



Étude des perturbateurs et facilitateurs au recyclage des Textiles d'habillement, Linge de maison et Chaussures

Février 2025

Re_fashion

Table des matières

1	Introduction.....	3
1.1	Contexte et objectifs de l'étude.....	3
1.2	Méthodologie.....	3
1.3	Descriptif général de la filière de recyclage des TLC.....	3
2	catégorisation générale des perturbateurs et facilitateurs au recyclage.....	5
2.1	Perturbateurs au recyclage.....	5
2.2	Perturbateurs externes.....	5
2.3	Perturbateurs internes.....	8
2.4	Textiles multicouches.....	8
2.5	Perturbateurs liés à l'utilisation ou à la collecte.....	9
2.6	Facilitateurs au recyclage.....	10
3	Analyse des perturbateurs et facilitateurs au recyclage des Textiles.....	11
3.1	Synthèse.....	11
3.2	Détail des perturbateurs et facilitateurs par voie de recyclage.....	14
4	Analyse des perturbateurs et facilitateurs au recyclage des chaussures.....	21
4.1	Constitution des chaussures et problématiques de recyclage.....	21
4.2	Revue des procédés de préparation au recyclage.....	22
4.3	Synthèse des perturbateurs et facilitateurs à la préparation au recyclage des chaussures.....	25
4.4	Détail des perturbateurs par voie de préparation au recyclage des chaussures.....	28
5	Conclusion.....	30
6	Annexes.....	32
6.1	Acronymes.....	32
6.2	Acteurs interrogés.....	33
6.3	Cartographies des solutions de recyclage.....	34
6.4	Éléments relatifs à la composition du gisement de TLC non-réutilisables.....	36
6.5	Liste des tableaux.....	38
6.6	Liste des illustrations.....	38
6.7	Sources bibliographiques.....	39

1 INTRODUCTION

1.1 Contexte et objectifs de l'étude

Dans le cadre de son agrément 2023 - 2028, Refashion doit mener des travaux sur la recyclabilité des **Textiles d'habillement, Linge de maison et Chaussures (TLC)** usagés non-réutilisables.

Pour réaliser ces travaux, Refashion a souhaité procéder à une **revue complète des perturbateurs et facilitateurs au recyclage des TLC** dans les différentes voies de recyclage.

Une étude avait été publiée par l'éco-organisme en juillet 2014, sur la base des recherches menées par l'École Nationale Supérieure des Arts et Industries Textiles (ENSAIT) sur les perturbateurs et facilitateurs au recyclage des textiles¹. Refashion a souhaité mettre à jour cette étude, en élargissant le périmètre à l'étude des perturbateurs et facilitateurs au recyclage des chaussures.

1.2 Méthodologie

Ce document a pour objectif de recenser les éléments perturbateurs et facilitateurs au recyclage des TLC, d'expliquer leurs impacts sur chaque procédé et d'en évaluer le degré de perturbation.

Cette revue actualisée a été menée en 2 temps :

- Recueil d'informations bibliographiques avec pour base principale l'étude menée par l'ENSAIT ;
- Entretiens avec des parties prenantes de la partie aval de la filière (tri, surtri, préparation, recyclage...).

Les recherches ont été menées parmi des acteurs du surtri, préparateurs au recyclage et des recycleurs français et européens (cf. annexe 6.2). **À noter que les capacités et performances de recyclage évoluent rapidement et que cette synthèse fait état des travaux menés fin 2023 et courant 2024.**

Les procédés de recyclage des textiles (regroupant les textiles d'habillement et linge de maison) et des chaussures étant distincts, les perturbateurs et facilitateurs au recyclage de ces 2 catégories de produits sont présentés séparément.

Pour les textiles, 3 grandes voies de recyclage ont été étudiées :

- Recyclage mécanique ;
- Recyclage thermomécanique ;
- Recyclage chimique et enzymatique.

Pour les chaussures, 2 procédés ont été étudiés :

- Broyage de la chaussure entière, pour le recyclage de la chaussure entière si monomatière, ou le recyclage des différentes matières après une étape de tri des broyats ;
- Séparation de la tige et de la semelle par découpe, arrachage ou délamination, pour la valorisation matière des différents composants.

1.3 Descriptif général de la filière de recyclage des TLC

Le schéma ci-après (cf. Fig. 1) récapitule les différentes étapes de la collecte au recyclage des TLC usagés.

¹ [Étude des perturbateurs et facilitateurs au recyclage des textiles et linges de maison. Refashion. 2014](#)

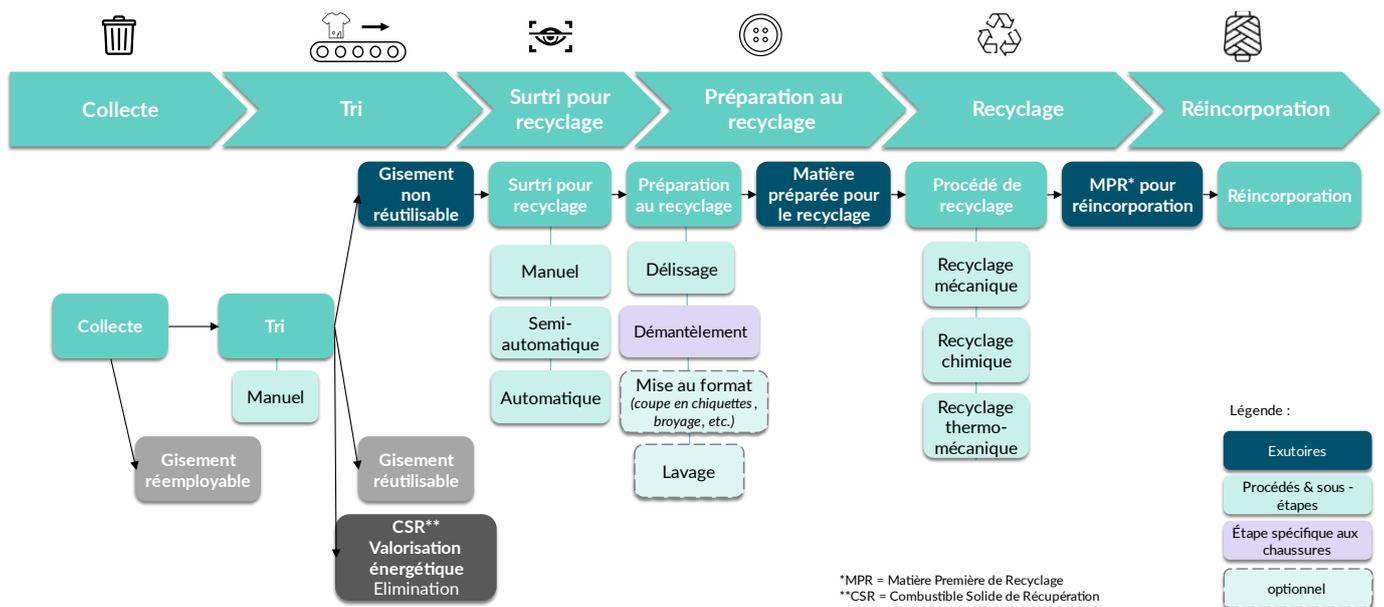


Figure 1 : Schématisation de la chaîne de valeur du recyclage des TLC – source Refashion

Après une première étape de collecte des TLC usagés, les flux sont triés par des opérateurs de tri qui séparent le gisement réutilisable du gisement non-réutilisable. La fraction non-réutilisable est préparée en vue du recyclage ou bien suit pour partie des voies de valorisation énergétique. Seulement 0,15% des déchets de TLC triés sont éliminés en 2023 (par incinération sans récupération d'énergie ou enfouissement), principalement les articles souillés et/ou humides.

Les textiles usagés non-réutilisables, selon leur composition matière, couleur et autres caractéristiques, peuvent être dirigés vers différentes voies de recyclage pour des débouchés en boucle fermée ou en boucle ouverte, comme dans l'industrie du bâtiment, l'automobile ou encore la plasturgie.

Trois grandes voies de recyclage sont distinguées : le recyclage mécanique, thermomécanique et chimique. Le recyclage mécanique est prédominant, grâce à la présence d'installations industrielles en France et en Europe (coupe de chiffons d'essuyage, effilochage ou défibrage pour la filature). Les autres voies de recyclage sont en cours de développement en France et en Europe.

Ces procédés permettent la production de matières premières de recyclage (MPR) pour incorporation dans de nouveaux produits, comme détaillé dans la cartographie des produits issus du recyclage des textiles usagés Refashion (cf. annexe 6.3.1).

Comme décrit dans la figure 1, le recyclage des TLC usagés non réutilisables mobilise des étapes préliminaires que sont le surtri pour recyclage² et la préparation au recyclage³.

Toutes ces étapes sont intégrées au périmètre de cette étude, afin de répertorier les différentes natures de perturbateurs (et facilitateurs) sur l'ensemble de la chaîne de recyclage des TLC et les différents degrés de perturbation associés (cf. chapitres 3 et 4).

² tri supplémentaire en vue du recyclage consistant en une opération de séparation selon la composition matière et/ou la couleur de déchets de TLC non-réutilisables et/ou de leurs composants, en fonction des spécifications d'un recycleur, le surtri devant permettre le recyclage sans autre opération ultérieure de tri.

³ étapes de préparation des déchets de TLC au recyclage incluant le délissage des textiles, le démantèlement de chaussures, et la mise au format.

2 CATÉGORISATION GÉNÉRALE DES PERTURBATEURS ET FACILITATEURS AU RECYCLAGE

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

On retrouve ces éléments perturbateurs ou facilitateurs aux différentes étapes de la chaîne de valeur du recyclage des TLC usagés non-réutilisables, comprenant : le surtri, la préparation au recyclage et le recyclage. Un élément peut être perturbant pour une seule étape ou plusieurs, mais aussi pour un procédé de recyclage et non pour un autre, c'est pourquoi **chaque procédé de recyclage est analysé un à un dans les chapitres suivants**, afin d'explicitier les différents degrés de perturbation.

Les définitions ci-dessous se basent sur celles de l'étude des perturbateurs et facilitateurs menée par l'ENSAIT mandatée par Refashion en 2014.

2.1 Perturbateurs au recyclage

Un **perturbateur au recyclage** (auss appelé **contaminant** ou **indésirable**) est un élément, un matériau ou une substance qui, lorsqu'il est présent, peut causer des perturbations dans le processus de recyclage, voire le rendre impossible.

Ces perturbateurs peuvent notamment engendrer :

- Une moindre qualité de la matière première recyclée ;
- Une diminution de l'efficacité et de la performance du procédé de recyclage ;
- Des dégâts potentiellement considérables sur les équipements de recyclage (voire un risque d'incendie) et/ou sur ceux liés à l'incorporation de matière recyclée.

Ces perturbateurs peuvent être classés en deux grandes catégories : les perturbateurs externes et internes.

2.2 Perturbateurs externes

Les **perturbateurs externes** sont des éléments externes à l'étoffe du textile ou au composant de la chaussure, cousus ou collés directement sur l'article. Ils sont communément appelés « points durs » lorsqu'ils sont en métal ou plastique dur. Ces éléments varient en nombre et en composition selon la volonté des designers ou en fonction de leur utilité dans l'article, ils peuvent être fonctionnels, esthétiques, ou les deux.

Ces perturbateurs externes causent des perturbations pour quasiment chaque procédé de recyclage et sont généralement éliminés en quasi-totalité pour les textiles lors d'une étape de délissage durant la préparation au recyclage. Cette opération a pour but de retirer tous les éléments présents sur les articles textiles (perturbateurs externes de type bouton, fermeture à glissière, bandes scratch, rivets, etc.). Le délissage peut être manuel et réalisé à l'aide de ciseaux (manuel ou électrique), de scie (circulaire ou à ruban), d'emporte-pièce, etc., ou bien être réalisé par voie mécanisée (intégration à des lignes d'effilochage, procédé de délissage sur chiquettes).

Selon l'étude de caractérisation des flux entrants et sortants de centres de tri⁴, 78% des articles textiles présentent au moins un perturbateur externe au recyclage, pouvant être en métal, plastique, textile ou autre matière (corne, bois, etc.).

Tableau 1 : Répartition des perturbateurs externes au recyclage, par matière et par destination des flux triés (en poids)

	Total	Effilochage	Données Essuyage	CSR	Déchets ultimes
nb_pieces	74287	32351	25828	10609	5502
marge_max	0,4%	0,5%	0,6%	1,0%	1,3%
aucun	22,3%	20,8%	27,5%	19,2%	17,8%
métal	6,6%	7,9%	4,2%	3,8%	12,4%
textile	22,7%	21,1%	25,3%	24,7%	36,4%
autre	35,8%	36,8%	30,7%	44,2%	25,8%
plastique	11,8%	12,6%	11,8%	7,4%	7,4%
inconnu	0,7%	0,8%	0,5%	0,7%	0,2%
Total	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Les perturbateurs externes présents dans les textiles d'habillement et linge de maison peuvent aussi être présents sur la tige, partie supérieure de la chaussure. Des perturbateurs externes sont également propres aux chaussures. Ceux-ci sont listés dans le tableau 2 ci-dessous.

Tableau 2 : Liste des perturbateurs externes (non exhaustive) présents dans les textiles d'habillement, linge de maison et dans les chaussures

Catégorie	Perturbateurs externes	Fonction	Composition possible
Textiles d'habillement, linge de maison et chaussures			
Fonctionnel	Fermeture à glissière	Attacher/liier deux pans	Polyamide, métal/coton, polyamide/coton
	Bouton		Métal, nacre, bois, corne, polyester, résine, cuir
	Brandebourg		Cuir, bois, polyester
	Agrafe		Métal, polyester, résine
	Fermeoir		Métal, résine
	Boucle		Métal, polyester, résine
	Pression		Métal, polyester, résine
	Bande auto-agrippante (scratch)		Polyamide, polyester
	Fil de couture/couture		Polyester, coton
	Mousqueton		Métal, résine, polyester, polyamide
	Crochet		Métal, polyamide
	Tressage/cordon		Polyester, coton, polyamide
	Œillet		Renfort circulaire qui sert à passer un lacet, tresse, etc.
	Étiquette d'information produit et instructions de lavage	Informers sur la composition matière du produit (obligation EU) et les conseils d'entretiens	Polyester

⁴ Refashion. Étude de caractérisation des flux entrants et sortants de centres de tri, 2023

	Puce RFID	Retranscrire des informations et anti-vol	Cuivre, polyester, polyamide, papier...
	Bande réfléchissante	Réfléchir/émettre de la lumière	Pigment, polyamide, base textile variée
	Bande phosphorescente		
	Bande antidérapante	Apporter du maintien	Polyamide, élasthanne
	Bande élastique	Apporter de l'élasticité au textile	Élastodiène (= <i>polymère élastomère synthétique</i>)
	Arrêt cordon	Bloquer et ajuster la longueur d'un cordon	Métal, polyamide, polyester
	Baleine	Sert d'armature pour soutenir ou rigidifier	Métal, plastique
	Anneau	Sert de bague de fixation et/ou pour renforcer l'armature	Métal, bois
	Mousse	Structurer l'article	Polyuréthane
	Fond de poche	Créer un compartiment	Polyester, coton
Esthétique ou fonctionnel	Étiquette logo	Informé sur la marque ou simplement esthétique	Polyester, polyuréthane, similicuir, coton
	Impression en motif placé (flocage ou aluminium)		PVC, polyuréthane, aluminium
	Écusson		Fibres naturelles, synthétiques ou artificielles, cuir, plastique
	Rivet	Structurer le vêtement ou simplement esthétique	Métal
	Épaulette		Composite base textile/non tissé/mousse
	Articles multicouches/ Doublures	Apporter du confort ou simplement esthétique	Polyester, viscose
	Composants électroniques ou électriques	Apporter un attrait esthétique ou certaines performances techniques	Composants électroniques ou électriques
Esthétique (liste non exhaustive)	Dentelle	Uniquement pour l'esthétisme	Fibres naturelles, synthétiques, artificielles.
	Broderie		
	Empiècement		
	Pompon		
	Nœuds		
	Strass/paillettes		Métal, bois, plastique
	Perle		Métal, plastique
	Pendentif		
	Breloque		
Spécifiques aux chaussures			
Fonctionnel	Glissoir, talonnette-doublure	Apporter protection et durabilité	Cuir ou autre matériau
	Bout dur, contrefort, coque et plaque anti-perforation		Métal, plastique ou autre matériau
	Cambrion	Apporter fermeté, soutien et durabilité	Métal, plastique, bois
Utilisation	Corps étrangers (cailloux, clous, chewing-gum, etc.)	Liés à l'utilisation (dans les semelles)	Métal, matière organique, etc.

2.3 Perturbateurs internes

Les **perturbateurs internes** sont des éléments constitutifs ou structurels de l'étoffe principale du textile ou du composant de la chaussure. Ils peuvent être fonctionnels, esthétiques ou les deux.

Ces perturbateurs peuvent être liés à la composition matière, à l'apprêt, ou à la contexture d'un produit. Ils ne peuvent pas être retirés lors d'une étape de préparation au recyclage, mais certains peuvent être isolés lors du recyclage (selon les procédés) et dans certains cas, leur présence peut être tolérée dans la matière recyclée jusqu'à un certain seuil.

Une partie des perturbateurs internes présents dans les textiles d'habillement et linge de maison peuvent être présents dans la tige (partie supérieure) de la chaussure. Il existe aussi certains perturbateurs internes spécifiques aux chaussures, en particulier dans la semelle.

Tableau 3 : Liste des perturbateurs internes (non exhaustive) présents dans les textiles d'habillement, linge de maison et dans les chaussures

Perturbateurs internes		Fonction	Degré de perturbation
Textiles d'habillement, linge de maison et chaussures			
Fonctionnel	Composition matière >2	Peut apporter des performances techniques	Complexifie le recyclage et/ou limite les débouchés
	Tissu avec fil de Nm élevé (fil fin)	Apporte de la finesse au tissu	Très difficile voire impossible (<i>maille jetée</i>) à effilocheur / défibrer
	Tricot / tissu jacquard et maille jetée	Apporte de la technicité à l'étoffe	
	Élasthanne > 5 % Tissus et tricotés extensibles	Apporte de l'élasticité au textile	Complexifie le recyclage et/ou limite les débouchés
Esthétique ou fonctionnel	Enductions et impressions plastiques all-over	Apporte des performances techniques au textile ou simplement esthétique	Peut créer des impuretés et entraver le recyclage
	Composants électroniques ou électriques non amovibles	Apporte un attrait esthétique ou certaines performances techniques	Risque d'incendie lors du recyclage
	Apprêts	Traitement de finition apportant des caractéristiques techniques	Certains apprêts peuvent entraver le process de filature
Esthétique	Textiles multicolores	Uniquement esthétique	Inclassables en tri couleur pour défibrage vers filature
	Certains colorants (couleurs noires principalement)	Apporte de la coloration à l'article, simplement esthétique	Peuvent entraver le tri automatisé NIR et complexifier certains procédés de recyclage chimique
	Fils métalloplastiques, paillettes et sequins all-over	Uniquement esthétique, apporte une touche de brillance à l'article	Entrave le bon déroulement du recyclage
	Articles regroupant plusieurs composants/tissus de matières et/ou contextures différentes	Uniquement esthétique	Articles problématiques à classer lors du tri et à recycler sans défilage / démantèlement des composants
Spécifiques aux chaussures			
Charges ou additifs		Apporte certaines propriétés ou rend la matière moins coûteuse	Complexe à identifier et contamine la matière recyclée

2.4 Textiles multicouches

Un **textile multicouche** est un article textile constitué de plusieurs couches distinctes, pouvant être chacune composée de matières différentes. Dans le cadre du programme de caractérisation Refashion publié en 2023, seuls les articles avec une deuxième couche représentant au moins 1/3 de la surface de l'article ont été classés

comme « multicouche ». Ces articles représentent d'après cette étude, de l'ordre de 8 à 9% (en poids) du gisement de textiles non-réutilisables.

Tableau 4 : Distinction entre un article multicouche et monocouche

Multicouche	Monocouche		
			
2 couches	1 couche	1 couche + perturbateur au recyclage en textile	1 couche + perturbateur au recyclage en textile

2.5 Perturbateurs liés à l'utilisation ou à la collecte

L'utilisation ou, dans le cas de l'humidité, également la collecte d'un article textile ou de chaussures peut apporter d'autres perturbateurs au recyclage.

Tableau 5 : Perturbateurs liés à l'utilisation ou à la collecte

Perturbateurs liés à l'utilisation ou à la collecte	Degré de perturbation
Textiles d'habillement, linge de maison et chaussures	
Humidité	Les articles mouillés ou très humides ne peuvent pas être recyclés. Même s'ils sont généralement éliminés lors de la première étape de tri ou directement lors de la collecte, il est essentiel de les retirer car ils peuvent favoriser la croissance de moisissures, ce qui peut entraîner leur dégradation, et contaminer le reste du gisement.
Lavage / séchage excessif	Le lavage et séchage (en sèche-linge) excessif des textiles provoque une usure prématurée des fibres, ce qui réduit la qualité des fibres recyclées par voie mécanique. Cette problématique est particulièrement importante dans le cas du défibrage des textiles pour créer un nouveau fil. Certains détergents provoquent également des pertes de caractéristiques techniques sur le PA ou le PET.
Odeur	Toute odeur présente dans les articles ne pourra pas être éliminée par des procédés de recyclage mécanique ou thermomécanique et se retrouvera dans la MPR résultante.
Pollution chimique (traces huile, peinture, etc.)	Les articles souillés ne peuvent pas être recyclés.
Spécifiques aux chaussures	
Détérioration de la matière liée à l'environnement (forte T° par ex.)	Détérioré la matière à recycler (ex. EVA des tongs)
Corps étrangers (cailloux, clous, chewing-gum, etc.)	Contaminent la matière de la semelle à recycler et peuvent détériorer les équipements s'ils ne sont pas retirés

Les chapitres suivants explicitent et détaillent le degré de perturbation des différents types de perturbateurs dans chacune des voies de recyclage.

2.6 Facilitateurs au recyclage

Les **facilitateurs au recyclage** sont tous les éléments ou ensemble d'éléments ayant un impact positif sur au moins l'une des voies de recyclage ou sur une étape de recyclage. Ils sont assez peu nombreux, mais faciles à implémenter et efficaces. Ces éléments doivent également être considérés en fonction de leur impact sur la durée d'usage (durabilité physique, réparabilité) du produit.

Les fils et colles thermofusibles peuvent faciliter le désassemblage des composants d'un article textile ou d'une chaussure, à condition que les équipements adaptés à la dégradation de ces fils et adhésifs spéciaux soient disponibles lors de la préparation au recyclage.

Les chapitres suivants détaillent les facilitateurs au recyclage des textiles et des chaussures recensés dans le cadre de l'étude.

3 ANALYSE DES PERTURBATEURS ET FACILITATEURS AU RECYCLAGE DES TEXTILES

3.1 Synthèse

3.1.1 Perturbateurs au recyclage

Le tableau 6 synthétise le degré de perturbation dans chaque voie de recyclage des différents perturbateurs pour les textiles (vêtements et linge de maison). L'analyse explicative à l'origine du tableau suit au 3.2 et détaille en quoi et comment les différents éléments sont perturbants au sein de chaque voie de recyclage.

Tableau 6 : Degrés de perturbation des différents perturbateurs au recyclage des textiles

Perturbateurs	Surtri optique	Recyclage mécanique		Recyclage thermo-mécanique	Recyclage chimique
		Coupe pour fabrication de chiffons d'essuyage	Effilochage pour la production de non-tissés et défilage pour filature*		
PERTURBATEURS EXTERNES					
Points durs métalliques	+ (si scan sur point dur)	++	+ à ++	++	++
Points durs thermoplastiques	+ (si scan sur point dur)	++	+ à ++	∅ (si même matière que l'étoffe principale) à ++	+
Impressions par flochage, broderies, toutes décorations en motif placé ⁵	+ (si scan sur ces éléments)	+	∅ à ++	+	+
Textiles multicouches	++	++	∅ à ++	+	+
PERTURBATEURS INTERNES					
Composition matière >2	++	∅ (si coton majoritaire)	∅ à ++	+	++
Apprêts, enductions, lamés, sequins et paillettes all-over ⁶	++	++	++	∅ (si même matière que l'étoffe principale) à ++	+
Composants électriques et électroniques	+	++	++	++	++
Fils métalloplastiques	+	++	++	++	++

⁵ Eléments isolés placés sur la surface du textile

⁶ Eléments continus et réguliers sur toute la surface du textile

Perturbateurs	Surtri optique	Recyclage mécanique		Recyclage thermo-mécanique	Recyclage chimique
		Coupe pour fabrication de chiffons d'essuyage	Effilochage pour la production de non-tissés et défibrage pour filature*		
Élasthanne	++ (lorsque < 5%)	+	++ (lorsque > 5%)	+	++ (lorsque > 5%)
Textiles multicolores	∅	∅	∅ à ++	+	∅
Certains colorants	++ (noir de carbone)	+	∅	∅	+
PERTURBATEURS LIÉS À L'UTILISATION OU À LA COLLECTE					
Textiles humides ou mouillés	++	++	++	++	++
Lavage / séchage excessif	∅	∅	∅ à ++	∅	∅
Odeur	∅	+	++	++	∅
Textiles souillés	++	++	++	++	++

*le niveau d'exigence est généralement plus élevé pour le défibrage pour la filature que pour l'effilochage à destination des non-tissés

Légende des degrés de perturbation :

∅	Aucun impact significatif sur le déroulé du procédé ou sur la qualité de la Matière Première de Recyclage (MPR).
+	Présence d'un perturbateur pouvant être géré par le procédé ou éliminé par une étape de préparation matière.
++	Présence d'un perturbateur qui entrave le procédé ou qui altère de manière rédhibitoire la qualité du produit, ce qui peut entraîner son exclusion à l'entrée.

En synthèse :

Les perturbateurs au recyclage des textiles identifiés dans le cadre de cette étude recouvrent globalement ceux déjà identifiés en 2014. En effet, la conception des vêtements ayant très peu évolué en 10 ans, peu de nouveaux perturbateurs ont été nouvellement identifiés. La teinture au noir de carbone est le principal perturbateur récemment identifié comme perturbateur au surtri optique (NIR).

Les éléments identifiés comme les plus pénalisants, qui perturbent l'ensemble des voies de recyclage, sont :

- **Les fils métalloplastiques** (ex : Lurex®) : ces fils sont des perturbateurs dans toutes les voies de recyclage existantes et sont très difficilement gérés par les procédés actuels (ou par les procédés en devenir⁷) entraînant des risques de feu à l'effilochage, le feu étant le plus grand risque d'un centre de tri ou de préparation matière ;
- **Les composants électroniques et électriques** : similairement ces composants ne sont tolérés dans aucune voie de recyclage et peuvent provoquer des explosions ou incendies.
- **Les apprêts, enductions, impressions, sequins et paillettes lorsque présents sur la totalité ou sur une surface significative de l'article** : perturbateurs dans toutes les voies de recyclage existantes, non gérés par les procédés actuels (ni par les procédés en devenir) ;
- **Les points durs métalliques et plastiques en nombre significatif ou recouvrant une surface significative de l'article** : lorsqu'ils sont en quantité importante, ces éléments conduisent à une forte proportion massique de déchets non textiles à éliminer. Les acteurs opérant un retrait manuel de ces perturbateurs

⁷ Recyclage thermomécanique vers plasturgie et recyclage chimique

insistent sur le degré fortement perturbant des points durs lorsqu'ils ne sont pas placés à un endroit standardisé pour une même catégorie de produit.

Le degré de perturbation des autres perturbateurs recensés est variable selon la voie de recyclage considérée. Parmi les plus significatifs, nous pouvons citer le cas des **mélanges de plus de 2 matières différentes** ainsi que **l'élasthanne > 5%**, perturbateurs pour plusieurs voies de recyclage.

3.1.2 Facilitateurs au recyclage

Les articles textiles **les plus facilement recyclables** aujourd'hui **combinent l'ensemble des critères suivants** :

- **Monocouche** ;
- **Monomatière** ;
- **Monochrome** (*pour défibrage vers filature*) ;
- **Sans fil métalloplastique ni paillettes, impression ou enduction thermoplastique sur toute la surface du vêtement** (« all-over »).

Tout article combinant l'ensemble de ces critères peut être recyclé directement par l'ensemble des voies de recyclage (avec une éventuelle étape préparatoire de délissage + tri matière / couleur).

Pour faciliter le recyclage des textiles, **il est recommandé de** :

- **Assurer la traçabilité des informations composant les articles** (composition matière principalement) **tout au long de leur cycle de vie** ;
- **Introduire un minimum de composants bloquants** (points durs, fils métalloplastiques, paillettes, élasthanne > 5%) ;
- **Privilégier les articles monomatière** (ou les bi-matières recyclables simultanément) ;
- **Eviter autant que possible les apprêts purement esthétiques** et privilégier l'aspect fonctionnel ;
- **Eviter autant que possible les perturbateurs externes purement esthétiques** et privilégier l'aspect fonctionnel. Normaliser la position des éléments aux mêmes emplacements (permettant ainsi une manipulation et un retrait plus rapide pour le délissage manuel).

Dans les parties suivantes, les perturbateurs sont énumérés dans l'ordre croissant de perturbation en fonction de leur degré de perturbation.

3.2 Détail des perturbateurs et facilitateurs par voie de recyclage

3.2.1 Étape préliminaire au recyclage : surtri optique

Descriptif : cette étape mobilise en règle générale des technologies de reconnaissance de la matière via l'analyse de ses propriétés physiques ou chimiques, la technologie la plus répandue étant la spectroscopie proche infrarouge (NIR). Les capteurs peuvent être portatifs ou intégrés à une table de tri, mais également intégrés dans une ligne de tri plus ou moins automatisée, et couplés à de la reconnaissance couleur.

Tableau 7 : Perturbateurs au surtri optique des textiles

PERTURBATEURS	DEGRÉS DE PERTURBATION	EXPLICATIONS
PERTURBATEURS EXTERNES		
Textiles multicouches	++	La spectroscopie étant une technologie de détection de surface, seule la couche en contact avec le capteur pourra être identifiée. Les autres couches de l'article, si de composition matière différente de celle de l'étoffe scannée, conduiront à augmenter le taux d'impureté de la catégorie de tri sortante.
Points durs métalliques et thermoplastiques	+	Certains instruments de reconnaissance infrarouge (tels que les spectromètres manuels) analysent les articles en un seul point de mesure. Si des points durs sont présents en trop grande quantité et/ou de grande taille (>2cm), les capteurs optiques peuvent alors analyser ces derniers au lieu de l'étoffe principale, entraînant des erreurs de classification et de tri.
Impressions par flochage, broderies, toutes décorations en motif placé	+	Les spectromètres à mesure ponctuelle analysent les articles en un seul point de mesure. Si ces décorations sont présentes en trop grande quantité, les capteurs optiques peuvent alors analyser ces dernières au lieu de l'étoffe principale, entraînant des erreurs de classification et de tri.
PERTURBATEURS INTERNES		
Composition matière >2	++	Lors de l'identification d'un mélange de matière supérieur à deux, il devient difficile d'identifier chaque matière lors de la lecture du spectre ⁸ .
Apprêts, enductions, lamés, sequins et paillettes all-over Tricots / tissus double-face	++	La spectroscopie étant une technologie de détection de surface, seule la couche en contact avec le capteur pourra être identifiée. La matière des couches inférieure ne sera donc pas identifiée.
Matière < 5% dans la composition d'un mélange	++	Une des limites des technologies de reconnaissance infrarouge aujourd'hui est la difficulté à détecter la présence de matières représentant moins de 5% de la composition globale ⁸ .
Teinture au noir de carbone	++	Le noir de carbone absorbe la lumière, ce qui rend impossible la détection du spectre de la matière textile (synthétique ou artificielle uniquement).
Fil guipé (ex : élasthanne)	++	Les fils guipés sont des fils où l'âme du fil est recouverte par une autre matière. Un exemple classique est un fil d'élasthanne couvert de coton ou de polyester ; la détection de l'élasthanne « caché » au cœur du fil est alors impossible.

⁸ Refashion, avril 2023. « Veille européenne sur les technologies de tri optique, de reconnaissance et de déliassage des matières textiles »

Textiles humides / mouillés	++	L'humidité fausse ou empêche la détection.
Fils métalloplastiques	+	Les fils métalloplastiques réfléchissent la lumière et peuvent fausser la détection de la matière principale de l'étoffe.
Composants électriques et électroniques	+	En surface, ces composants peuvent venir perturber le tri optique. Si ces composants sont cachés sous la surface, ils ne pourront pas être détectés.

FACILITATEURS	
Identifiant numérique	Un identifiant numérique (code QR, puce RFID...) peut contenir des informations détaillées sur les matières et les composants utilisés dans les textiles, y compris les mélanges de fibres, les traitements appliqués et les accessoires. La mise en œuvre de procédés de lecture de ces identifiants permettrait aux centres de tri de réaliser un surtri précis, sans besoin de tri optique.

3.2.2 Recyclage mécanique

3.2.2.1 Coupe pour fabrication de chiffons d'essuyage

Descriptif : La **coupe** consiste à couper des textiles en chiffons d'essuyage. Elle est réalisée à l'aide de ciseaux (manuel ou électrique), de scie (circulaire ou à ruban) ou d'emporte-pièce.

Tableau 8 : Perturbateurs et facilitateurs à la coupe pour fabrication de chiffons d'essuyage

PERTURBATEURS	DEGRÉS DE PERTURBATION	EXPLICATIONS
PERTURBATEURS EXTERNES		
Textiles multicouches	++	Ces articles ne sont généralement pas acceptés dans cette voie de recyclage car si les différentes couches sont collées, elles sont inséparables.
Points durs métalliques et thermoplastiques	++	Aucun point dur ne peut être toléré sur des chiffons d'essuyage. S'ils sont présents sur une grande surface, ces éléments ralentissent leur retrait et augmentent la perte de matière.
Composants électroniques et électriques	++	Ces composants doivent impérativement être retirés.
Impressions par flocage, broderies, toutes décorations en motif placé	+	Ces éléments réduisent les propriétés absorbantes de la matière et peuvent endommager les surfaces à essuyer.
PERTURBATEURS INTERNES		
Apprêts, enductions, lamés, sequins et paillettes all-over	++	Ces éléments réduisent les propriétés absorbantes de la matière et peuvent endommager les surfaces à essuyer.

Fils métalloplastiques	++	Ces éléments réduisent les propriétés absorbantes de la matière et peuvent endommager les surfaces à essuyer.
Compositions synthétiques	++	Hormis les tissus en microfibres polyester spécialement conçus pour essuyer, les textiles synthétiques sont écartés car inadaptés pour cette application (non-absorbants).
Certains colorants	+	Le dégorgeage de certains colorants peut contaminer les surfaces à essuyer.
Élasthanne (> 5%)	+	L'élasticité de l'étoffe complexifie la découpe.

FACILITATEURS	
Normalisation de la position des éléments perturbateurs à découper	Les articles présentant des perturbateurs systématiquement situés aux mêmes emplacements permettent une manipulation des textiles plus simple et plus rapide pour les opérateurs de coupe.

3.2.2.2 Effilochage pour la production de non-tissés et défilage à destination de la filature

Descriptif : Le processus d'**effilochage** est une transformation mécanique des textiles en fibres pour différentes applications. Les textiles sont découpés avant de passer dans une effilocheuse comportant plusieurs cylindres à pointes venant arracher les chiquettes textiles jusqu'à l'état de fibres effilochées.

Le **défilage** nécessite la même technologie que l'effilochage mais permet un arrachage des fibres moins agressif en vue de conserver une longueur de fibres maximale en sortie, appropriée pour la filature.

Tableau 9 : Perturbateurs et facilitateurs à l'effilochage et au défilage des textiles

PERTURBATEURS	DEGRÉS DE PERTURBATION	EXPLICATIONS
PERTURBATEURS EXTERNES		
Points durs métalliques et thermoplastiques	+ à ++	La présence de points durs en métal peut entraîner des incendies et endommager les équipements. Bien que la présence de quelques points durs résiduels ($\leq 2\text{cm}$) puisse être tolérée dans la production de certains non-tissés, la tolérance aux points durs pour la filature est nulle.
Étiquettes	+ à ++	Les étiquettes de composition sont généralement en tissu polyester (assez dense pour permettre une impression lisible). Elles peuvent entraîner la production « d'étoiles », morceaux d'étoffe non ouverts qui se retrouvent dans les fibres effilochées.
Impressions par flocage, broderies, toutes décorations en motif placé	Ø à ++	Les impressions par flocage de dimensions réduites (motif placé comme dans le cas de l'inscription de logo par exemple) peuvent être tolérées mais les fibres collées par l'impression ne seront pas effilochées (formant des « étoiles »). Cela peut être toléré pour la production de non-tissés mais pas en filature.
Textiles multicouches	Ø à ++	Les textiles multicouches peuvent être composés de différents types de matières et comporter des points durs. La multiplication des matières au sein d'un même article accentue la variabilité de la composition de la MPR, complexifie le recyclage et limite les débouchés.
Coutures	+	Pour défilage vers filature uniquement : si la matière de l'étoffe à recycler n'est pas du polyester, les fils de couture étant majoritairement en polyester contamineront la MPR.

PERTUBATEURS INTERNES		
Tricot et tissu jacquard Maille jetée	++	Ces contextures où les fils sont entrelacés sont impossibles à effiloche. Suivant leur composition matière, le recyclage thermomécanique ou chimique sont les voies de recyclage à privilégier pour ce type d'articles.
Enductions, sequins et paillettes all-over	++	Les enductions collent les fibres empêchant toute possibilité d'effilochage. Les sequins et paillettes all-over complexifient le processus d'effilochage et contaminent les équipements.
Composants électriques et électroniques	++	Ces composants, s'ils n'ont pas été retirés avant par déliassage, risquent de créer un départ de feu.
Fils métalloplastiques	++	Les fils métalloplastiques, comme le Lurex®, sont des fils synthétiques recouverts de métal qui peuvent causer des étincelles lors de l'effilochage, et donc un risque d'incendie.
Élasthanne (> 5%) Tissus et tricot extensibles	++	L'élasthanne rend les textiles élastiques et donc difficiles à effiloche. Il se dégrade à la chaleur des frottements mécaniques et provoque la formation « d'étoiles », amas non effilochés et non teintés qui se retrouvent dans le produit recyclé. Le degré de tolérance de la filature vis-à-vis de l'élasthanne dépend du type de fil recyclé final.
Textiles multicolores	Ø à ++	Les textiles multicolores ne sont pas possibles à classer dans un tri couleur. Ces textiles sont donc problématiques pour la filature si la couleur du fil recyclé doit être uniforme. La production de non-tissé est moins exigeante à ce sujet.
Composition matière >2	Ø à ++	Il est important d'obtenir une MPR de composition connue, particulièrement pour la production d'un nouveau fil. La production de non-tissé est moins exigeante à ce sujet.
Tissu en fil fin	+	Les tissus en fil fin sont difficiles à effiloche correctement.

FACILITATEURS	
Textiles monomatière et monochromes	Limiter le nombre de matières et l'utilisation de coloris différents sur un même textile permet, lors de sa fin de vie, de l'orienter vers le défibrage pour la production de fil. Toutefois, les articles ne répondant pas à ces critères - s'ils sont effilochables - peuvent être dirigés vers la fabrication de non-tissés.

A noter que les textiles de petites tailles sont généralement écartés car ceux-ci comportent peu de matière par rapport au taux de perturbateurs.

3.2.3 Recyclage thermomécanique

Descriptif : Le **recyclage thermomécanique** représente un ensemble de procédés de préparation et de fusion des matières majoritairement synthétiques associés à un/des traitement(s) mécanique(s) (extrusion, injection...), afin de produire des granulats destinés à la plasturgie.

Tableau 10 : Perturbateurs et facilitateurs au recyclage thermomécanique des textiles

PERTURBATEURS	DEGRÉS DE PERTURBATION	EXPLICATIONS
PERTURBATEURS EXTERNES		
Points durs métalliques	++	Les points durs métalliques entraînent la détérioration et même la casse des outils de production.
Points durs thermoplastiques	Ø à ++	Ces éléments sont des perturbateurs lorsqu'ils sont d'une matière différente de l'étoffe principale.
Textiles multicouches	+	Les différentes couches sont des perturbateurs lorsqu'elles sont d'une matière différente de l'étoffe principale.
Impressions par flochage, broderies, toutes décorations en motif placé	+	Ces éléments apportent des impuretés dans la MPR s'ils sont d'une matière différente de l'étoffe principale.
PERTURBATEURS INTERNES		
Fils métalloplastiques	++	Tout élément en métal est proscrit en recyclage thermomécanique.
Composants électriques et électroniques	++	Ces composants sont proscrits en recyclage thermomécanique.
Textiles humides / mouillés	++	Les textiles humides inhibent la performance du recyclage thermomécanique et peuvent endommager les équipements.
Acrylique, chlorofibres et PVC	++	L'acrylique, les chlorofibres et le PVC peuvent dégager des odeurs et des gaz toxiques lorsqu'ils sont soumis à de fortes températures.
Apprêts, enductions, lamés, sequins et paillettes all-over	Ø à ++	La présence de sequins ou paillettes entraîne des obstructions dans les machines et perturbe le processus de fusion, compromettant ainsi la qualité et la pureté de la MPR. Les apprêts et enductions, s'ils sont d'une matière différente de l'étoffe principale, entraînent des problèmes de contamination dans les produits finis.
Composition matière > 2	+	Si les mélanges sont des mélanges de matières thermoplastiques bien identifiés, alors ils peuvent être recyclables par voie thermomécanique. Néanmoins cela affecte la rentabilité du processus et la MPR résultante sera un mélange de matières.

Élasthanne	+	La présence d'élasthanne complexifie la préparation de la matière (déchetage) en raison de son élasticité.
Textiles multicolores	+	Les textiles multicolores apporteront un mélange hétérogène de couleurs dans la MPR, la seule solution est de teindre la MPR.
Résidus de fibres naturelles	+	Ces résidus sont carbonisés dans l'extrudeuse et ne sont pas filtrés en tête d'extrudeuse car trop fins. Certains recycleurs parviennent néanmoins à traiter ces résidus.

FACILITATEURS	
Textiles 100% synthétiques, sans apprêt et monochromes	Limiter l'utilisation de coloris différents sur un même textile et privilégier les matières 100% synthétiques sans apprêt permet, lors de sa fin de vie, de l'orienter vers le recyclage thermomécanique sans besoin d'ajout de colorant et risque de contamination dans la MPR.

3.2.4 Recyclage chimique ou enzymatique

Descriptif : Le **recyclage chimique ou enzymatique** désigne l'ensemble des procédés de transformation des matières polymères (synthétiques ou cellulosiques) en polymères purifiés (dissolution), ou en composés issus de ces polymères (monomères ou oligomères). On parle le plus souvent de recyclage chimique, ou de recyclage enzymatique lorsque des enzymes sont utilisés.

Tableau 11 : Perturbateurs et facilitateurs au recyclage chimique ou enzymatique des textiles

PERTURBATEURS	DEGRÉS DE PERTURBATION	EXPLICATIONS
PERTURBATEURS EXTERNES		
Points durs métalliques et plastiques	+	Un défilage strict des points durs est nécessaire pour éviter d'endommager les équipements et de contaminer la MPR. Certains procédés tolèrent les points durs plastiques de même composition que l'étoffe principale à recycler.
Impressions par flocage, broderies, toutes décorations en motif placé	+	Ces éléments contribuent à augmenter le taux d'impureté dans la MPR.
Textiles multicouches	+	Les différentes couches sont des perturbateurs lorsqu'elles sont d'une matière différente de l'étoffe principale.
PERTURBATEURS INTERNES		
Composition matière > 2	++	Au-delà d'un certain seuil de pureté, les coûts de traitement et les risques pour la qualité du produit final augmentent de manière significative, ce qui peut compromettre la viabilité économique du processus de recyclage.
Fils métaloplastiques	++	Constitués de mélanges de matières plastiques et de métaux, ils sont difficiles à décomposer chimiquement de manière efficace.

Composants électriques et électroniques	++	Ces composants ne sont pas tolérés par les procédés de recyclage chimique ou enzymatique.
Textiles humides / mouillés	++	Les textiles humides inhibent la performance des procédés de recyclage chimique ou enzymatique.
Élasthanne > 5%	+ à ++	Un taux d'élasthanne au-delà de 5% perturbe la majorité des procédés.
Apprêts, enductions, lamés, sequins et paillettes all-over	+	Ces éléments inhibent sinon dégradent la performance des procédés de recyclage et contribuent à augmenter le taux d'impuretés dans la MPR.
Certains types de colorants	+	Certains types de colorants résistent à la dégradation chimique. Des techniques de purification peuvent ajouter des coûts et de la complexité au processus de recyclage.

FACILITATEURS

Textiles monomatière, monocouches et de couleur claire	Les textiles monomatières de couleur claire permettent un meilleur rendement pour la majorité des procédés de recyclage chimique ou enzymatique. Les textiles multicouches d'une même et seule composition peuvent être acceptés.
---	---

4 ANALYSE DES PERTURBATEURS ET FACILITATEURS AU RECYCLAGE DES CHAUSSURES

4.1 Constitution des chaussures et problématiques de recyclage

4.1.1 Anatomie des chaussures

On observe une grande variété de modèles de chaussures, des tennis aux bottes, des escarpins aux sandales, etc. La tige (= partie supérieure de la chaussure) et la semelle sont des éléments présents dans toutes les chaussures des ménages.

La tige et la semelle sont elles-mêmes composées d'un grand nombre d'éléments différents pouvant varier en fonction des modèles. Le CTC⁹ propose un schéma des éléments constitutifs d'une chaussure (exemple de chaussure « derby ») :

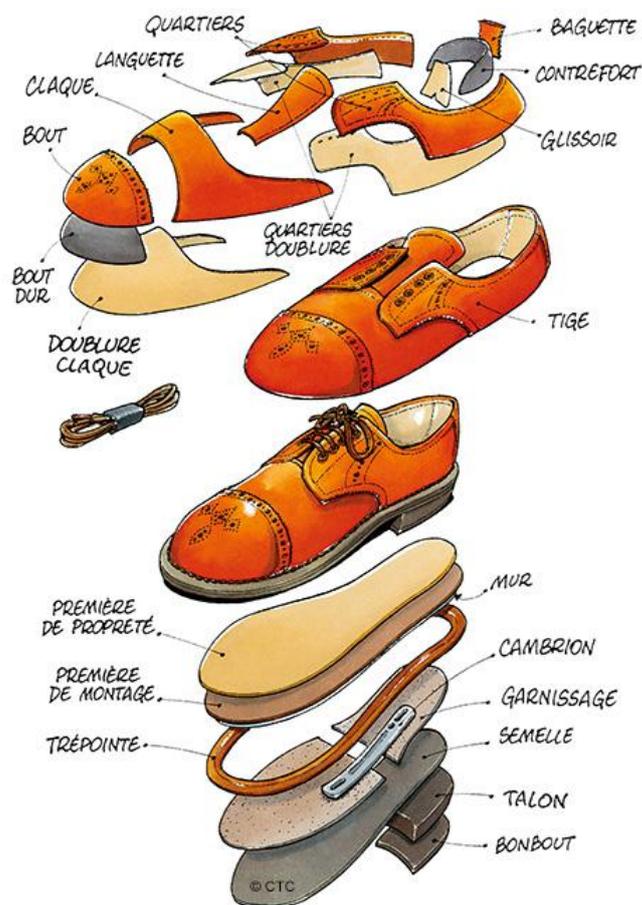


Figure 2 : Descriptif de la chaussure, CTC

La tige englobe une multiplicité de matériaux et de composants, visibles ou non, dont certains sont identiques à ceux présents dans les vêtements (ex : textile, fermeture, rivet, etc.). La semelle, quant à elle, bien qu'elle puisse

⁹ Le CTC (Centre Technique du Cuir) est un centre de recherche et de formation spécialisé dans le cuir, la chaussure, la maroquinerie et les métiers connexes.

être constituée d'un seul matériau, est généralement composée de deux, voire davantage de matériaux (ex : PU, TPU, EVA etc.).

Leur assemblage, appelé « montage », peut varier, qu'il s'agisse d'un montage soudé, cousu ou injecté.

4.1.2 Montage soudé

Cette méthode consiste à fixer la tige de la chaussure et la semelle ensemble à l'aide d'adhésifs. Les surfaces à coller sont, dans un premier temps, préparées pour augmenter l'adhérence. L'adhésif est ensuite appliqué de manière uniforme sur les deux parties à assembler qui sont ensuite pressées ensemble.

4.1.3 Montage cousu

La tige de la chaussure et la semelle sont assemblées à l'aide de points de couture. Généralement, la tige est d'abord fixée à la première de montage, puis une semelle extérieure (ou « semelle d'usure ») est ajoutée et cousue au reste de la chaussure.

4.1.4 Montage injecté

Cette méthode utilise des machines d'injection pour remplir les moules représentant l'empreinte de la semelle. Les tiges sont fixées sur les postes du carrousel tandis que les moules mobiles tournent autour de l'injecteur. Le polymère, le plus souvent du PU (polyuréthane), est injecté à haute pression dans le moule, créant ainsi la semelle. On peut réaliser des injections mono-densité ou bi-densités pour ajuster la dureté et le confort.

4.2 Revue des procédés de préparation au recyclage

Contrairement aux textiles, la filière industrielle de recyclage des chaussures usagées est à ses prémices. Les chaussures usagées non-réutilisables sont aujourd'hui majoritairement valorisées en CSR (Combustibles Solides de Récupération).

Il existe deux principales approches de préparation au recyclage des chaussures :

- a) Les chaussures sont broyées entièrement puis les différentes matières sont triées par diverses techniques (densimétrie, infrarouge, etc.) pour être dirigées vers des voies de valorisation matière. Les contaminants résiduels limitent la pureté des flux de matières.
- b) Les chaussures sont démantelées pour un recyclage séparé de la semelle (principalement) et de la tige. Divers perturbateurs peuvent entraver cette séparation tige/semelle.

4.2.1 Broyage de chaussures entières

Le **broyage de chaussures entières** est un processus par lequel les chaussures usagées sont réduites en petits morceaux (broyats) à l'aide d'un broyeur. Cette méthode permet d'obtenir des broyats d'une même matière dans le cas de chaussures monomatière ou de différentes matières de la chaussure comme le cuir, le caoutchouc, le plastique, le textile, etc.

Les broyats obtenus peuvent ensuite être triés (tri densimétrique et/ou tri optique) puis être envoyés vers d'éventuelles étapes supplémentaires de recyclage jusqu'à être réincorporés dans la fabrication de nouveaux produits.

Plusieurs solutions de ce type ont été développées. La ligne de broyage de SOEX¹⁰ finalisée en 2017 peut traiter quasiment tous types de chaussures¹¹. Cette ligne est hébergée dans l'usine de recyclage SOEX à Wolfen en Allemagne. Après broyage, les matériaux sont séparés en fonction de leur densité, permettant ainsi d'isoler les matières des différents composants et de les extraire sous forme de granulés ou de poudres destinés au recyclage.

¹⁰ SOEX. « Innovation ».

¹¹ Sauf chaussures avec grosses pièces métalliques (coques, crampons)

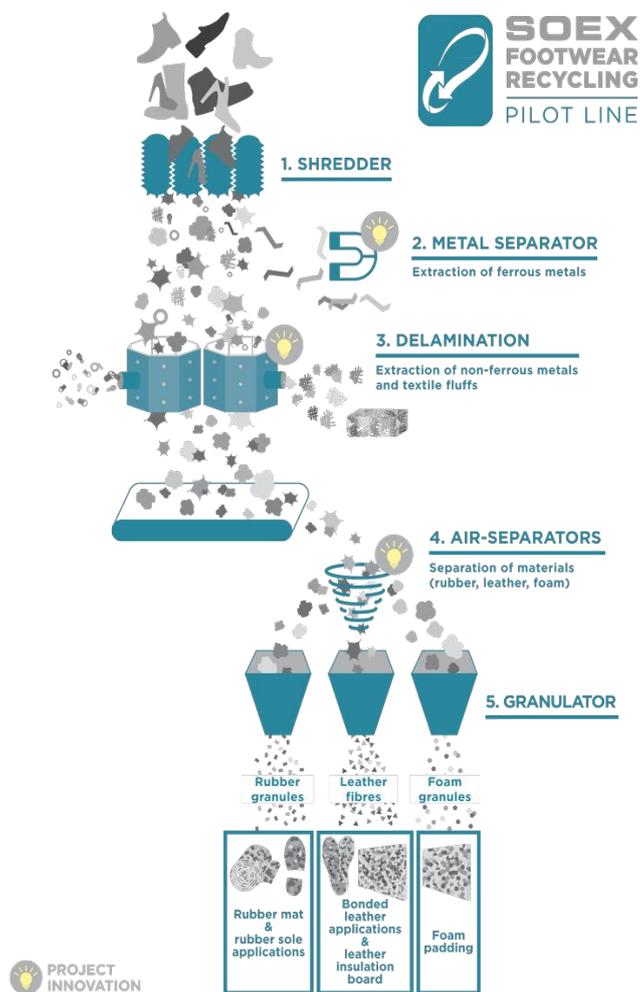


Figure 3 : Schéma de la ligne pilote du projet Air SOEX

L'entreprise hollandaise FastFeetGrinded¹² a développé une ligne de préparation au recyclage qui fonctionne sur un principe similaire à celui de la ligne SOEX. L'entreprise est capable de valoriser la mousse, les fibres textiles et le caoutchouc pour divers usages en boucle ouverte (tapis de yoga, revêtement de sol sportif...) mais également pour la création de nouvelles chaussures.

Le centre d'innovation espagnol INESCOP¹³ a développé de son côté un démonstrateur avec un fonctionnement similaire : après un broyage de la chaussure, un tri densimétrique sépare la mousse, le caoutchouc et les textiles, en vue de la valorisation de chaque fraction.

En France, The 8 Impact a également développé un procédé incluant le broyage des chaussures (baskets) après un tri préalable par catégorie. Le procédé en 8 étapes mécaniques est breveté et utilise notamment la séparation par densimétrie (sans eau) permettant d'isoler le caoutchouc, la mousse EVA et le « fluff » textile qui peuvent ensuite être valorisés séparément.

¹² Scott. « FastFeetGrinded ».

¹³ « Rafael Climent to inaugurate a recycling plant for the footwear, textile, and toy sectors at INESCOP - INESCOP. Centre for Technology and Innovation »

4.2.2 Procédés de séparation de la tige et de la semelle

La **séparation de la tige et de la semelle** est une méthode développée afin de faciliter le recyclage de chaque partie individuellement. Il existe aujourd'hui différentes technologies pour dissocier la tige de la semelle de la manière la plus appropriée en fonction de leur technique de montage. Les semelles sont ensuite broyées, avant ou après tri (par spectrométrie), afin que chaque matière soit envoyée vers la filière de valorisation la plus adaptée.

Parmi les solutions de séparation automatisées actuellement recensées, 3 technologies ressortent :

L'arrachage, qui consiste en l'utilisation de dispositifs mécaniques pour séparer la tige de la semelle après réactivation des colles. Il est possible d'effectuer cette séparation manuellement, comme c'est le cas pour le procédé de la société ReValorem, qui procède au démantèlement manuel des chaussures invendues et des prototypes de marques de luxe. Le CETIA possède quant à lui une ligne d'arrachage automatisée (développée dans le cadre du projet Reshoes¹⁴) permettant une séparation automatisée des semelles thermocollées au moyen d'un bras d'arrachage robotisé après passage dans un four pour réactiver la colle.

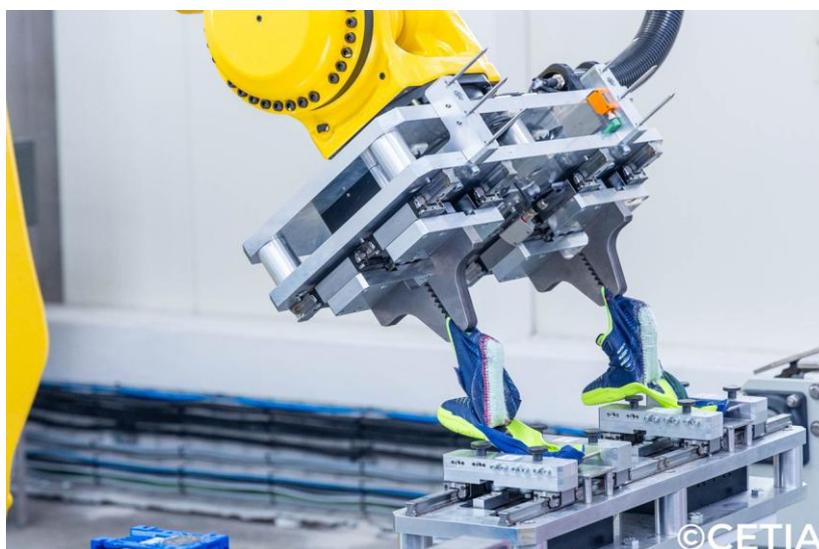


Figure 4 : Procédé d'arrachage du CETIA

La découpe, qui implique l'utilisation de machines spécialisées pour découper précisément la tige de la semelle à l'aide de lames ou d'autres outils de découpe (ex : jets d'eau). Le CETIA possède une machine de découpe jets d'eau pour les chaussures montage cousu.

Enfin, **la délamination par CO₂ supercritique**, qui est une méthode développée à l'échelle prépilote utilisant du dioxyde de carbone à l'état supercritique pour dissoudre sélectivement les colles, en vue de permettre la séparation des composants (travaux de la start-up IDELAM¹⁵).

Aujourd'hui, il n'existe pas encore de débouchés économiquement viables pour les tiges, car ce sont des éléments très complexes (peu de matière mais beaucoup de perturbateurs). Les éléments métalliques peuvent toutefois être isolés et valorisés séparément.

¹⁴ FashionNetwork. « Reshoes : le nouveau programme français innovant de recyclage de semelles ».

¹⁵ « IDELAM intervient dans la vidéo du CNRS le Journal sur le recyclage à l'aide des fluides supercritiques ». IDELAM.

4.3 Synthèse des perturbateurs et facilitateurs à la préparation au recyclage des chaussures

4.3.1 Perturbateurs

Le tableau 12 ci-dessous synthétise le **degré de perturbation des différentes catégories de perturbateurs** pour les différentes voies de préparation au recyclage des chaussures.

Ce tableau récapitulatif est le fruit de l'analyse explicative par voie de préparation au recyclage exposée au 4.2, dans laquelle il est détaillé en quoi et comment les différents éléments sont perturbants au sein de chaque étape.

Les éléments identifiés comme les plus perturbants sur l'ensemble des étapes de préparation matière sont :

- **Les composants électriques et électroniques**, qui peuvent provoquer des incendies ;
- **Les pièces métalliques et plastiques** sur la tige et la semelle (fermetures à glissières, éléments type bandes réfléchissantes, plaques métalliques, cambrions, œillets, talons...). Ces perturbateurs compliquent le broyage et conduisent à une proportion importante de déchets à éliminer et à une faible proportion massive pouvant être recyclée.

Tableau 12 : Degrés de perturbation des différents perturbateurs à la préparation au recyclage des chaussures

Perturbateurs	Broyage de la chaussure entière		Séparation de la semelle et de la tige	
	Étape de broyage	Surtri des broyats	Séparation tige et semelle	Surtri de la semelle
PERTURBATEURS EXTERNES				
Point durs métalliques (cambrions, coques, œillets...)	+	+	+	+
Points durs plastiques	∅	+	+	+
PERTURBATEURS INTERNES				
Composants électriques ou électroniques	++	+	++	+
Composition matière >2 Charges et additifs	∅	++	∅	++
Coloration au noir de carbone	∅	++	∅	++
Apprêts, enductions, lamés, sequins et paillettes all-over (tige)	∅	++	∅	∅

Légende des degrés de perturbation :

∅	Aucun impact significatif sur le déroulé du procédé ou sur la qualité de la Matière Première de Recyclage (MPR).
+	Présence d'un perturbateur pouvant être géré par le procédé ou éliminé par une étape de préparation matière.
++	Présence d'un perturbateur qui entrave le procédé ou qui altère de manière rédhitoire la qualité du produit, ce qui peut entraîner son exclusion à l'entrée.

PERTURBATEURS LIÉS À L'UTILISATION OU À LA COLLECTE	
Corps étrangers	Les corps étrangers (tels que les cailloux, clous, chewing-gum...) peuvent contaminer les MPR s'ils ne sont pas retirés en amont.
Pollution chimique	La pollution chimique, provenant d'éléments tels que l'huile, les produits de nettoyage, la peinture et les solvants, est un autre perturbateur qui interfère négativement dans le processus de recyclage et la qualité de la MPR.
Conditions environnementales	L'exposition au sel et au sable peut altérer la composition des matières, comme c'est le cas pour les claquettes en EVA portées à la plage.
Articles mouillés	Les articles mouillés favorisent la croissance de moisissures, ce qui peut entraîner leur dégradation, et contaminer le reste du gisement.
Odeur	Toute odeur subsistante est susceptible de se retrouver dans la MPR.

Les perturbateurs liés à l'utilisation ou à la collecte peuvent poser des problèmes importants pour les procédés de recyclage ou la qualité de la MPR. Les corps étrangers et les chaussures mouillées ou souillées sont également problématiques pour le surtri optique. Il est donc essentiel de retirer ces éléments voire d'isoler les chaussures concernées pour minimiser leur impact négatif sur les processus de recyclage.

4.3.2 Facilitateurs

En opposition aux problèmes causés par les perturbateurs externes et internes, des facilitateurs à la préparation au recyclage des chaussures peuvent être mis en avant :

Composants électriques et électroniques amovibles ou absents	Intégrer ces composants dans un module séparable permettrait, théoriquement et moyennant des instructions claires au consommateur , de les retirer facilement avant le dépôt des chaussures dans un point de collecte. À défaut, le fabricant pourrait récupérer ces chaussures pour réparation et recyclage. L'idéal est de ne pas mettre de composants électriques et électroniques.
Traçabilité des informations précises sur les constituants des chaussures	Avec des informations précises sur leur composition et leur type de montage, il devient possible de recycler les chaussures dans des lots spécifiques en fonction des types de matières, et de produire des matières recyclées de meilleure qualité. Intégrer des informations sur les matières dans les chaussures peut se faire de différentes manières. Par exemple, l'ajout d'un symbole de recyclage sous la semelle pourrait indiquer la composition de la semelle extérieure. La proposition du règlement européen de mise en place d'un Passeport Produit Digital (DPP) pour les nouveaux produits mis sur le marché en 2030 peut aussi être un moyen de véhiculer des informations plus précises sur la composition. ¹⁶
Semelle fixée par colle ou fil thermofusible	A durabilité du produit égale, les semelles assemblées au reste des chaussures par de la colle ou du fil thermofusible seront plus facilement démantelables lors de la séparation tige/semelle (moyennant les équipements appropriés). Il convient de toujours privilégier la durabilité de la chaussure et de son montage.
Chaussures monomatière	A durabilité du produit égale, limiter le nombre de types de matières différentes augmente la possibilité de récupérer une matière de meilleure qualité et de produire une MPR plus pure.

¹⁶ European Commission. « New Proposals to Make Sustainable Products the Norm ».

Globalement, **les chaussures les plus facilement recyclables aujourd'hui sont les chaussures combinant les critères suivants :**

- **Semelle monomatière ET monobloc ;**
- **Tige monomatière, sans apprêts et sans points durs.**

Tout article combinant l'ensemble de ces critères pourrait théoriquement être recyclable après séparation tige/semelle et sous conditions de bonne identification des matières et de filières de recyclage existantes.

Pour faciliter le recyclage des chaussures, **il est recommandé de :**

- **Assurer la traçabilité des informations composant les articles** (composition matière principalement) **tout au long de leur cycle de vie ;**
- **Introduire un minimum de composants bloquants** (composants électriques ou électroniques, enductions, paillettes) ;
- **Privilégier les articles monomatière** (ou du moins tige monomatière + semelle monomatière et monobloc) ;
- **Privilégier l'assemblage tige / semelle par colle ou fil thermofusible** (sous réserve que cela n'affecte pas la durabilité du produit).

4.4 Détail des perturbateurs par voie de préparation au recyclage des chaussures

4.4.1 Broyage de la chaussure entière

Les éléments suivants sont principalement tirés du retour d'expérience du projet Air SOEX. Peu d'informations agrégées provenant des acteurs de la filière sont actuellement disponibles, car le recyclage des chaussures est encore au stade R&D ou pilote. Les informations ci-dessous peuvent donc évoluer.

Tableau 13 : Perturbateurs au broyage de la chaussure entière

PERTURBATEURS	DEGRÉS DE PERTURBATION		EXPLICATIONS
	ÉTAPE DE BROYAGE	SURTRI DES BROYATS	
PERTURBATEURS EXTERNES			
Points durs métalliques (cambrions, coques, œillets...)	++	+	Les équipements de broyage peuvent être endommagés par les grandes pièces métalliques (coques ou crampons). Même après retrait des métaux non ferreux ¹⁷ , des œillets en aluminium peuvent contaminer la matière recyclée.
Points durs plastiques	∅	+	Même après avoir été déchiquetés, les morceaux de plastiques résiduels peuvent ne pas être détectés et éliminés par les machines de tri et d'éjection. La présence de points durs plastiques entraînera une baisse de la qualité de la MPR.
PERTURBATEURS INTERNES			
Composants électriques ou électroniques	++	+	Les composants électriques ou électroniques intégrés dans les chaussures ne peuvent pas être broyés sous peine de risque d'explosion ou d'incendie. Ils peuvent en plus contenir des substances toxiques (particulièrement les batteries au lithium), empêchant tout recyclage des chaussures.
Composition matière >2 Charges et additifs	∅	++	Un nombre élevé de matières dans les chaussures ainsi que les charges et additifs présents dans certaines semelles rendent le processus de tri plus complexe.
Coloration au noir de carbone	∅	++	Tout comme pour le surtri des textiles, les capteurs optiques proche infrarouge utilisés pour la reconnaissance matière ne peuvent pas détecter les spectres caractéristiques des matières en présence de noir de carbone.
Apprêts, enductions, lamés, sequins et paillettes all-over	∅	++	Comme pour les textiles, ces éléments présents le plus souvent sur les tiges des chaussures viennent perturber le surtri optique pour caractériser la matière.
FACILITATEURS			
Chaussures monomatière, sans points durs	Les chaussures monomatière permettent de récupérer une qualité de matière pure après broyage, sans nécessité de tri ultérieur. L'absence de points durs facilite le broyage et réduit le risque de contamination de la MPR.		

¹⁷ Avec un séparateur à courant de Foucault qui utilise des champs magnétiques pour générer des courants dans les métaux non ferreux, permettant de les séparer des autres matériaux.

4.4.2 Séparation de la tige et de la semelle

Tableau 14 : Perturbateurs à la séparation de la tige et de la semelle

PERTURBATEURS	DEGRÉS DE PERTURBATION		EXPLICATIONS
	SÉPARATION TIGE ET SEMELLE	SURTRI DES SEMELLES	
PERTURBATEURS EXTERNES			
Points durs métalliques et plastiques	+	+	La présence d'éléments rigides entre la tige et la semelle comme les cambriions ou des plaques anti-perforation peut compliquer la séparation de la tige et de la semelle. Ces éléments peuvent aussi perturber le surtri.
PERTURBATEURS INTERNES			
Composants électriques ou électroniques	++	+	Les composants électriques ou électroniques intégrés dans les chaussures ne peuvent pas être arrachés ou découpés sous peine de risque d'explosion ou d'incendie. Ils peuvent en plus contenir des substances toxiques (particulièrement les batteries au lithium), empêchant tout recyclage des chaussures.
Composition matière >2 Charges et additifs	∅	++	Un nombre élevé de matières dans les chaussures ainsi que les charges et additifs présents dans certaines semelles rendent le processus de tri plus complexe.
Coloration au noir de carbone	∅	++	Tout comme pour le surtri des textiles, les capteurs optiques proche infrarouge utilisés pour la reconnaissance matière ne peuvent pas détecter les spectres caractéristiques des matériaux en présence de noir de carbone.
Utilisation de certains types d'adhésifs	+	∅	L'utilisation de certains types d'adhésifs rendent le démantèlement plus difficile (température de chauffe requise plus élevée que pour des colles thermofusibles).

FACILITATEURS	
Semelle monomatière et monobloc	Les semelles monomatière et monobloc permettent de récupérer une qualité de matière pure, sans nécessité de tri ultérieur.
Tige monomatière, sans apprêts et sans points durs	Les tiges monomatière, sans apprêts et sans points durs, permettent de récupérer une qualité de matière pure, sans nécessité de tri ultérieur.
Colles ou fils thermofusibles	Les assemblages tige - semelle par colle ou fil thermofusible peuvent être plus facilement démantelés avec un four adapté. Ces colles ou fils thermofusibles doivent néanmoins garantir le maintien tige-semelle lors de l'utilisation des chaussures pour privilégier leur durabilité.

5 CONCLUSION

Globalement, le recensement des perturbateurs par voie de recyclage permet de mieux cerner quels sont les éléments les plus perturbants et quels sont les éléments facilitant la recyclabilité.

Il convient de rappeler que les textiles et chaussures usagés non-réutilisables doivent d'abord être déposés dans un point d'apport volontaire, et qu'ils doivent être propres (a minima non souillés) et secs pour être recyclés.

Les principaux perturbateurs au recyclage des textiles sont :

- Les fils métalloplastiques
- Les composants électroniques et électriques
- Les apprêts, enductions, lamés, sequins et paillettes, lorsqu'ils sont présents sur la totalité ou sur une surface significative du produit
- Les points durs métalliques et en plastique en nombre significatif ou recouvrant une surface significative de l'article
- Les compositions en mélange de plus de 2 fibres différentes
- La quantité d'élasthane supérieure à 5% dans la composition de l'étoffe

Les textiles les plus facilement recyclables sont :

- Monocouche,
- Monomatière,
- Monochrome (*pour défibrage vers filature*) ;
- Sans fils métalloplastiques ni paillettes, lamé, impression ou enduction thermoplastique sur toute la surface du vêtement (« all-over »).

Pour faciliter le recyclage des textiles, il est recommandé de :

- Assurer la traçabilité des informations composant les articles (composition matière principalement) tout au long de leur cycle de vie ;
- Introduire un minimum de perturbateurs internes (points durs, fils métalloplastiques, paillettes, élasthane > 5%) car ces perturbateurs sont impossibles à enlever ;
- Privilégier les articles monomatière (ou les bi-matières recyclables simultanément) ;
- Éviter autant que possible les apprêts purement esthétiques et privilégier l'aspect fonctionnel ;
- Éviter autant que possible les perturbateurs externes purement esthétiques et privilégier l'aspect fonctionnel.

Pour les chaussures, les principaux perturbateurs à l'ensemble des étapes de préparation au recyclage sont :

- Les composants électriques et électroniques
- Les pièces métalliques et plastiques sur la tige et la semelle

Également, une bonne partie des perturbateurs identifiés pour les tiges de chaussures sont communs à ceux recensés pour les textiles, parmi lesquels la présence de points durs et de mélanges complexes.

Les chaussures les plus facilement recyclables aujourd'hui sont celles qui combinent :

- Semelle monomatière ET monobloc ;
- Tige monomatière, sans apprêts et sans points durs.

Pour faciliter le recyclage des chaussures, **il est recommandé de :**

- **Assurer la traçabilité et la communication des informations de composition des articles** (composition matière principalement) **tout au long de leur cycle de vie ;**
- **Introduire un minimum de composants bloquants** (composants électriques ou électroniques, points durs) ;
- **Privilégier les produits monomatière** (ou a minima une tige monomatière et une semelle monomatière + monobloc) ;
- **Privilégier l'assemblage tige-semelle par colle ou fil thermofusible** (sous réserve que cela n'affecte pas la durabilité du produit).

Il est aussi important de rappeler que la conception des produits TLC en vue de leur recyclabilité peut parfois compromettre leur durabilité. **La priorité devra être donnée à la durabilité et à la possible réparabilité des produits en vue de prolonger leur durée d'usage.**

Cette revue actualisée constitue une base pouvant être exploitée par les parties prenantes investies sur le sujet de l'écoconception des TLC en vue d'améliorer leur recyclabilité.

Il conviendra d'actualiser cette revue au fur et à mesure des avancées R&D et d'industrialisation sur les procédés de tri et de recyclage.

6 ANNEXES

6.1 Acronymes

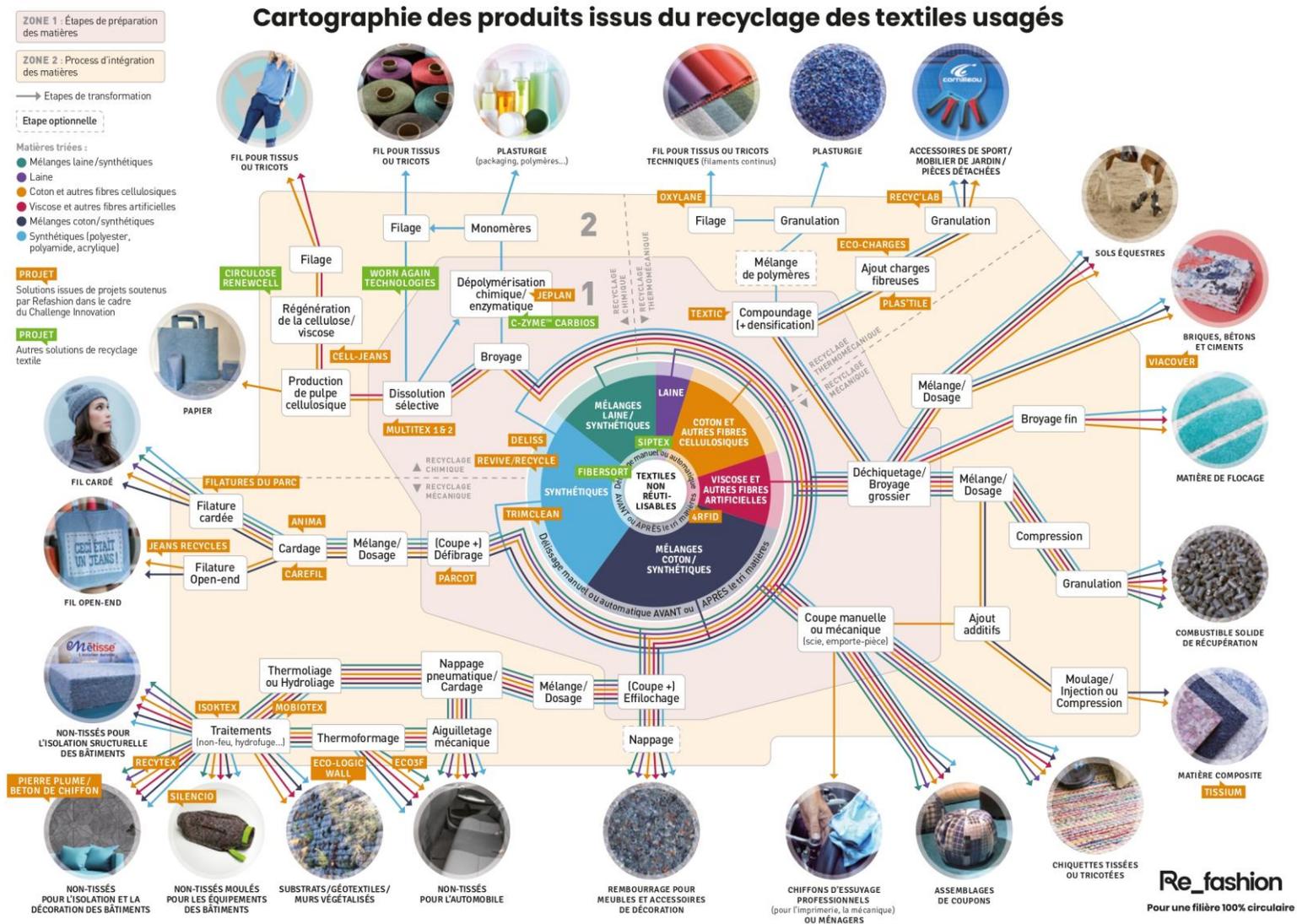
EVA	Éthylène-acétate de vinyle
MPR	Matière première issue du recyclage
NIR	Near Infra-Red (Proche Infrarouge)
PA	Polyamide
PP	Polypropylène
PVC	Polychlorure de Vinyle
RFID	Radio Frequency Identification (radio-identification)
TLC	Textile d'habillement, Linge de maison et Chaussures
TL	Textiles d'habillement et Linge de maison

6.2 Acteurs interrogés

NOM DE L'ACTEUR	PROFIL D'ACTEUR
GEBETEX	Opérateur de tri
Le Relais	Opérateur de tri
Synergies TLC	Opérateur de tri
SOEX	Opérateur de tri
VERTEX	Opérateur de tri
CETIA	Acteur du déliassage des TL et du démantèlement des chaussures
The 8 Impact	Acteur du démantèlement et du recyclage des chaussures
BUITEX	Acteur de l'effilochage et de la production de non-tissés
Minot Recyclage Textile / Le Relais Métisse	Acteur de l'effilochage et de la production de non-tissés
Frankenhuis	Acteur de l'effilochage et de la production de non-tissés
Les Filatures du Parc	Acteur de la filature
UTT Yams	Acteur de la filature
BIC	Acteur de l'essuyage
MAPEA	Acteur de la plasturgie
Cycl-add	Acteur de la plasturgie
Renewcell	Acteur du recyclage chimique (fibres cellulosiques)
Södra	Acteur du recyclage chimique (fibres cellulosiques)
Eastman	Acteur du recyclage chimique (fibres synthétiques)
Worn Again Technologies	Acteur du recyclage chimique (fibres synthétiques & cellulosiques)

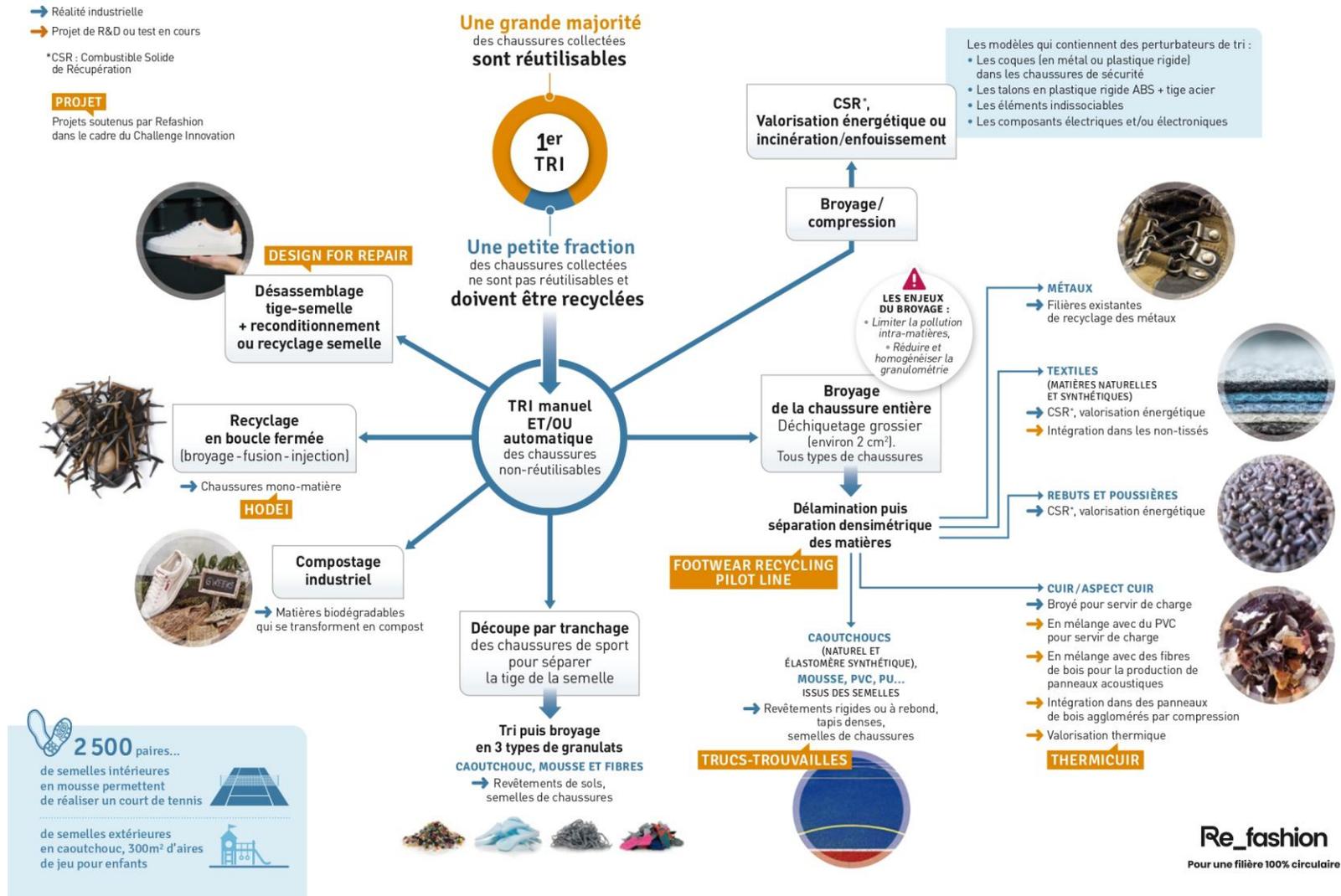
6.3 Cartographies des solutions de recyclage

6.3.1 Textiles d'habillement et linge de maison



6.3.2 Chaussures

Cartographie du devenir des chaussures usagées



6.4 Éléments relatifs à la composition du gisement de TLC non-réutilisables

Refashion a réalisé en 2022-2023 un programme de caractérisation des flux entrants et sortants en centres de tri TLC, dont sont exposés ici quelques enseignements de synthèse relatifs à la composition du gisement de textiles non réutilisables.

Composition matière

Au global, le coton est la matière dominante dans le gisement de déchets textiles non-réutilisables analysés (43% en poids, monomatière + en mélanges). On retrouve ensuite le polyester (19%), l'acrylique (12%), les fibres artificielles cellulosiques, la laine, puis le polyamide. Les autres fibres représentent chacune moins de 1% du gisement (l'élasthanne représente 0,7% du poids, les matières autres 0,7%, la soie 0,4% et l'acétate 0,2%).

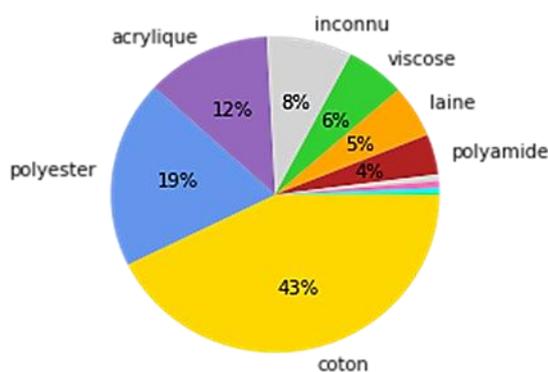


Figure 5 : Composition matière globale des flux textiles non réutilisables analysés (en poids)

Les textiles monomatières représentent de l'ordre de 55% du gisement et les mélanges 45%. Le 100% coton est la composition la plus courante avec un peu moins de 30% du gisement. Le 100% polyester arrive en deuxième position (11%). Parmi les mélanges les plus courants, on retrouve :

- Le coton/polyester (qui représente presque 9% du gisement) ;
- Le coton/élasthanne (quasiment 5% du gisement) ;
- Le mélange à trois matières le plus fréquent est le coton/polyester/élasthanne.

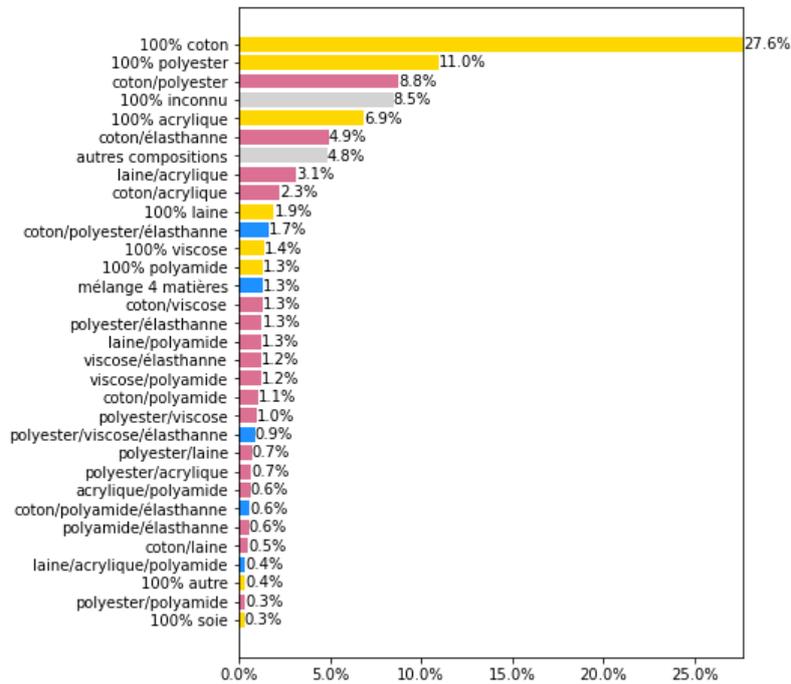


Figure 6 : Principales compositions des textiles usagés non réutilisables analysés (représentant 95% du gisement, en poids)

Code couleur : **jaune** = matière pure ; **rose** = mélange bi-matière ; **bleu** = mélange à trois matières ou plus.

Multicouches et perturbateurs externes

Pour mieux comprendre le potentiel de recyclage des textiles non-réutilisables, certaines caractéristiques ont été relevées : article multicouche ou non, présence de perturbateurs externes, couleur.

- Les multicouches représentent 8,5% du gisement analysé (en poids). Parmi les articles avec une seule couche, la grande majorité présente au moins un perturbateur externe au recyclage
- Les articles textiles les plus simples à recycler (monocouche et sans perturbateur) représentent moins d'un quart du gisement (22%).

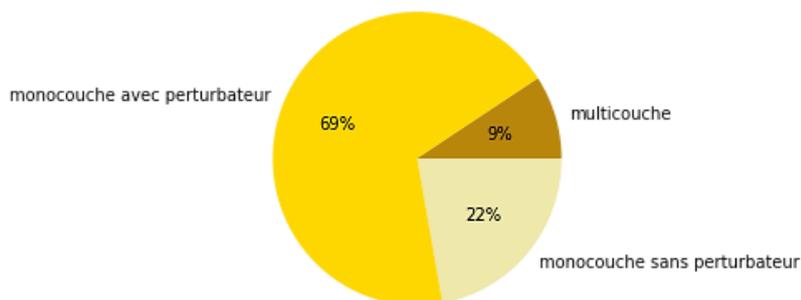


Figure 7 : Répartition des articles multicouches ou avec au moins un perturbateur au recyclage dans les flux analysés (en poids)

Des [fiches produits](#) ont été réalisées dans le cadre de ce programme, afin de fournir des informations complémentaires sur les différentes catégories de produits textiles, notamment le taux de multicouches et de perturbateurs externes dans chaque catégorie.

6.5 Liste des tableaux

Tableau 1 : Répartition des perturbateurs externes au recyclage, par matière et par destination des flux triés (en poids)	6
Tableau 2 : Liste des perturbateurs externes (non exhaustive) présents dans les textiles d'habillement, linge de maison et dans les chaussures	6
Tableau 3 : Liste des perturbateurs internes (non exhaustive) présents dans les textiles d'habillement, linge de maison et dans les chaussures	8
Tableau 4 : Distinction entre un article multicouche et monocouche	9
Tableau 5 : Perturbateurs liés à l'utilisation ou à la collecte	9
Tableau 6 : Degrés de perturbation des différents perturbateurs au recyclage des textiles	11
Tableau 7 : Perturbateurs au surtri optique des textiles	14
Tableau 8 : Perturbateurs et facilitateurs à la coupe pour fabrication de chiffons d'essuyage	15
Tableau 9 : Perturbateurs et facilitateurs à l'effilochage et au défibrage des textiles	16
Tableau 10 : Perturbateurs et facilitateurs au recyclage thermomécanique des textiles	18
Tableau 11 : Perturbateurs et facilitateurs au recyclage chimique ou enzymatique des textiles	19
Tableau 12 : Degrés de perturbation des différents perturbateurs à la préparation au recyclage des chaussures	25
Tableau 13 : Perturbateurs au broyage de la chaussure entière	28
Tableau 14 : Perturbateurs à la séparation de la tige et de la semelle	29

6.6 Liste des illustrations

Figure 1 : Schématisation de la chaîne de valeur du recyclage des TLC – source Refashion	4
Figure 2 : Descriptif de la chaussure, CTC.....	21
Figure 3 : Schéma de la ligne pilote du projet Air SOEX.....	23
Figure 4 : Procédé d'arrachage du CETIA.....	24
Figure 5 : Composition matière globale des flux textiles non réutilisables analysés (en poids).....	36
Figure 6 : Principales compositions des textiles usagés non réutilisables analysés (représentant 95% du gisement, en poids).....	37
Figure 7 : Répartition des articles multicouches ou avec au moins un perturbateur au recyclage dans les flux analysés (en poids).....	37

6.7 Sources bibliographiques

ADEME, Terra, Textel et YAMANA RSE. « Potentiels de recyclage des textiles non réutilisables ». La librairie ADEME, septembre 2023. <https://librairie.ademe.fr/dechets-economie-circulaire/6491-potentiels-de-recyclage-des-textiles-non-reutilisables.html>.

AIR coop. « AIR coop | Footwear Recycling : from the idea to the demonstrator », 25 juillet 2017. <https://www.air.coop/footwear-recycling-from-the-idea-to-the-demonstrator/>.

Commission européenne. « EU Strategy for Sustainable and Circular Textiles », 30 mars 2022. https://environment.ec.europa.eu/document/download/74126c90-5cbf-46d0-ab6b-60878644b395_en?filename=COM_2022_141_1_EN_ACT_part1_v8.pdf&prefLang=fr.

Commission européenne. « La hiérarchie des déchets, issue de la directive 2008/98/CE ». https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=LEGISSUM%3Awaste_hierarchy

« Deal Reached on Stricter EU Rules for Waste Shipments | News | European Parliament », 17 novembre 2023. <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20231114IPR10510/deal-reached-on-stricter-eu-rules-for-waste-shipments>.

European Commission. « New Proposals to Make Sustainable Products the Norm ». https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_2013.

FashionNetwork. « Reshoes: le nouveau programme français innovant de recyclage de semelles ». FashionNetwork.com. <https://fr.fashionnetwork.com/news/Reshoes-le-nouveau-programme-francais-innovant-de-recyclage-de-semelles,1434487.html>.

Fast Feet Grinded. « The First Shoe Recycling Installation of Fast Feet Grinded ». Fast Feet Grinded. <https://www.fastfeetgrinded.eu/>.

« IDELAM intervient dans la vidéo du CNRS le Journal sur le recyclage à l'aide des fluides supercritiques ». <https://www.idelam.fr/index.php/fr-fr/actualites>.

Groupe ERAM et CETIA. « Projet ZAPATEKOII - Rapport de clôture », mars 2023. https://recycle.refashion.fr/wp-content/uploads/2023/03/Projet_ZAPATEKOII_Rapport_cloture_mars2023_FR.pdf.

Infinited Fiber. « Our Technology ». <https://infinitedfiber.com/our-technology/>, <https://infinitedfiber.com/our-technology/>.

Jacques & Déméter. « Cambriion et garniture : importance des pièces invisibles ». <https://blog.jacquessedemeter.fr/cambriion-bout-dur-interieur-chaussures/>.

« Loop Industries collabore avec ON et dévoile le lancement de la Cloudeasy, une chaussure fabriquée avec la technologie Infinite LoopMC de recyclage fibre à fibre – Loop Industries ». <https://www.loopindustries.com/cms/loop-industries-collabore-avec-on-et-devoile-le-lancement-de-la-cloudeasy-cyclon-une-chaussure-fabriquee-avec-la-technologie-infinite-loopmc-de-recyclage-fibre-a-fibre/?lang=fr>.

« myCTC.fr - Forums - Comment fabriquer une chaussure ? » <https://www.myctc.fr/forums-de-discussion/questions-reponses-faq/chaussure/comment-fabriquer-une-chaussure/sujet-5016-1.html>.

« Rafael Climent to inaugurate a recycling plant for the footwear, textile, and toy sectors at INESCOP - INESCOP. Centre for Technology and Innovation ». <https://www.inescop.es/en/news/news/614-rafael-climent-to-inaugurate-a-recycling-plant-for-the-footwear-textile-and-toy-sectors-at-inescop>

Publications Office of the EU. « Study on the technical, regulatory, economic and environmental effectiveness of textile fibres recycling », 2021. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/739a1cca-6145-11ec-9c6c-01aa75ed71a1>.

Recyc'Elit. « Une Solution 100% circulaire et Bas Carbone pour le plastique PET ». <https://recyc-elit.com/>.

Refashion. « Cartographies du recyclage – Recycle de Refashion », avril 2023. <https://recycle.refashion.fr/cartographies-du-recyclage/>.

Refashion. « Panorama des projets soutenus par Refashion ». Refashion.fr/pro. <https://refashion.fr/pro/fr/le-magazine-innovation-0>.

Refashion. « Rapport d'activité 2022 ». Consulté le 6 mars 2024. <https://refashion.fr/pro/sites/default/files/rapport-etude/REFASHION-RA22-WEB.pdf>.

Refashion. « Étude des perturbateurs et facilitateurs au recyclage des textiles et linge de maison.pdf », juillet 2014. <https://refashion.fr/eco-design/sites/default/files/fichiers/%C3%89tude%20des%20perturbateurs%20et%20facilitateurs%20au%20recyclage%20des%20textiles%20et%20linges%20de%20maison.pdf>.

Refashion. « Étude de caractérisation des flux entrants et sortants de centres de tri », avril 2023. https://refashion.fr/pro/sites/default/files/rapport-etude/Synth%C3%A8se_Etude_Caract%C3%A9rization_Refashion_2023_FR.pdf.

Refashion. « Veille européenne sur les technologies de tri optique, de reconnaissance et de déliassage des matières textiles », avril 2023. https://refashion.fr/pro/sites/default/files/rapport-etude/240323_Synth%C3%A8se_Veille%20technologie_FR.pdf.

Renewcell. « Recycle Textiles with Us ». Renewcell. <https://www.renewcell.com/en/sourcing>.

Re-Verso™. « Circular by Origin- Takeback ». Re-Verso™ (blog). <https://www.re-verso.com/en/process/>.

Södra. « The Textile Waste, Specifications ». <https://www.sodra.com/en/global/pulp/oncemore/return/>.

SOEX. « Bilan de l'expérimentation Air-SOEX ». <https://refashion.fr/eco-design/sites/default/files/fichiers/Bilan%20de%20l%27exp%C3%A9rimentation%20Air-Soex.pdf>.

SOEX. « Recycling ». SOEX. <https://www.soex.de/en/services/recycling/>.

Sysav. « Textile – Guide de tri pour les entreprises ». <https://www.sysav.se/foretag/sorteringsguiden-for-foretag/fraktion/textil/textil>.