : gilet fluo), articles de sports multi-composants (>2), etc. En termes de structure, on retrouve les articles réalisés en maille jetée, les tissus ou tricots jacquard, etc.

Le procédé de valorisation énergétique consiste à broyer chaque article, à éliminer par une technique densimétrique et aimantation toutes les parties métalliques (perturbateurs externes) et à compacter, avec ou sans mélange, d'autres déchets plastiques. Les TL sont alors transformés en Combustibles Solides de Récupération (CBS) à destination des cimenteries afin d'être incinérés.

Les seuls éléments perturbants dans cette voie sont les perturbateurs externes métalliques.

Concernant l'enfouissement des TL, mis au déchet ultime, aucun perturbateur n'a été mis en avant.

V. Fiche éco-conception, exemple de la chemise

L'éco-conception est le fait de prendre en compte l'impact environnemental de toutes les étapes de production, de l'extraction des matières premières, jusqu'à la fin de vie du produit au moment de la conception de celui-ci.

a. Eco-conception en général

L'une des étapes d'intégration du développement durable (association des caractères écologiques, économiques et sociaux) est l'éco-conception des produits.

Basée sur la notion de cycle de vie (voir la partie **V.c** et l'illustration **7** : cycle de vie des textiles et linges de maison), l'éco-conception des produits textiles consiste à intégrer dès l'amont la diversité des enjeux environnementaux, sanitaires et sociétaux.

Afin d'éco-concevoir un produit, il est nécessaire d'analyser tout son cycle de vie, d'en mesurer les impacts environnementaux (composants, services, procédés, etc.) à l'aide d'outils monocritères (exemple du bilan carbone) ou multicritères (ACV).

La plus grande problématique du secteur textile et de l'habillement reste celle de la pollution de l'eau, l'utilisation de produits chimiques nocifs et les conditions de travail⁶ [WWF 2014]. C'est pourquoi les critères les plus pertinents à observer au moment de l'éco-conception d'un produit textile sont :

- l'eutrophisation de l'eau ;
- la consommation de l'eau ;
- les changements climatiques.

En ce qui concerne notre étude, le but est de supprimer un maximum de perturbateurs et de faire varier les fins de vie afin d'obtenir des produits plus éco-conçus et moins impactant.

b. Cas particulier de la chemise

Ci-dessous l'illustration d'une fiche type d'éco-conception pour une chemise de ville stretch.

Fiche éco-conception: Amélioration fin de vie

CHEMISE de ville/
business

Exemple standard d'une chemise stretch

Composition:

72% Coton
25% Polyamide
3% Elasthanne

Fonction

Pour la résistance aux frottements.
Pour l'élasticité et la souplesse.

Armure/ Contexture:

Toile (popeline)

Tissu dense et fin, texture soyeuse.

Fourniture:

7 boutons centraux
2 boutons manches
1 bouton de courtoisie
2 boutons col

Nacre Sert à attacher/liar deux pans.

4 étiquettes latérales

PET Sert à informer sur la composition et les conseils d'entretien.

1 étiquette tissée
marque

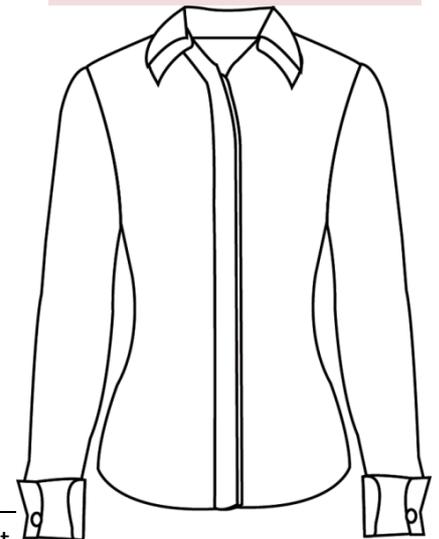
PET Sert à informer sur la marque.

2 baleines de col

Plastique Sert d'armature pour rigidifier le col.

Fils de couture

Coton Sert à attacher/liar deux pans.



Filières de recyclage actuelles:

Valorisation énergétique

Recyclage mécanique (effilochage pour isolant bas de gamme ou bourre de fibres)

Les perturbateurs et facilitateurs:

Eléments	Caractère perturbant/facilitant	Obstacle
Polyamide	Difficilement effilochable, taux d'absorption faible.	Chiffons d'essuyage
Boutons Etiquettes Baleines de col	Délissage difficile, manuel et long. Particules encore présentes dégradent les process et les produits finis.	Toutes les filières
Elasthanne	Bloque le process, endommage le matériel, contamine le produit fini.	Recyclage mécanique

Les bonnes pratiques d'amélioration de la fin de vie en vue d'une éco-conception:

A proscrire:

Ne pas dépasser les 5% d'élasthane dans l'article ce qui condamnerait le recyclage mécanique (le plus utilisé en France).

A privilégier:

Les articles avec au maximum deux composants.

Homogénéisation de la composition des fournitures avec celle de l'article: chemise 100% PET, boutons, étiquettes, baleines de col et fils de couture en PET.

L'impression sur les articles plutôt que des étiquettes cousues.

Utiliser un minimum de fournitures (baleines de col, boutons et étiquettes).

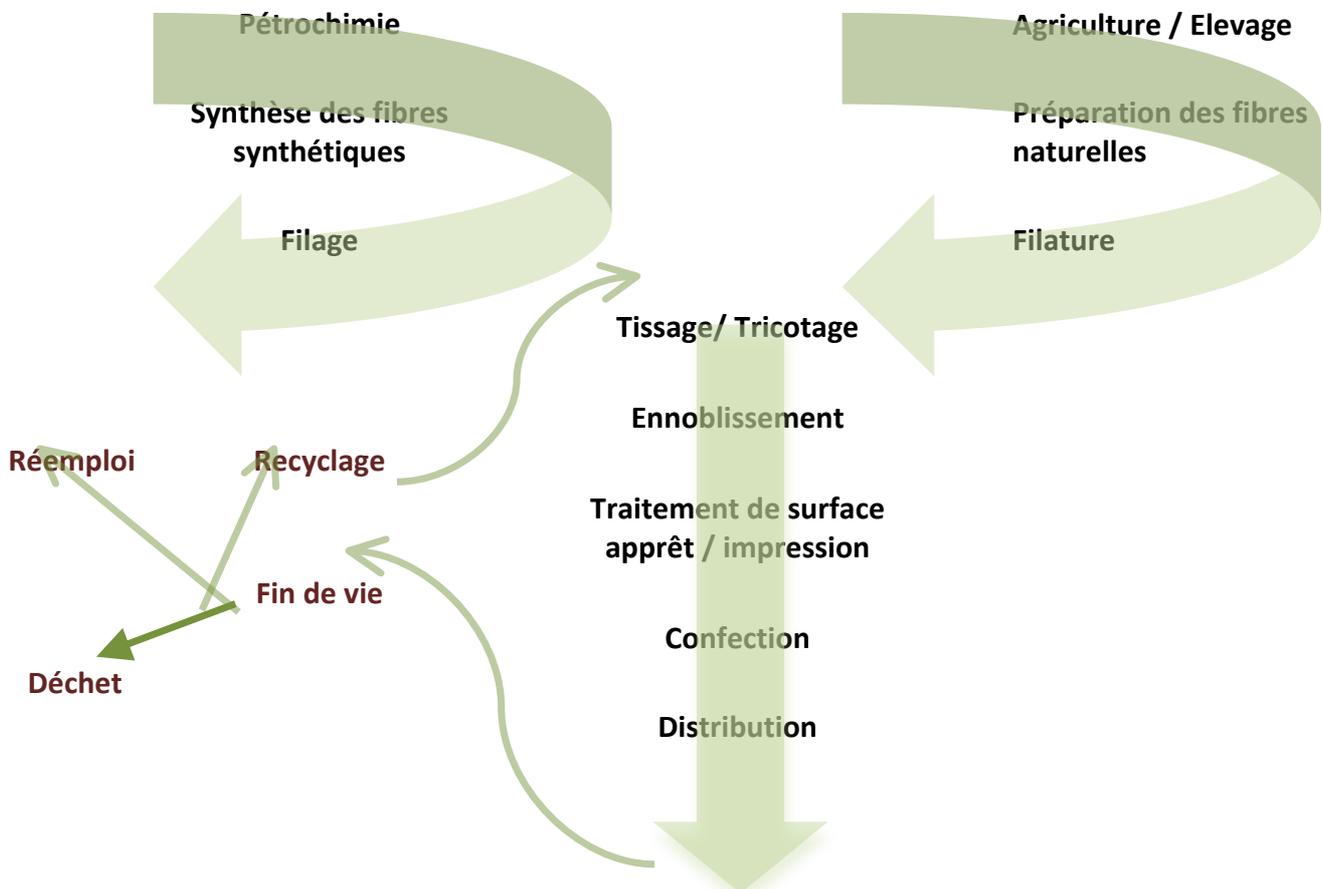
De préférence choisir un PET en mélange avec du coton plutôt que du polyamide car il existe plus de solutions de produits finis à base de PET.

Illustration 9: Fiche éco-conception d'une chemise de ville stretch

Le but de cette fiche est de permettre aux metteurs en marché d'éco-concevoir leur produit. Cette fiche pourra servir de guide d'éco-conception et met en avant les éléments à proscrire ou à privilégier afin d'améliorer le potentiel de recyclabilité des produits et de diminuer leur impact environnemental.

c. Analyse du cycle de vie

L'Analyse du Cycle de Vie comme étude de l'impact environnemental de chaque étape de la vie du produit, de l'extraction de la matière première à la fin de vie. Ci-dessous l'illustration du cycle de vie de produit textile.



Utilisation:

Entretien, nettoyage, etc.

Illustration 10: Cycle de vie des textiles et linges de maison

A l'aide de l'outil SPIN IT développé par CYCLECO, il est possible d'évaluer les impacts environnementaux d'un vêtement. Cet outil permet de faire varier quelques perturbateurs comme les fournitures ou la composition, mais il n'est malheureusement pas possible de faire varier la fin de vie. C'est pourquoi une valeur par défaut est établie pour l'étape de recyclage des TL en fin de vie et ne concerne que l'incinération et l'enfouissement.

Les graphiques qui suivent sont des comparaisons entre un scénario témoin (chemise de ville stretch) et des scénarii présentant des compositions ou des fournitures et accessoires différents (boutons, étiquettes, etc.). A noter que le reste des estimations de consommation, transports, fin de vie, etc. sont des valeurs par défaut (voir annexe 3 : liste des valeurs par défaut).

Chemise témoin = scénario 1 : Chemise de ville stretch

Composition : Chemise 72% Coton, 25% Polyamide, 3% Élasthanne

Confection : 12 boutons en plastiques, 4 étiquettes entretien en PET, 1 vignette de marque en PET.

Scénario 2 : Chemise de ville stretch avec un minimum de fourniture

Composition : Chemise 72% Coton, 25% Polyamide, 3% Élasthanne

Confection : 10 boutons en plastiques, 1 étiquette entretien en PET, 1 vignette de marque en PET.

Scénario 3 : Chemise de ville stretch avec un maximum de fourniture

Composition : Chemise 72% Coton, 25% Polyamide, 3% Élasthanne

Confection : 20 boutons en plastiques, 5 étiquettes entretien en PET, 1 vignette de marque en PET.

Scénario 4 : Chemise de ville classique

Composition : Chemise 75% Coton, 25% Polyamide

Confection : 12 boutons en plastiques, 4 étiquettes entretien en PET, 1 vignette de marque en PET.

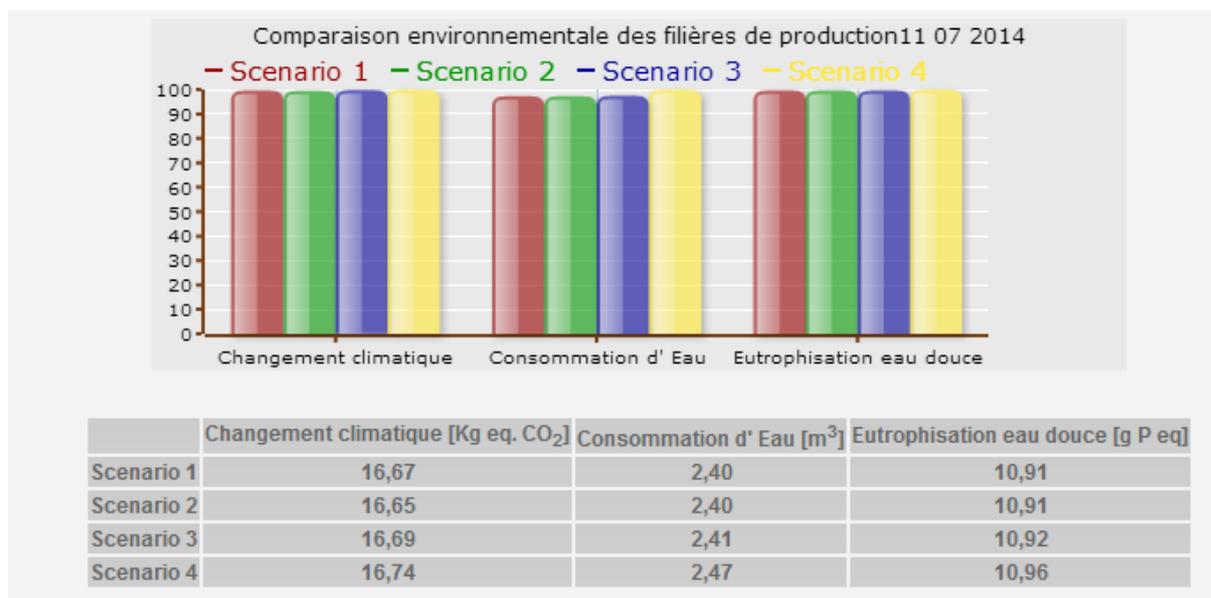


Illustration 11 : Résultats graphique de scénarii ACV pour une chemise

La différence entre les scénarii 1, 2 et 3 est infime, il n’y a quasiment aucune distinction possible sur les impacts environnementaux du cycle de vie global d’une chemise avec un minimum de boutons et d’une chemise avec un maximum de boutons.

On peut observer un très faible impact négatif au niveau des 3 critères pour le scénario 4. En éliminant l’élasthane de la chemise, la quantité de coton a directement augmentée. La fibre de coton étant très polluante, les impacts sont visibles même pour une hausse de 3%.

Cette analyse ACV met en évidence que les scénarii de cycle de vie de la chemise ont tous des impacts environnementaux similaires.

Par contre, les conséquences sur les fins de vie devraient être assez importantes. En effet, si une chemise peut se recycler, elle devient une matière première pour un nouveau produit. Cela baisse l’impact environnemental de la phase de production du nouveau produit et de la phase de fin de vie de la chemise. Malheureusement, peu de logiciels d’ACV proposent de prendre en compte cette fin de vie et il n’a pas été possible de faire cette quantification avec le logiciel SPIN IT.

VI. Les procédés à l’étude/en cours/en voie d’amélioration

A l’heure actuelle la filière de recyclage des TL la plus développée, mis à part le réemploi, est la filière du recyclage mécanique par effilochage. Cette filière, comme précisé dans la partie **IV.b** et **c**. ne peut prendre en charge que quelques catégories de TL en fin de vie : jeans et pantalons en coton, pulls et autres tricotés en laine et acrylique, etc.

Afin de faire progresser le recyclage via les autres filières mais aussi d'améliorer la recyclabilité des TL, des procédés sont à l'étude ou même en cours de développement pour retraiter les TL plus délicats (sous-vêtements, articles de sport, etc.) contenant des perturbateurs en grande quantité ou très contraignants.

Pour chaque étape du cycle de recyclage des TL, il existe des points d'amélioration à faire progresser et des procédés en voie de développement.

➤ **Etapes de collecte, tri et préparation au recyclage :**

- communication accentuée sur les conditions de collecte, de transport ou de stockage des TL : réduire la quantité des TL qui arrivent souillés et humides, impropres au recyclage ;
- travailler sur le désassemblage automatique des articles : le procédé technique **WEAR2**⁷ [WEAR2 fév. 2014], mis au point par une collaboration de 9 partenaires technologiques (**NIRI**, Université de Leeds, etc.), permettrait de désassembler les TL. Ce procédé consiste à dégrader par micro-ondes les propriétés des fils de couture, d'attache pour les poches, boutons, zip, etc. ;
- travailler sur le déliassage automatique des perturbateurs externes : à ce jour, seuls quelques procédés existent (exemple des lignes de recyclage de chez **LAROCHE**⁸ [Laroche 2014]) mais ils ne sont pas assez précis pour pouvoir être utilisés dans des filières de type effilochage pour filature pour fil à grand numéro métrique ;
- travailler sur le tri automatique par composition : une machine de tri spectrométrique proche de l'infrarouge, projet **Textiles4Textiles**⁴ [Textiles4Textile], a été mise au point et vient d'être mise sur le marché. Cette machine permettrait de trier les TL par composition et par couleur. La difficulté de ce projet aura été de pouvoir différencier les textiles sombres et les textiles mouillés (contenant un taux d'humidité important). Actuellement cette machine serait utilisée par KICI (équivalent de La Croix Rouge Française aux Pays Bas)⁹ [KICI 2014] qui fait partie du consortium de Textiles4Textiles ;
- travailler sur la traçabilité des TL : capacité à fournir des preuves de l'origine, de la composition, de la structure ou encore de la catégorie des TL collectés afin de mieux les orienter dans les filières de recyclage existantes. Ces données pourraient être consignées par des puces type RFID par exemple. Actuellement aucun projet n'est à l'étude.

➤ **Etapes de recyclage/ traitement :**

- la société **LAROCHE** travaille sur la mise au point de lignes de recyclage de TL permettant l'élimination des points durs automatiquement. Chaque ligne de retraitement est étudiée au cas par cas en fonction des entrants et des produits finis attendus en sortie ;

- le projet **VALAGRO** : recyclage chimique et enzymatique par réactions successives de solvolyses du tout venant des TL mis au déchet ultime (n'ayant pas trouvé une filière de recyclage adaptée, articles contenant plusieurs perturbateurs). Une unité pilote sera mise au point cette année 2014.
 - La société **FeyeCon**¹⁰ [Audrey NGOMSIK fév. 2014] à mis au point un procédé d'extraction des colorants présents dans les textiles en utilisant du CO₂ supercritique. Ce procédé permettrait d'éliminer la perturbation (aspect et caractéristiques techniques) de coloration/colorant/teinture présent dans les différentes filières de recyclage des TL.
- **Seconde vie/ réemploi de la matière première secondaire :**
- fabriquer du fil pour des textiles : la société « La Filature du Parc » vient de mettre au point (mai 2014) un procédé qui permet de fabriquer du fil conventionnel (ring spinning) pour la réalisation de tissus mais aussi de tricot. Cette avancée technologique va élargir le panel des possibilités des produits à base de TL en fin de vie. De plus, le projet **CALAFIL**¹¹ [Calafil 2012] (consortium de 6 entreprises) tente quant à lui de recycler les chutes de production textile pour fabriquer du fil ;
 - travailler sur les opportunités d'utilisation des matières premières secondaires créées à base de TL en fin de vie (manque important de débouchés) comme percer le secteur de l'automobile, l'habillement, etc.
- **Distribution :**
- durabilité des TL et plus particulièrement des perturbateurs externes : minimiser la quantité de TL mis au déchet ;
 - guide d'éco-conception : mettre en avant les éléments perturbants et facilitants le recyclage en fonction de la catégorie des TL. Informer les metteurs en marché désireux d'éco-concevoir sur le potentiel d'une seconde vie pour des articles en fonction des composants, de la structure de l'étoffe, de la composition, etc.

VII. Conclusions

On retrouve principalement les perturbateurs au recyclage des TL dans les toutes premières étapes du cycle de retraitement :

- **collecte** : liée à l'utilisation des articles et méthodes de logistique vers les centres de tri ;
- **tri** : les perturbateurs internes (multi-composants surtout), pénalisent les débouchés de recyclage thermique et mécanique, cette étape étant pour le moment réalisée par article et non par composition et couleur ;
- **préparation au recyclage** : les perturbateurs externes pénalisent toutes les filières de recyclage, d'où l'importance d'automatiser au plus vite cette étape de suppression des points durs.

De plus, le traitement de ces étapes, effectué manuellement et lentement avec un rendement faible et pour un coût élevé, n'incite pas à l'investissement par des industriels.

Il existe pourtant des technologies et des projets en voie de développement qui permettraient de résoudre ces difficultés.

Les axes de travail afin de faire évoluer la filière toute entière des TL sont :

- de limiter au maximum l'utilisation des perturbateurs externes ;
- de rendre les TL homogènes dans leur composition mais aussi dans l'aspect général.
- d'utiliser au maximum des matières recyclables par les filières des TL ;
- concevoir en prenant en compte les étapes indispensables de tri/découpe/délissage ;
- tracabilité : identifier la composition et la structure des TL en permanence.

VIII. Annexe

a. Récapitulatif des contacts pris

Ci-dessous la liste des contacts ayant abouti à une réponse intéressante dans le cadre de l'étude.

Etape de recyclage	Entreprise	Nom	Projet recyclage des TLC
Chiffon d'Essuyage	Proust SAS	Mr Proust	
Collecte	Le Relais	Cécile Martin	
Collecte	Sita/Next Textile Association	Hakem Sedkaoui	
Collecte	Sita/Next Textile Association	Clémentine Defert	
Collecte	KICI	Marc Fredriksz	Recyclage Jean G-star/ Texiles4textiles.
Collecte/Tri/CE	Ecotextile/ Framimex	Mehdi Zerroug	
Collecte/Tri/CE	Ecotextile/ Framimex	Anita Raharisoa	
Collecte/Tri/Recyclage mécanique	SOEX group	Pailak Mzikian	Produit 45Tonnes de non-tissé automobile par an.

Collecte/Tri/ Recyclage mécanique	SOEX France	Sarka Janebova	Produit 45Tonnes de non-tissé automobile par an.
Compoundage	Chaize	Bernard Chaize	Compound textile enduit PVC.
Compoundage	Mapea	Estelle Villegas	Compound textile Polyamide/ Polyester.
Filature	Textileloop	Daniel Merino	Fil recyclé à base de TLC.
Filature	Filature du Parc	Fabrice Lobetti	Fil recyclé à base de TLC.
Machine Recyclage	Laroche	Benoît Rombaoud	
Metteur en Marché	Carrefour	Alexandre Leconte	
Metteur en Marché	Carrefour	Fabienne ILTIS	Campagne de collecte de TLC usagés.
Metteur en Marché	Happychic	Chritèle Merter	Recyclage TLC, mise au point de fil coton recyclé.
Metteur en Marché	La Redoute	Ségolène De Courreges	
Recyclage Chimique	Valagro	Cedric Dever	Recycle le tout venant par des Solvolyses successives, stade de l'étude. Démarrage unité pilote en 2014.
Recyclage Chimique	Feyecon	Audrey Ngomsik	Extraction des colorants dans les TL.
Recyclage Chimique	Ventron confection/ Fibers sarl	Julien Valroff	Recyclage de linges de lit, séparation par décantation et mélange rPET bouteille.
Recyclage mécanique/ Chimique	Serge Ferrari Txyloop	Laurent Leclercq	Recycle les bâches PET/PVC par solvant.
recyclage mécanique/ Effilochage	Minot RT	Jean-Christophe Minot	Recyclage par effilochage des TLC.
Recyclage mécanique/ Thermique	Kermel	Christophe Richard	Recycle les vestes de pompiers en aramide.
Recyclage Thermique/ Chimique	Eco Engineering	Jérôme Durgeon	Mise au point procédé permettant de recycler surtout les sous-vêtements en fin de

			vie, en PET/ PA.
Tri	Tri d'Emma	Jean-Luc Mienczak	
Tri/ découpe/ CE/ Isolant	BIC	Michel KEKAYAS	
Recyclage mécanique/ Effilochage/ Isolant	Buitex RECYCLAGE	Jean-Pierre Buisson	
Recyclage mécanique/ Effilochage	Buisson EFFILOCHAGE	Daniel Buisson	
Recyclage mécanique/ Effilochage/ filature	Ets Henri Moncorgé	Bernard Moncorgé	Effilocheur pas de négoce, a fait des essais avec des textiles usagés.
Recyclage mécanique/ Effilochage à façon	Cros Daniel	Daniel Cros	Travail à façon uniquement.
Filature/ confection	Ets Lejour et fils	Bernard Lejour	CALAFIL, refaire du fil avec des chutes de production.
Recyclage mécanique/ Effilochage/ Non tissé/ CE	Texcelis	Sylvain Bignon	Utilise des chutes de production pour du non- tissé et des TL pour des CE.
Chiffon d'Essuyage	Compas	Jean-Philippe Compas	
Effilochage	DEROTEX	Manu Lagast	Effilochage de TL.
Collecte/tri	Solidarité Textiles	Patrice Hennekin	Collecte de TL.
Préparation au recyclage	Wear 2	Hewitt Andrew	Fil dégradé sous conditions (micro onde).

Figure 1: Liste des contacts pris.

b. Liste des valeurs par défaut, logiciel SPIN IT

Coton			
Procédés	Filature De Fibres Naturelles	Tissage Moyen	Ennoblement Sur Étoffe Tricotée Ou Tissée
Pays de production	Inconnu	Inconnu	Inconnu
Energie (kWh)	Electricité = 10	Electricité = 20	Electricité =7 Gaz Naturel =21
Pourcentage de pertes	20	12	12
Consommations	Consommation d'huile d'ensimage = 50	Consommation de produit d'encollage = 130	Consommation d'eau = 260 Consommation de sel = 850 Consommation de colorant = 100 Consommation de produits auxiliaires = 200
Emissions dans l'eau			DBO5 = 880 DCO = 2311 P eq. = 75 N eq. = 21
Transport après procédé (km)	Camion: 1000	Camion: 1000	Camion: 1000

Figure 2: Valeurs par défaut du coton.

Pa			
Procédés	Filature De Fibres Synthétiques Et Artificielles	Tissage Moyen	Ennoblement Sur Étoffe Tricotée Ou Tissée
Pays de production	Inconnu	Inconnu	Inconnu
Energie (kWh)	Electricité = 10	Electricité = 20	Electricité =7 Gaz Naturel =21
Pourcentage de pertes	5	12	12
Consommations	Consommation d'huile d'ensimage = 50	Consommation de produit d'encollage = 130	Consommation d'eau = 260 Consommation de sel = 850 Consommation de colorant = 100 Consommation de produits auxiliaires = 200
Emissions dans l'eau			DBO5 = 880 DCO = 2311 P eq. = 75 N eq. = 21
Transport après procédé (km)	Camion: 1000	Camion: 1000	Camion: 1000

Figure 3 : Valeurs par défaut du Polyamide.

Elasth		
Procédés	Tissage Moyen	Ennoblement Sur Étoffe Tricotée Ou Tissée
Pays de production	Inconnu	Inconnu
Energie (kWh)	Electricité = 20	Electricité =7 Gaz Naturel =21
Pourcentage de pertes	12	12
Consommations	Consommation de produit d'encollage = 130	Consommation d'eau = 260 Consommation de sel = 850 Consommation de colorant = 100 Consommation de produits auxiliaires = 200
Emissions dans l'eau		DBO5 = 880 DCO = 2311 P eq. = 75 N eq. = 21
Transport après procédé (km)	Camion: 1000	Camion: 1000

Figure 4: Valeurs par défaut de l'élasthanne.

Procédés	Filature De Fibres Naturelles	Filature De Fibres Synthétiques Et Artificielles	Tissage Moyen			Ennoblement Sur Étoffe Tricotée Ou Tissée			Confection
			coton	pa	elasth	coton	pa	elasth	
Composants	coton	pa	coton	pa	elasth	coton	pa	elasth	
Pays de production	Inconnu	Inconnu	Inconnu	Inconnu	Inconnu	Inconnu	Inconnu	Inconnu	Inconnu
Energie (kWh)	Electricité = 10	Electricité = 10	Electricité = 20	Electricité = 20	Electricité = 20	Electricité =7 Gaz Naturel =21	Electricité =7 Gaz Naturel =21	Electricité =7 Gaz Naturel =21	consommation électrique totale (couture et de repassage) = 2
Pourcentage de pertes	20	5	12	12	12	12	12	12	20
Consommation / fournitures	Consommation d'huile d'ensimage = 50	Consommation d'huile d'ensimage = 50	Consommation de produit d'encollage = 130	Consommation de produit d'encollage = 130	Consommation de produit d'encollage = 130	Consommation d'eau = 260 Consommation de sel = 850 Consommation de colorant = 100 Consommation de produits auxiliaires = 200	Consommation d'eau = 260 Consommation de sel = 850 Consommation de colorant = 100 Consommation de produits auxiliaires = 200	Consommation d'eau = 260 Consommation de sel = 850 Consommation de colorant = 100 Consommation de produits auxiliaires = 200	Boutons plastique (0,15g) = 12
Emissions dans l'eau						DBO5 = 880 DCO = 2311 P eq. = 75 N eq. = 21	DBO5 = 880 DCO = 2311 P eq. = 75 N eq. = 21	DBO5 = 880 DCO = 2311 P eq. = 75 N eq. = 21	
Transport après procédé (km)	Camion: 1000	Camion: 1000	Camion: 1000	Camion: 1000	Camion: 1000	Camion: 1000	Camion: 1000	Camion: 1000	Camion: 800 Bateau: 10000 Avion: 5000

Valeurs utilisateur

Distribution		Utilisation	
Camion:	<input type="text" value="1000"/> km	Lavage 40 °C (habillement) ▼	<input type="text" value="20"/>
Bateau:	<input type="text" value="0"/> km	Séchage autorisé ▼	<input type="text" value="10"/>
Avion:	<input type="text" value="0"/> km	Repassage 1 (110°C) point chemise ▼	<input type="text" value="20"/>

Figure 6 : Valeurs par défaut des étapes de distribution et fin de vie.

Glossaire:

ACV: Analyse du cycle de vie.

Broyage : action mécanique consistant à réduire une étoffe à l'état de fibres.

Délisser : séparer et supprimer les points durs/perturbateurs des articles afin d'obtenir uniquement une étoffe textile.

Dépolymérisation : réaction chimique consistant à réduire un ou plusieurs polymères (comme les plastiques) en monomères.

Dissolution : réaction chimique consistant à faire passer un composé solide dans un liquide appelé le solvant pour former un mélange liquide homogène.

Ennoblement : consiste à traiter une étoffe afin de donner certaines caractéristiques au produit fini (traitements mécaniques ou chimiques).

Enzymatique : réaction mettant un jeu des enzymes, protéines organiques qui accélère la réaction chimique.

Extrusion : procédé de fabrication qui consiste à compresser et à fondre un matériau au travers d'une filière pour lui donner la forme de la pièce désirée.

Fil conventionnel (ring spinning) : Encore appelée filature à anneaux. Méthode de fabrication de fils, renvidés sur un support « fuseau » qui tourne. Les fils réalisés peuvent avoir un sens de torsion S ou Z. Fil de qualité standard ou bonne.

Fil open end : fil formé par force centrifuge dans une turbine. Il n'a pas de sens de torsion car seules les fibres en surfaces sont tordues, le cœur reste intact.

Injection : la matière plastique sous forme de granulés est fondue ou ramollie puis injectée dans un moule. Elle est ensuite mise sous pression puis refroidie et enfin éjectée.

Jauge : nombre d'aiguilles par pouce (25,4mm). Cela permet de définir le nombre de mailles sur une rangée de tricot. Plus elle est petite, plus les mailles sont lâches.

Maille jetée : structure de tricot où les boucles s'enchaînent perpendiculairement et non horizontalement pour former des mailles. C'est une structure indémaillable.

Nm : Numéro métrique, unité utilisée pour le titrage des fils discontinus.

Produit fini : produit issu des voies de recyclage des TL en fin de vie.

Qualité boutique ou crème : catégorie d'articles haut de gamme en bon voire très bon état, destinés à la revente directe dans les boutiques « Ding Fring » de Le Relais par exemple.

Solvolyse : réaction chimique entre un solvant et un réactif dans le but de le dissoudre, diluer ou de l'extraire sans changer sa nature ni celle du solvant.

Skaï ou Simili-cuir : cuir artificiel. Sa composition dépend du fabricant, exemple de composition : 76% PVC/2% Polyuréthane/22% Polyester ou 100% polyester.

Tissu : étoffe obtenue par l'entrelacement perpendiculaire de plusieurs fils.

TL: Textiles et Lingés de maison.

Tricot : étoffe obtenue par la formation avec un seul fil de plusieurs boucles enchaînées.

Sources:

¹ Eco TLC 2012, *rapport d'activité 2012*.

² Alain CLAUDOT fév. 2014, *Présentation Eco TLC– Congrès du recyclage*.

³ Eco TLC 2014, <http://www.ecotlc.fr>

⁴ Textiles4Textiles 2014, <http://textiles4textiles.eu>

⁵ ADEME Sept. 2012, *Etat de l'art des technologies d'identification de tri des déchets*.

⁶ WWF 2014, <http://www.wwf.fr>

⁷ Wear2 2012, *Présentation congrès du recyclage*.

⁸ Laroche 2014, <http://www.laroche.fr>

⁹ KICI 2014, <http://www.kici.nl>

¹⁰ Audrey NGOMSIK fév. 2014, *Présentation FEYECON technologie CO2 – Congrès du recyclage*.

¹¹ CALAFIL 2012, <http://www.up-tex.fr/medias/articles-des-newsletters/news-3/calafil.html>

Autres liens :

La fédération de la maille et de la lingerie 2012, *Sur la route du recyclage textile*.

INTERTEK oct. 2012, *Bilan état de l'art sur le tri et valorisation des TL consommés par les ménages*.

Wrap 2014, <http://www.wrap.org.uk>