

Re_fashion

Veille européenne sur les technologies de tri optique, de reconnaissance et de délissage des matières textiles

Synthèse

Avril 2023



Experts en solutions circulaires

SOMMAIRE

Introduction	4
Tri matière	5
État de l'art des technologies applicables à la reconnaissance et au tri des matières textiles	5
Contexte.....	5
Le tri automatisé	6
La reconnaissance matière	8
Le proche infrarouge (NIR)	9
Retours d'expérience sur les textiles	10
Autres types de spectroscopies.....	11
Reconnaissance par identifiant numérique.....	12
Technologies complémentaires	14
Conclusion sur l'identification et le tri matière	15
Fournisseurs de machines de tri matière automatisé	16
Pellenc ST.....	16
Picvisa.....	16
TOMRA	17
Valvan.....	17
Autres fournisseurs potentiels	18
Fournisseurs de spectromètres portatifs.....	18
Matoha.....	18
Senorics	19
Spectral Engines.....	19
TrinamiX.....	20
Autres acteurs.....	20
Tables de tri.....	20
Comparatif des équipements de tri automatisé ou d'identification matière	21
Machine de tri automatisé.....	21
Tables de tri.....	22
Spectromètres portatifs	22
Lignes de tri automatisées existantes ou en projet.....	23
Cartographie des lignes ou projets de lignes automatisées	23
Lignes de tri automatisées existantes	23
Coleo Recycling	23
Salvation Army.....	23

SYSAV	24
SOEX	24
CETIA.....	24
Lignes de tri automatisées en projet.....	25
LSJH	25
ReHubs	25
Synergies TLC	25
Autres projets sur le tri et la reconnaissance matière	26
CISUTAC.....	26
CRTX.....	26
MISTERY.....	26
SCIRT	27
T-REX.....	27
WhiteCycle.....	27
4RFID	28
circular.fashion.....	28
Délissage	29
État de l'art des procédés de délissage	29
Contexte.....	29
Le délissage manuel.....	29
Le délissage sur chiquettes	30
Effilochage avec élimination des points durs.....	31
Découpe automatisée sur mesure	32
Confection avec fils spéciaux	33
Conclusion sur le délissage	34
Fournisseurs de technologies de délissage	35
ANDRITZ Laroche	35
Dell'Orco & Villani	35
Valvan (TRIMCLEAN)	36
Resortecs.....	36
Wear2Go	37
Revive/Recycle (Recuprendra).....	37
CETIA.....	37
SCIRT	38
Synergies TLC	38
Conclusion.....	39
Tri matière.....	39
Délissage.....	39

Introduction

La présente étude a été réalisée par Terra de juin à décembre 2022 avec pour objectifs principaux d'actualiser l'étude réalisée en 2019.

Cette étude visait à :

- ♦ Dresser l'état de l'art des technologies applicables à la **reconnaissance et au tri des matières textiles** ;
- ♦ Fournir un panorama des acteurs et projets travaillant sur le sujet en Europe et consolider leurs retours d'expériences.

Afin d'englober toutes les étapes de la **caractérisation à la préparation matière au recyclage**, cette nouvelle version a été enrichie par une partie sur les **technologies de déliassage**.

Cette synthèse est donc construite en deux grandes parties :

1. Une première partie sur le tri matière.
2. Une seconde sur le déliassage.

Chaque partie présente d'abord les concepts et l'état de l'art, puis un panorama des acteurs et projets identifiés en Europe.

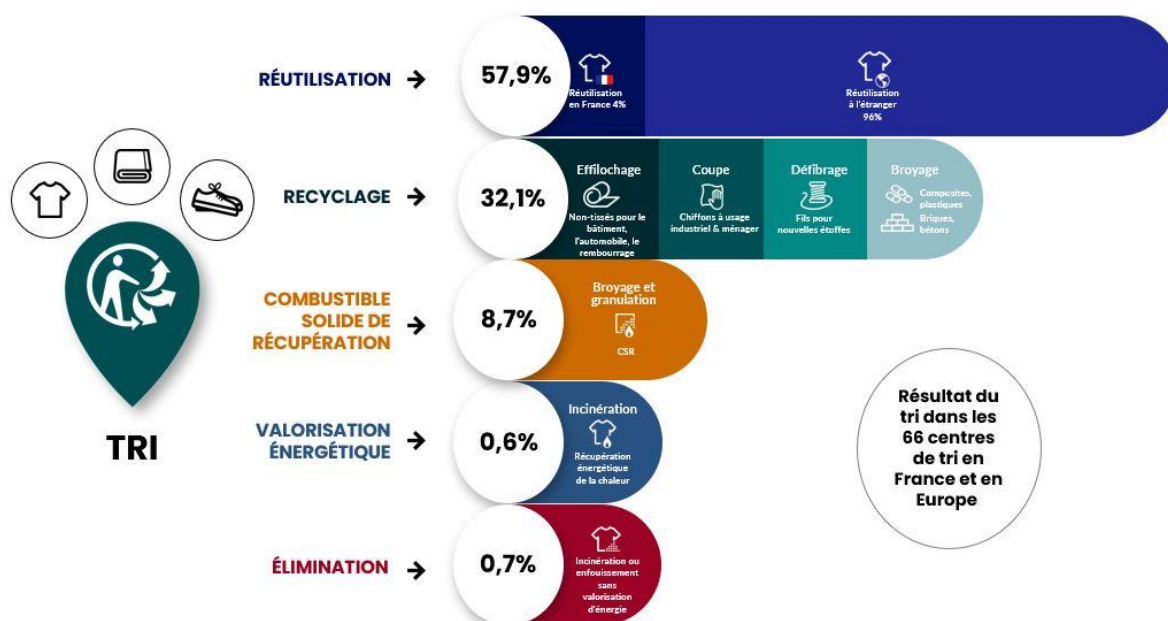
À noter que d'autres acteurs et projets existent dans le monde, cette étude se focalise cependant sur le périmètre européen.

Tri matière

État de l'art des technologies applicables à la reconnaissance et au tri des matières textiles

Contexte Les textiles collectés sont triés manuellement afin de déterminer leur potentiel de **ré-utilisation**. La part réutilisée représente 58% des TLC triés. La fraction non réutilisable fait l'objet :

- ♦ Soit d'une valorisation matière (chiffon, non tissé, etc.).
- ♦ Soit d'une valorisation énergétique. Moins de 1 % des TLC sont éliminés



La deuxième vie des textiles et chaussures après le tri (Source : Rapport d'activité 2021 de Refashion)

Nécessité de développer le recyclage La **quantité de textiles collectés augmente** et la **part réutilisable diminue** dans le même temps.

Cette tendance se poursuit au niveau européen pour diverses raisons :

- ♦ Baisse de la qualité des vêtements mis en marché (avec une part croissante de l'entrée de gamme dont la valeur commerciale et émotionnelle est questionnable).
- ♦ Développement de la revente entre particuliers en amont, ce qui augmente le niveau d'usure des pièces collectées en point d'apport volontaire.
- ♦ Obligation de collecte séparée des textiles, même non réutilisables, en Europe à l'horizon 2025.

L'exportation d'une partie des textiles pour recyclage ou réutilisation devrait également être plus restreinte à l'avenir.

Il est donc indispensable de créer de **nouveaux débouchés** pour les textiles non réutilisables et de **développer leur recyclage**.

Tri matière et couleur Le **recyclage des textiles est encore limité**. L'un des freins à son développement est l'absence de caractérisation fiable des matières disponibles dans la fraction pour recyclage.

La majorité des applications pouvant intégrer de la matière textile recyclée demandent en effet de **séparer en amont les différentes matières textiles**. Le tri matière des textiles est donc une **brique indispensable** de la chaîne de recyclage.

Le **tri par couleur** est aussi souhaité pour certains types de recyclage. Par exemple pour éviter d'avoir à teindre la matière recyclée.

Déliassage Un autre frein majeur est le besoin pour de nombreux procédés de recyclage de disposer d'une matière textile **sans points durs ou autres perturbateurs au recyclage**.

En parallèle du tri matière et couleur, le **déliassage** est donc aussi une étape clé qui est abordée dans la deuxième partie de ce document.

Matières textiles Il n'existe pas une matière textile, mais une **multitude de matières textiles** (cf. tableau ci-dessous). Le préalable au tri est donc **d'identifier la composition** et la structure chimique de ces matières.

Types de fibres	Exemples
Polymères synthétiques	Polyester, polyamide, acrylique, élasthane
Fibres cellulosiques	Coton, viscose, lin
Fibres à base de protéines	Laine, cachemire, soie

Technologie recherchée Afin de séparer les matières textiles, il est nécessaire de disposer d'un **système de reconnaissance** des matières qui soit :

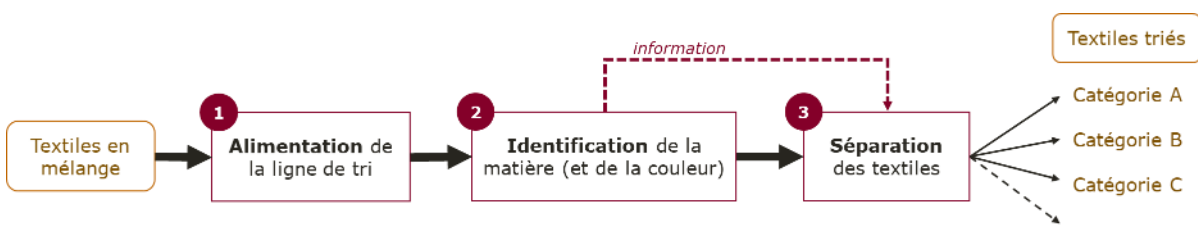
- ♦ Fiable. ♦ Rapide. ♦ Non destructif. ♦ Économique.

Le tri exclusivement manuel des matières (au toucher, par lecture d'étiquettes) ne permet pas de répondre à ces critères. Le présent rapport porte donc sur les technologies qui pourraient être plus adaptées.

Ce tri matière (ou surtri) est envisagé uniquement pour la fraction de textiles qui a été jugée non réutilisable lors d'un premier tri.

Le tri automatisé

Pour pouvoir développer le tri pour recyclage à grande échelle, une certaine **automatisation** du procédé est nécessaire.



Les grandes étapes du tri On peut diviser l'étape du tri matière en trois grandes étapes :

1. L'**alimentation** de la ligne de tri en textile.
2. L'**identification** de la matière et de la couleur (par spectrométrie NIR, RFID, etc.)
3. La **séparation** physique des textiles sur la base de la classification faite à l'étape d'identification.

Ces étapes peuvent être plus ou moins automatisées.

L'étape d'identification est présentée plus en détail plus bas.

Les types de machines de tri On distingue aujourd’hui deux grandes typologies de machines de tri pour les textiles sur le marché :

- ♦ le tri multi-catégorie,
- ♦ le tri binaire ou ternaire.

Machines de tri multi-catégorie Ces machines se distinguent par le fait qu’un seul dispositif d’identification permet le tri en un grand nombre de catégories (5 à 50 en général) grâce à un long système de convoyeurs et une éjection pneumatique latérale.

L’inconvénient principal est la faible cadence de tri (autour d’une pièce par seconde).

Ce type de tri peut aussi s’envisager avec d’autres systèmes de séparation.

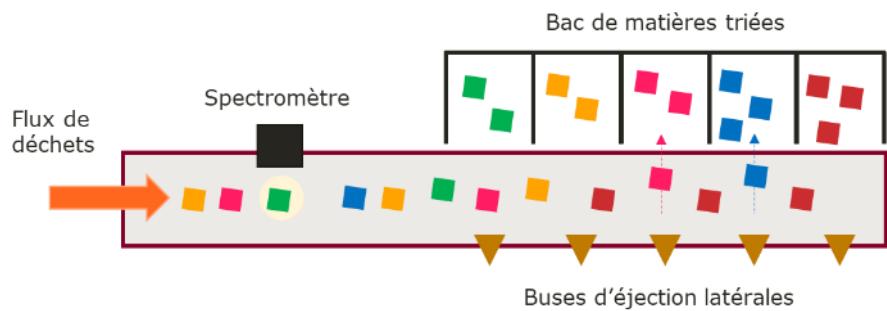


Schéma d'une machine de tri "multi-catégorie"

Machines de tri binaire ou ternaire Ici, la machine va permettre de faire un tri en seulement 2 ou 3 catégories. En revanche la cadence de tri sera plus élevée avec des convoyeurs rapides et la possibilité d’avoir plusieurs articles côte-à-côte sur le tapis.

Pour pouvoir trier en un plus grand nombre de catégories, il faut alors combiner plusieurs machines de tri.

C’est ce type d’équipement que l’on retrouve aujourd’hui dans les centres de tri des emballages ménagers par exemples (10 à 20 machines par centre de tri).

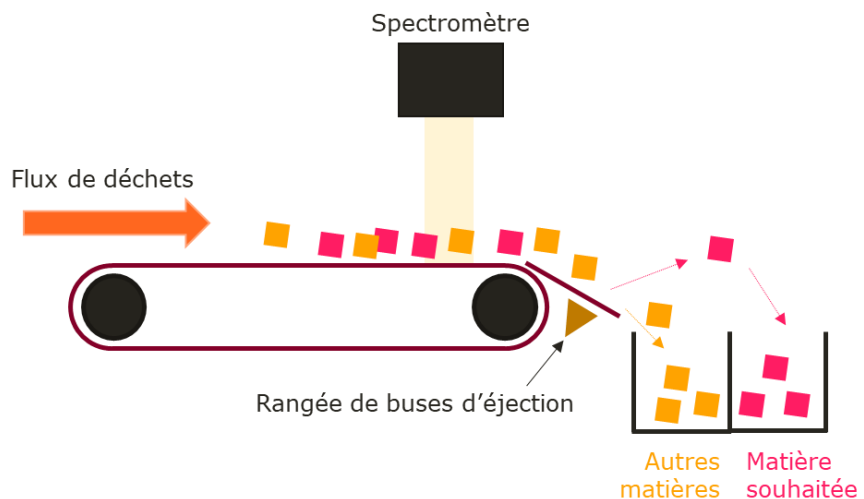


Schéma d'une machine de tri binaire

Pièces entières ou chiquettes Quel que soit le type de machine, le tri matière des textiles peut se faire sur des pièces entières ou des chiquettes (morceaux de textiles).

La reconnaissance matière

La plupart des équipements permettant la reconnaissance des matières sont basés sur le **principe de la spectroscopie**.

Spectroscopie, mode d'emploi

Un **spectromètre** est un équipement permettant l'analyse de la composition d'un échantillon.



Il fonctionne de la manière suivante :

1. Envoi d'une onde électromagnétique sur l'échantillon à analyser.
2. Interaction entre l'onde et la structure chimique de l'échantillon (molécule, atomes, liaisons, etc.).
3. Mesure de l'onde après interaction avec l'échantillon.
4. Production d'un spectre.

Le spectre représente la signature chimique de l'échantillon.

Ainsi, la comparaison du spectre d'une pièce de composition inconnue avec une base de spectres de références d'échantillons préenregistrés permet de déterminer la composition de la pièce analysée.

Catégories de tri

Lors de la phase de développement d'un nouveau système de reconnaissance de matières, il est donc nécessaire de disposer au préalable d'une **bibliothèque d'échantillons** de matières de référence (textiles dans notre cas).

Ces échantillons :

- ♦ Correspondent aux catégories que l'on souhaite trier.
- ♦ Permettent de constituer la base de données de spectres de référence.

Attention, un spectre dépend de la matière mais aussi du capteur utilisé. Les spectres d'une même matière scannée avec deux modèles différents de spectromètres ne seront donc pas identiques. D'où l'intérêt des fournisseurs de spectromètres de disposer d'échantillons physiques des matières textiles.

Une **catégorie de tri** peut correspondre à :

- ♦ Une matière pure (ex. : coton 100 %).
- ♦ Un mélange de matières (ex. : coton/polyester 50/50).
- ♦ Une famille de matières proches (ex. : fibres cellulosiques).

ZOOM sur la Bibliothèque des Matières Textiles Refashion

Pour accélérer la mise au point de technologies de reconnaissance des matières textiles¹, Refashion a décidé en 2021 de créer une bibliothèque de références de matières textiles :

- Elle contient 409 échantillons répartis en 25 catégories de compositions matières.
- Chaque échantillon a été certifié en laboratoire spécialisé.
- 10 exemplaires identiques ont été constitués et mis à disposition des acteurs de la filière.

Trouver des échantillons textiles de composition matière connue et fiable est l'un des freins rencontrés par les développeurs de technologie d'identification matière.

¹ Cf. page 45 du Rapport d'activité 2021 de Refashion (disponible [ici](#))

Les tests en laboratoire sur les échantillons achetés dans le commerce ont d'ailleurs montré que la composition indiquée sur l'étiquette était erronée dans 20 à 50% des cas*.

*selon le type d'article (tissus, vêtement) et au sens du Règlement (UE) n°1007/2011 (matière différente ou écart >3%)

En résumé En résumé, la **performance** d'un système de reconnaissance spectrométrique dépend de :

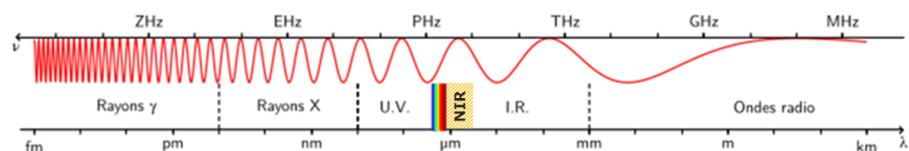
- ♦ la **qualité du matériel de mesure (hardware)** : système optique, source lumineuse, résolution, reproductibilité des spectres, etc.
- ♦ la **base de données de référence (bibliothèque)**: nombre et représentativité des matières disponibles dans la base.
- ♦ l'**algorithme de classification (software)** : modèle utilisé, paramétrage, etc.

Il suffit que l'un de ces points soit déficient pour que les performances de reconnaissance matière ne soient pas au rendez-vous.

Le proche infrarouge (NIR)

La **spectroscopie utilisant les ondes du proche infrarouge** est la technologie de reconnaissance des matières textiles la plus répandue.

Elle est couramment nommée **NIR** (de l'anglais near infrared).



Domaines du spectre électromagnétique (Source : Wikipédia)

Une technologie déjà utilisée en Europe... Tous les principaux projets et acteurs identifiés en Europe qui travaillent sur le tri matière des textiles (voir section suivante) utilisent cette technologie pour la reconnaissance matière.

... adaptée aux matières textiles Elle est en effet adaptée à la composition chimique des matières textiles puisque les différentes matières sont **bien différenciables** dans le proche infrarouge.

... au tri de déchets Le proche infrarouge est utilisé depuis plusieurs dizaines d'années pour le tri des emballages, des plastiques ou encore des papiers-cartons.

Or les matières textiles sont chimiquement **proches de celles des emballages** par exemple. Pour illustration, on retrouve du polyester dans les bouteilles en PET et les papiers-cartons sont composés de cellulose comme le coton.

Les technologies de tri automatisé basées sur le proche infrarouge sont donc parfaitement **compatibles avec les conditions opérationnelles de tri** de déchets.

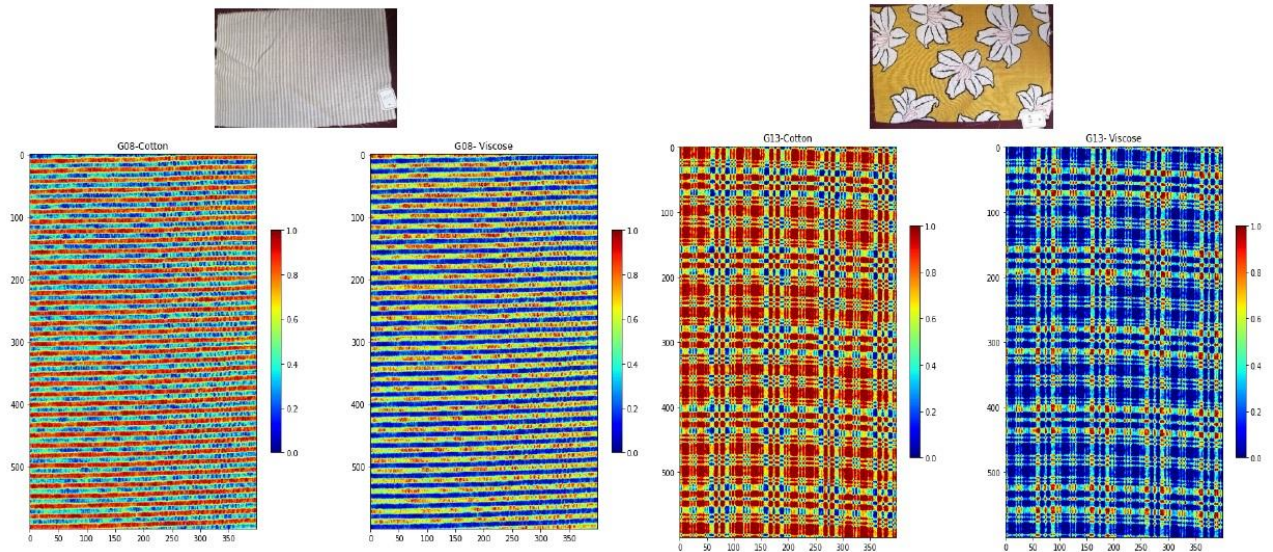
... et relativement abordables Comparé à d'autres technologies, les équipements de spectroscopie proche infrarouge restent relativement abordables.

Type d'équipement NIR	Prix (ordres de grandeur)
Spectromètre	2-20 k€
Machine de tri optique seule	150-300 k€

L'imagerie hyperspectrale Si un spectromètre classique mesure un spectre en un seul point, il est aussi possible d'utiliser une version hyperspectrale.

Une caméra hyperspectrale va mesurer le spectre de la matière en plusieurs points sur l'ensemble d'un article afin de restituer une image en 2D de la composition matière.

L'avantage par rapport à une mesure ponctuelle est de pouvoir détecter les différents types de fibres dans les textiles qui n'ont pas une composition uniforme sur une face, ainsi que les éventuelles superpositions d'articles, tant qu'une partie de ces articles apparaît dans l'image. Ces équipements sont cependant plus coûteux.



Exemple d'image hyperspectrale (Source : Plateforme d'Imagerie Multi Spectrale (PIMS) – CEA DNAQ)

Retours d'expérience sur les textiles

Depuis la première édition de cette étude en 2019, le nombre d'acteurs et projets travaillant sur la reconnaissance des matières textiles avec des technologies en proche infrarouge a fortement augmenté.

Quelques lignes de tri automatisé des textiles sont déjà en fonctionnement en Europe et de nombreux acteurs testent ou utilisent également des spectromètres manuels.

Si les limites de la technologie NIR qui avaient été identifiées restent globalement les mêmes, nous disposons aujourd'hui de plus de retours d'expériences. Ces limites sont décrites ci-dessous.

Matières pures et mélanges

La distinction des **matières pures** (100% coton, 100% polyester, etc.) donne de **bons résultats**.

Cependant, l'**identification des mélanges** est par nature plus **complexe** et il existe des milliers de mélanges différents dans les textiles.

La plupart des **mélanges à deux matières** peuvent être identifiés correctement en proche infrarouge, sous réserve qu'ils aient été inclus dans les bases de données textiles.

La **détermination exacte du pourcentage** de chaque matière dans un mélange se fera avec une **marge d'erreur plus ou moins importante** selon la nature du mélange, du spectromètre ou de la structure du textile (voir autres limites ci-dessous).

Il est peu probable que les mélanges à plus de deux matières puissent être correctement détectés.

Même si des mélanges ne sont pas identifiés, il est important que ceux-ci ne soient pas reconnus comme une matière pure pour ne pas polluer un flux trié. C'est aujourd'hui une limite de certains appareils.

Détection surfacique

La principale limite technologique de la **spectroscopie proche infrarouge** est que celle-ci **n'analyse que la surface de la matière**. Les pièces présentant une structure 3D non homogène risquent donc d'être mal identifiées.

C'est le cas typique des vêtements « double couche » ou de certains mélanges où l'une des matières est plus concentrée en surface que l'autre.

Certains revêtements ou structures de fil ou de tissage pourraient aussi avoir une influence sur l'identification de la matière.

Matières en faible proportion Le fait qu'une matière soit présente en **très faible proportion** dans un mélange **complexifie son identification**. Ce cas est très fréquent avec l'**élasthanne** dans les textiles qui dépasse rarement les 5% d'un mélange.

Certains acteurs indiquent pouvoir détecter l'élasthanne sous conditions. La bonne détection dépend du taux d'élasthanne mais surtout de la structure du textile (détection de surface). Si le fil d'élasthanne est recouvert par une autre matière, il sera très difficile à détecter. La matière à laquelle il est associé et l'épaisseur de celle-ci peuvent aussi jouer un rôle.

Matières proches Certaines matières sont très **proches chimiquement**. Un exemple classique est celui du **coton et de la viscose**, toutes les deux à base de cellulose.

Bien que cela soit plus complexe, le coton et la viscose sont bien différenciables en NIR. Les mélanges viscose/coton posent toutefois plus de difficultés. Encore peu d'acteurs ont travaillé sur d'autres matières proches du coton comme le lin.

Dans le cas du polyamide, il serait aussi possible de distinguer le PA6 du PA6-6.

Couleurs sombres et pigments Au niveau des couleurs, certains **pigments sombres** (ex. du noir de carbone) peuvent **gêner ou rendre impossible la détection** de la matière en absorbant tout ou partie des ondes dans le proche infrarouge. Cela s'observe sur des textiles noirs mais aussi du gris chiné ou d'autres couleurs.

Il apparaît cependant que par rapport aux plastiques, ce phénomène est moins fréquent dans le textile. Certaines matières noires sont en effet bien identifiables en NIR. Cela s'explique par l'utilisation de différents pigments.

Traitements divers Certains traitements que les matières textiles ont pu subir au cours de leur fabrication pourraient potentiellement avoir un impact sur leur reconnaissance en proche infrarouge.

On peut en effet faire l'analogie entre certains traitements de fonctionnalisation (ex. : enduction, imperméabilisant) et les problématiques de mélanges en faible proportion ou de détection surfacique.

Qualité du tri Enfin, la question du **niveau de qualité de la fraction** triée et du **taux d'impureté toléré** est cruciale puisque le tri est un **compromis entre la quantité et la qualité** de la fraction triée.

Le niveau d'impuretés tolérées dans une fraction triée **dépend de son débouché** et de l'application visée. Le travail sur la qualité et le niveau de tri doit donc se faire en partenariat avec les recycleurs/préparateurs/intégrateurs des matières et en tenant compte de leurs cahiers des charges.

Autres types de spectroscopies

En dehors du proche infrarouge, il existe **d'autres méthodes** de reconnaissance des matières basées sur la **spectroscopie**.

En général, ces méthodes sont toutefois **plus onéreuses, plus complexes** à utiliser en milieu industriel et bénéficient encore de **peu de R&D sur les textiles**. En voici quelques exemples.

Le MIR L'**infrarouge moyen** (ou MIR) se situe dans une gamme de l'infrarouge un peu plus éloignée du visible que le NIR. Il est aujourd'hui utilisé pour le tri des plastiques noirs, en particulier dans le domaine des DEEE. En théorie, il devrait aussi être applicable aux textiles mais aucun projet n'a été identifié.

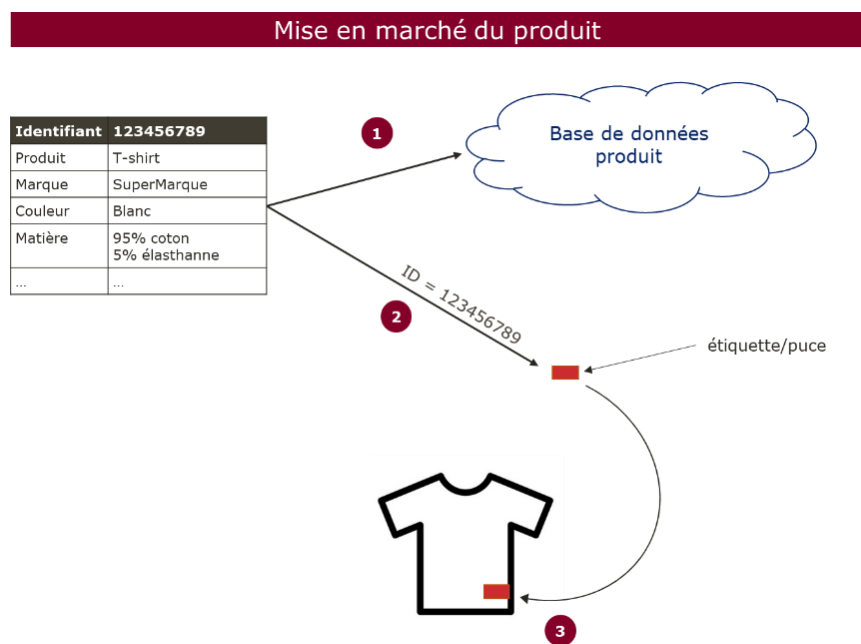
Le Raman **Le Raman** utilise des ondes dans le même domaine que l'infrarouge, mais il s'appuie sur un phénomène physique différent (l'effet Raman) et utilise un laser comme source lumineuse.

En théorie il devrait être applicable aux matières textiles et pourrait être plus précis que le NIR. Cependant cette technologie est encore peu utilisée dans des procédés industriels de tri de déchets. Le projet CRTX.ai mène des travaux sur son application aux textiles.

Reconnaissance par identifiant numérique

Un autre moyen d'identifier la matière est d'attacher cette information au produit lors de sa fabrication ou de sa mise en vente. C'est le principe de l'étiquette par exemple.

L'utilisation des outils de l'information et de la communication permettent d'améliorer le système d'étiquette en utilisant une base de données et un identifiant numérique unique.



Principe Lors de la mise en marché d'un produit, une **fiche produit** qui comporte un ensemble d'informations sur celui-ci est créée et **enregistrée dans une base de données**. Un identifiant est attribué à chaque produit, celui-ci permet de retrouver sa fiche dans la base de données.

L'**identifiant produit** est marqué **sur une étiquette** (sous forme de code-barres, code QR) ou enregistré **dans une puce** (RFID, NFC) qui est intégrée au produit.

Codes-barres et codes QR Un **code-barres** va coder une donnée numérique ou alphanumérique (généralement un identifiant) sous forme de barres et d'espaces.

Un **code QR** est un type de code-barres en 2D.



La lecture des codes-barres ou codes QR se fait avec des lecteurs optiques ou caméras. Ces technologies sont bien maîtrisées et peu onéreuses.

RFID La radio-identification ou **RFID** (Radio Frequency Identification) repose sur des **radio-étiquettes** constituées :

- ♦ d'une puce permettant de **stocker** des informations (ex. : identifiant),
- ♦ d'une antenne permettant la lecture de ces informations **à distance**.

Les étiquettes RFID utilisées dans les vêtements sont surtout des étiquettes passives (un signal externe doit être envoyé pour la lire).

La distance de lecture dépend du standard RFID utilisé, elle peut aller jusqu'à quelques mètres.

Les étiquettes RFID sont de plus en plus utilisées dans le secteur de l'habillement, que cela soit pour des questions de logistique, d'inventaire en magasin ou d'antivol.

Plusieurs formes existent pour les intégrer discrètement aux vêtements : étiquette classique, fil, bouton, etc.

NFC Le **NFC** (Near Field Communication) est un dérivé de la RFID. On le retrouve dans la plupart des smartphones modernes par exemple.

La distance de lecture est assez courte (une dizaine de cm).

Application au tri des textiles

L'utilisation de ces technologies pour le tri matière et couleur des textiles requiert que l'on indique dans la fiche produit, dès sa mise en marché, **les informations utiles à sa fin de vie**.

Par exemple :

- ♦ composition matière,
- ♦ couleur et type de colorant,
- ♦ présence de perturbateurs au recyclage,
- ♦ etc.

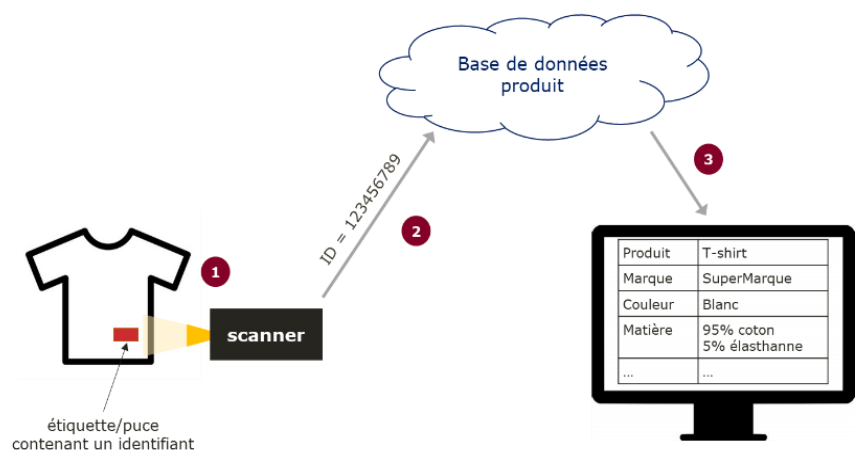
En fin de vie, une lecture de l'étiquette ou de la puce par le trieur permet alors de récupérer l'identifiant produit, d'interroger la base de données et d'obtenir toutes ces informations.

Cette méthode ne reposant pas sur une interaction physique avec la matière, elle **ne présente pas les limites du NIR** (détection surfacique, mélange, pigment, ...).

Au-delà de la matière, un grand nombre d'information peuvent aussi être transmises, comme par exemple des informations utiles au déliassage ou même au tri pour réutilisation.

Dans le cas de la RFID, **l'automatisation** peut être **facilement mise en place** car la lecture se fait à distance. Un lecteur RFID viendrait alors en substitution ou en complément du spectromètre sur une machine de tri automatisée.

Fin de vie du produit



Quelles limites ? Quel que soit le format envisagé, cette méthode repose sur un paradigme différent puisque l'information doit être incluse dans le produit lors de sa mise en marché.

Cela présente **plusieurs limites** :

- ♦ **standardisation** des informations : entre metteurs en marché et trieurs, entre marques, etc.

- ♦ **adoption à grande échelle** par les marques,
- ♦ fiabilité de l'information produit (cas des étiquettes aujourd'hui),
- ♦ gestion des bases de données,
- ♦ risque d'absence d'étiquette ou puce en fin de vie,
- ♦ non applicable aux articles déjà mis en marchés (gisement historique).

Plutôt code QR ou RFID ? Si le principe général est le même, la question du type d'étiquette le mieux adapté se pose.

La puce RFID permet une automatisation facile du procédé tandis qu'il faudra aller chercher l'étiquette pour pouvoir lire un code QR. La puce RFID peut aussi être intégrée de façon discrète dans le vêtement pour maximiser les chances qu'elle soit encore présente et lisible en fin de vie.

Toutefois des questions se posent sur l'éventualité que l'étiquette RFID puisse être un perturbateur au recyclage. Enfin, l'acceptabilité sociétale de l'utilisation généralisée de puces RFID dans les vêtements n'est pas assurée.

Perspectives Compte tenu du gisement historique et du délai entre mise en marché et fin de vie, cette solution n'est envisageable qu'à **moyen-long terme** pour le tri des textiles.

Le déploiement de ce type d'étiquettes associées à une fiche produit numérique pourrait cependant s'accélérer dans les années à venir avec le souhait de la Commission Européenne de mettre en place un **passport numérique produit** (*Digital Product Passport*) pour certains produits comme les textiles.

Autres marqueurs possibles D'autres techniques de marquage sur les produits ou matières existent. Voici quelques exemples :

- ♦ marqueurs ADN,
- ♦ marqueurs fluorescents,
- ♦ marqueurs 3D,
- ♦ microparticules, etc.

La taille de la donnée qu'il est possible de marquer sur un produit de cette façon serait toutefois trop limitée pour un identifiant unique ou une composition matière précise.

Leur utilisation pour le tri matière des textiles ne semblent donc pas envisagée à court ou moyen terme.

Technologies complémentaires

D'autres technologies pourraient venir compléter un tri matière par proche infrarouge (ou autre).

Tri des couleurs **Le tri des couleurs** ne pose pas de problèmes particuliers sur le plan technique, puisque la couleur peut être identifiée par une simple caméra. La question concerne plutôt la classification des couleurs et nuances à trier.

Intelligence artificielle L'utilisation de robots faisant appel « à l'intelligence artificielle » pour le tri des déchets est en plein développement. Ces dispositifs, qui se basent sur des caméras classiques, **reconnaissent les objets et les formes (pas les matières)**. Des acteurs commencent déjà à travailler à son application aux textiles.

Ce type de technologies peut être un complément du tri matière pour **détecter certains types de vêtements** :

- ♦ Qu'ils soient indésirables sur une ligne de tri matière (ex. : veste double couche, etc.).
- ♦ Ou au contraire à trier spécifiquement (ex. : t-shirt, jean).

Tri des métaux Les systèmes de tri des métaux sont largement utilisés dans le secteur du recyclage.

Type de métal	Équipement de tri
Métaux ferreux	Séparateur magnétique/Overband
Métaux non-ferreux	Machine à induction/Séparateur à courants de Foucault

Pour les textiles, de tels systèmes peuvent permettre d'identifier et séparer d'éventuels **points durs métalliques** dans un flux de textiles.

Reconnaissance des substances problématiques

Certaines **substances** qui se trouvent dans les textiles collectés peuvent aujourd'hui être **interdites dans certaines applications** (ex. : REACH) et doivent donc être éliminées du reste des matières triées.

C'est par exemple le cas du brome dans la filière des plastiques. Pour identifier les **plastiques bromés**, on peut utiliser la spectrométrie par fluorescence X ou par étincelle par exemple.

L'utilisation de telles technologies pourrait être envisagée pour les filières de recyclage des textiles soumises à de telles réglementations.

Conclusion sur l'identification et le tri matière

Le tri des matières textiles par spectrométrie proche infrarouge, qui était encore au stade de développement il y a 3 ans, **commence à être utilisé de manière opérationnelle en Europe**, avec plusieurs lignes automatisées en fonctionnement.

Au cours de cette veille, nous avons d'ailleurs pu noter que l'intérêt pour le sujet était beaucoup plus marqué, à la fois du côté des fournisseurs d'équipements et de leurs utilisateurs potentiels. Le nombre d'acteurs impliqués a fortement augmenté et ceux-ci semblent aussi plus matures.

Ces prochaines années devraient donc voir l'émergence de nombreux projets d'utilisation de la spectrométrie proche-infrarouge pour le tri matière des textiles. En effet, si cette technologie présente et présentera toujours certaines limites (ex. : détection surfacique), elle est aujourd'hui **la plus mature sur la reconnaissance des textiles** usagés non-réutilisables.

La filière semble donc se rapprocher du point de basculement vers une industrialisation et un déploiement à plus grande échelle du tri matière, même si les défis à lever sont encore nombreux et ne sont pas seulement d'ordre technologique (modèle économique, existences de débouchés, etc.).



Fournisseurs de machines de tri matière automatisé

Pellenc ST

Pellenc ST est une ETI française basée en Provence qui conçoit, fabrique et commercialise des équipements de tri optique pour le traitement des déchets et l'industrie du recyclage. Ses machines sont notamment présentes dans un grand nombre de centres de tri des emballages en France.

Elles sont constituées :

- ♦ d'un **tapis d'accélération** (plusieurs mètres par seconde),
- ♦ d'un **système de détection** qui scanne et analyse les déchets sur la largeur du tapis,
- ♦ d'un **système d'éjection** qui sépare les matières en 2 ou 3 catégories grâce à des buses d'air + **caissons de réception** qui récupèrent les fractions triées.

Pays	France	
Technologie	NIR + couleurs	
Type d'équipement	Mistral+ CONNECT : machine de tri automatisé binaire ou ternaire	
Lien avec les textiles	Après avoir réalisé des premiers tests en 2013 sur les textiles, l'entreprise a récemment proposé sa technologie de tri à des centres de tri textile.	
Contact	Site : https://www.pellencst.com/fr/ Contact : Marc Minassian (Directeur commercial France). m.minassian@pellencst.com	
Illustration	 <i>Machine de tri Mistral+ CONNECT</i>	

Picvisa

Picvisa est une entreprise espagnole basée dans la région de Barcelone.

Picvisa propose à la fois une machine de tri multi-catégories sur le même principe que le Fibersort de Valvan et des machines de type binaire/ternaire comme celles de Pellenc ST et TOMRA.

Pays	Espagne	
Technologie	NIR + couleurs	
Type d'équipement	Ecopick : bras robotisé Ecopack : machine de tri automatisé binaire ou ternaire Ecosort Textil : ligne de tri automatisé avec soufflage latéral	
Lien avec les textiles	Depuis 7 ans, Picvisa travaille sur l'identification des textiles usagés présents dans des centres de tri de déchets.	
Contact	Site : https://picvisa.com/en/ Contact : Silvia Gregorini (Business Developer). sgregorini@picvisa.com	

Illustration



Ligne de tri Ecosort Textil

TOMRA

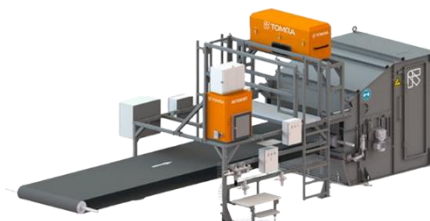
TOMRA est l'un des leaders au niveau mondial des technologies de tri optique pour le recyclage des déchets.

Les machines de tri optique de TOMRA ont un **fonctionnement proche de celles de Pellenc ST**.

TOMRA dispose d'une filiale française basée à côté de Montpellier et de plusieurs centres d'essais dans le monde pour le test de ses équipements dont un en Allemagne proche de Coblenz.

Pays	Norvège / Allemagne	
Technologie	NIR + couleurs	
Type d'équipement	Autosort : machine de tri automatisé binaire ou ternaire	
Lien avec les textiles	Équipements utilisés dans l'usine Sysav à Malmö en Suède.	
Contact	Site : https://www.tomra.com/en/solutions/waste-metal-recycling/applications/textiles Contact : Louisa Hoyes Louisa.Hoyes@tomra.com	

Illustration



Machine de tri automatisé Autosort

Valvan

Valvan est un constructeur belge qui fabrique des machines pour la mise en balles et la semi-automatisation du tri (pour réutilisation) des textiles depuis de nombreuses années.

Ils développent depuis quelques années le Fibersort, une machine de tri optique et automatisé des matières textiles.

Le Fibersort est constitué :

- ♦ de robots alimentant un long tapis roulant (optionnel),
- ♦ d'un spectromètre en début de tapis scannant en un point la matière,
- ♦ de bacs de tri disposés le long du tapis avec un système de soufflage latéral.

Pays	Belgique	
Technologie	NIR + couleurs	
Type d'équipement	Manual Fibersort : table de tri avec capteur et écran Semi-automatic Fibersort : ligne de tri automatisée avec alimentation manuelle	

	Integrated Fibersort : ligne de tri complètement automatisée et intégrée avec les étapes amont et/ou aval
Lien avec les textiles	Le Fibersort de Valvan est utilisé dans plusieurs centres de tri textiles en Europe.
Contact	Site : https://www.fibersort.com/en/ Contact : Jean-François Gryspeert jfq@valvan.com
Illustration	 <p><i>Capteur et convoyeur avec buses latérales de la ligne Fibersort</i></p>

Autres fournisseurs potentiels

En plus des fournisseurs présentés ci-dessus, il existe d'autres acteurs qui produisent des machines de tri optique pour les déchets d'emballages ou de plastiques. Certains travaillent d'ailleurs en interne sur des adaptations de leurs machines de tri de textiles et devraient proposer des offres commerciales prochainement.

Fournisseurs de spectromètres portatifs

Matoha

Matoha est une start-up londonienne fondée en 2017. Elle conçoit et fabrique des **spectromètres portatifs pour les plastiques et les textiles**. La commercialisation de ces spectromètres pour textiles a commencé en 2021.

Pays	Royaume-Uni	
Technologie	NIR	
Type d'équipement	FabriTell : spectromètre portatif Matoha Bench : spectromètre intégrable dans une table de tri Matoha handheld : spectromètre ultra-portatif Sensing module : module OEM	
Lien avec les textiles	Les spectromètres Matoha sont utilisés dans plusieurs centres de tri en Europe et ont notamment servi à la campagne de caractérisation des textiles ménagers de Refashion.	
Contact	Site : https://matoha.com/ Contact : hello@matoha.com	
Illustration	 <p><i>Sensing module, spectromètres portatifs Fabri-Tell et PlasTell et Matoha Bench</i></p>	

Senorics

La société **Senorics** est une start-up créée en 2017 à Dresde en Allemagne. Senorics a commencé à se concentrer sur l'identification du textile il y a 2 ans.

Senorics propose un spectromètre portatif mais également une version OEM².

Pays	Allemagne	
Technologie	NIR	
Type d'équipement	SenoCorder Solid : spectromètre portatif SenoSense : module OEM ²	
Lien avec les textiles	Collaboration avec quelques centres de tri	
Contact	Site : https://www.senorics.com/ Contact : Hannah Szyal hannah.szyal@senorics.com	
Illustration	 <i>Spectromètre portatif SenoCorder</i>	 <i>Module OEM SenoSense</i>

Spectral Engines

Spectral Engines est un fabricant et concepteur allemand de capteurs fondé en 2014 en Finlande. Les technologies de l'entreprise sont issues de la recherche au sein de VTT (institut de recherche finlandais).

Spectral Engines fabrique des capteurs OEM pour le compte d'autres entreprises qui les intègrent ou les assemblent. Pour les textiles, il propose également un spectromètre clé en main avec une base de données textile.

Pays	Allemagne	 SPECTRAL ENGINES MEMBER OF THE NYNOMIC GROUP
Technologie	NIR	
Type d'équipement	Nirone Scanner : spectromètre portatif Nirone Sensor : capteur	
Lien avec les textiles	Technologie utilisée par LSJH pour des tests de tri de textiles en Finlande.	
Contact	Site : https://www.spectralengines.com/ Contact : Laurent Greulich l.greulich@photinnov.fr	
Illustration	 <i>Spectromètre Nirone</i>	 <i>Capteur Nirone</i>

² OEM : « Original Equipment Manufacturer » ou "fabricant d'équipement d'origine" signifie que le capteur peut être intégré dans les produits d'un autre fabricant.

TrinamiX

TrinamiX est une filiale du groupe BASF située en Allemagne et créée en 2015. La société possède également des bureaux en Chine, au Japon, en Corée du Sud et aux États-Unis. TrinamiX opère dans la **détection infra-rouge** mais également dans la détection 3D.

L'offre du module textile est très récente : elle a été lancée officiellement fin 2022.

Pays	Allemagne	
Technologie	NIR	
Type d'équipement	Spectromètre portatif + développement d'une solution semi-automatisée pour intégration dans une table de tri	
Lien avec les textiles	TrinamiX travaille déjà avec l'industrie du recyclage sur les plastiques et vient de développer des offres pour les textiles.	
Contact	Site : https://trinamixsensing.com/textiles Contact : Daniela Kolodziej daniela.kolodziej@trinamix.de	
Illustration		

Spectromètre portatif TrinamiX

Autres acteurs

Dans la synthèse parue en 2020, nous avons identifié le spectromètre portatif de la société **Iosys** appelé le mIRoGun. Cependant, aucune évolution de l'équipement n'a été observée.

À noter également la société française **Plas'tri** dont la commercialisation d'un spectromètre plastique a débuté début 2022 et qui commence à s'intéresser aux matières textiles.

Tables de tri

Les **tables de tri** sont des variantes des spectromètres manuels. Elles sont généralement constituées d'une table dans laquelle est intégré un **capteur** et d'un **écran** permettant à l'opérateur de tri de lire la matière reconnue par le capteur. Ces tables sont complétées de plusieurs **bacs de tri** en fonction du nombre de catégories à trier.

Les tables de tri sont plus ergonomiques que les spectromètres portatifs pour une utilisation en continu. L'opérateur de tri doit seulement **passer le textile devant le capteur**. La séparation des textiles du flux reste manuelle.

Les modèles de tables de tri identifiés dans le cadre de cette étude sont présentés dans le tableau ci-après.

Comparatif des équipements de tri automatisé ou d'identification matière

Machine de tri automatisé

Fournisseur	Équipements	Tri multi-catégorie ou binaire/ternaire	Possibilité d'alimentation robotisée	Technologie d'identification matière	Type de capteur	Tri couleur	Matières reconnues (allégations fournisseurs)	Capacité / Vitesse (les données en t/h dépendent du flux trié et du fabricant)	Type d'éjection en sortie	Nationalité du fournisseur	Centre d'essai à disposition	Tri sur chiquettes ou pièce sentières	Exemples de centres de tri équipés
Pellenc ST	Mistral+ CONNECT	binaire/ternaire	Oui	NIR	Hyper-spectral	Oui	(contacter fabricant)	NC	Buses d'éjection en bout de convoyeur	France	Pertuis (France)	Les deux	NC
Picvisa	Ecopick	4 catégories	Oui	NIR	Hyper-spectral	Oui	Coton, viscose, laine, polyester, coton/polyester, polyamide, laine/polyamide, laine/polyester, soie, acétate, acrylique, polyuréthane.	1 m/s + 1 pièce/s	Bras robotisé	Espagne	Calaf (Espagne)	Les deux	Coleo Recycling
	Ecopack	binaire/ternaire						3 m/s + 1,8 à 2 t/h					
	Ecosort Textil	multi-catégorie						1 à 2 pièces/s	Éjection latérale				
TOMRA	Autosort	binaire/ternaire	Oui	NIR	Hyper-spectral	Oui	Coton, polyester, coton/polyester, laine, acrylique, polyamide, viscose.	NC	Buses d'éjection en bout de convoyeur	Norvège	Mülheim-Kärlich (Allemagne)	Les deux	Usine Sysav à Malmö en Suède (conception Stadler)
Valvan	Fibersort	multi-catégorie	Oui	NIR	Ponctuel	Oui	Laine, coton, polyester, viscose, acrylique et polyamide	0,7m/s + 1 pièce/s. 1 200 kg/h (hyp : 3 textiles/kg de flux)	Éjection latérale	Belgique	Construction d'une ligne d'essai (SCIRT projet)	Les deux	<ul style="list-style-type: none"> • Salvation Army (Royaume-Uni) • Wieland Textiles (Pays-Bas) • CETIA à Hendaye (2023)

Tables de tri

Fournisseur	Équipements	Technologie d'identification matière	Type de capteur	Tri couleur	Matières reconnues (allégations fournisseurs)	Nationalité du fournisseur
Valvan	Manual Fibersort	NIR	Ponctuel	Non	Laine, coton, polyester, viscose, acrylique et polyamide	Belgique
Matoha	Matoha Bench	NIR	Ponctuel	Non	Coton, laine, polyester, polyamide, acrylique, viscose, soie, élasthanne, acétate et tous les mélanges avec 2 de ces matières	Royaume-Uni

Spectromètres portatifs

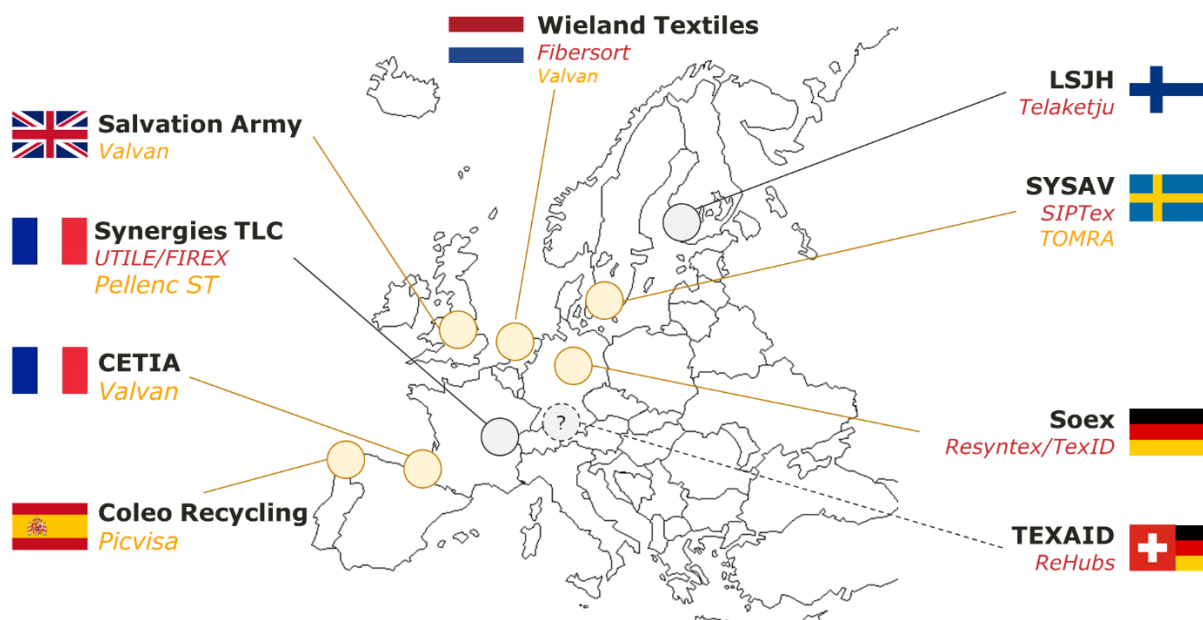
Fournisseur	Équipements	Technologie d'identification matière	Type de capteur	Identification des couleurs	Matières reconnues (allégations fournisseurs)	Temps de mesure	Logiciel PC / Application mobile	Utilisable hors-ligne	Fonctionnement sur batterie	Nationalité du fournisseur	Dimension et poids de l'appareil	Exemples d'utilisation
Matoha	FabriTell	NIR	Ponctuel	Non	Coton, laine, PET, PA, acrylique, viscose, soie, élasthanne, acétate et tous les mélanges avec 2 de ces matières	< 1 seconde	Application mobile	Oui	Non	Royaume-Uni	130x130x90 mm pour 0,5 kg	<ul style="list-style-type: none"> • Campagne de caractérisation Refashion • Étude "Sorting for circularity" de Fashion For Good
Senorics	SenoCorder Solid	NIR	Ponctuel	Non	NC	6 secondes	Logiciel PC et application mobile	Non	Oui	Allemagne	110x60x50m m	NC
Spectral Engines	Nirone Scanner	NIR	Ponctuel	Non	Coton, laine, viscose, élasthanne, PET, PA, acrylique, modal, soie	Quelques secondes	Logiciel PC et application mobile	Non	Oui	Allemagne	80x80x28m m	NC
TrinamiX	TrinamiX	NIR	Ponctuel	Non	Laine, coton, acrylique, PA 6 et PA 6-6, PET, polypropylène, soie, viscose, sisal Les mélanges basés sur l'acrylique, le coton, la soie, le PET, le nylon et la laine (seule la matière majoritaire est reconnue)	NC	Logiciel PC et application mobile	Non	Oui	Allemagne	152x84x82m m	NC

Lignes de tri automatisées existantes ou en projet

Cartographie des lignes ou projets de lignes automatisées

Plusieurs lignes de tri automatisées en fonctionnement ou en projet ont été identifiées dans le cadre de cette étude.

Cette carte présente les principales lignes qui ont fait l'objet d'une communication publique, ainsi que les opérateurs, projets et fournisseurs associés.




Principales lignes de tri matières automatisées identifiées en Europe : déjà existantes (points jaunes) et en projet (points gris)


Lignes de tri automatisées existantes

Coleo Recycling	Pays	Espagne	coleo.
	Techno	NIR + couleur	
	Fournisseur	Picvisa	
	Stade avancement	Ligne existante	
	Capacités	5000 t/an	

Coleo Recycling est une entreprise espagnole qui possède un site de recyclage textile à La Corogne. Ce site est équipé d'une ligne de tri Ecosort Textil de Picvisa.


Salvation Army	Pays	Royaume-Uni	
	Techno	NIR + couleur	
	Fournisseur	Fibersort	
	Stade avancement	Ligne existante	
	Capacités	~500 t/an	

La branche commerciale de l'Armée du Salut au Royaume-Uni (SATCoL) a installé une ligne Fibersort de Valvan fin 2022 sur son site de Kettering.

SYSAV	Pays	Suède	
	Techno	NIR + couleur	
	Fournisseur	TOMRA	
	Stade avancement	Ligne existante	
	Capacités	24 000 t/an (objectif)	
	Autres partenaires	Une vingtaine de partenaires (projet SIPTex) : marques (H&M, Ikea, etc.), trieur (Boer Group), recycleur (re:new-cell), Refashion, opérateurs publics, etc.	

Le projet **SIPTex** (Swedish Innovation Platform for Textile sorting) est un projet suédois de tri automatisé des textiles qui s'est déroulé en 3 phases entre 2015 et 2022. Il s'est clôturé fin 2022 avec l'inauguration d'une **unité de tri automatisé des textiles à l'échelle industrielle** détenue par SYSAV à Malmø (SIPTex 3).


La ligne est composée de 4 machines de tri Autosort de TOMRA.

SOEX	Pays	Allemagne	
	Techno	NIR + couleur	
	Fournisseur	NC	
	Stade avancement	Ligne existante	
	Capacités	NC	

Soex a développé une ligne pilote de tri matière dans le cadre du projet européen RESYNTEX entre 2015 et 2019.

Sur cette base, le projet **TexID** financé par Refashion a permis de concevoir une ligne complètement automatisée à l'échelle industrielle.

Après deux ans de tests sur son site de Wolfen, Soex a pu y installer une **ligne de tri automatisée qui est pleinement opérationnelle depuis mai 2022**.

CETIA	Pays	France	
	Techno	NIR + couleur	
	Fournisseur	Valvan	
	Stade avancement	Ligne existante	
	Capacités	-	

Le **CETIA** est un centre de R&D basé dans le Pays Basque, créé par le CETI et l'ESTIA, dont les travaux portent sur la préparation matière, le tri et le démantèlement des textiles et chaussures. Le CETIA contribue notamment à des projets sur le déliassage des textiles (SCIRT et TRACE).

Le CETIA disposera d'une ligne Fibersort de Valvan en 2023.

Lignes de tri automatisées en projet

LSJH	Pays	Finlande	
	Techno	NIR + couleur	
	Fournisseur	NC	
	Stade avancement	Projet	
	Porteur de projet	LSJH (opérateur public de gestion des déchets)	
	Capacités prévues	NC (ligne prévue pour 2025)	
	Autres partenaires	Municipalités, institut de recherche, universités, collecteurs, recycleurs, etc.	

Telaketju est un réseau d'acteurs et de projets qui visent à développer une **filière de recyclage des textiles en Finlande** depuis 2017.

Dans ce cadre, **LSJH** travaille sur le tri et la préparation matière des textiles usagés. LSJH a conduit des essais de tri avec un spectromètre de Spectral Engines en 2019 par et a construit une usine d'effilochage fin 2021.

LSJH prévoit de construire une usine de surtri et de recyclage à l'échelle industrielle à Turku en 2025 (investissement annoncé de 20,5 M€). Cette usine devrait trier de manière semi-automatisée les textiles en différentes matières et une partie sera ensuite effilochée sur place.

ReHubs	Pays	Allemagne, Belgique, Espagne, Finlande, Italie.	
	Techno	NC	
	Fournisseur	NC	
	Stade avancement	Projet	
	Capacités prévues	50 000 t/an en 2024	
	Porteur de projet	Euratex (confédération européenne du textile) Texaid (opérateur de tri et collecte des textiles)	
	Autres partenaires	Multiples partenaires	

ReHubs est une initiative d'Euratex dont l'objectif initial est de créer 5 hubs pour traiter les déchets textiles et devenir des centres de coordination européens : en Allemagne, Belgique, Espagne, Finlande et Italie.

Une première installation d'une capacité de 50 000 tonnes d'ici 2024 a été annoncée, ce projet ([Sorting 4.0 - « Transform Waste into Feedstock »](#)) sera piloté par TEXAID.

Synergies TLC	Pays	France	
	Techno	NIR	
	Fournisseur	Pellenc ST	
	Stade avancement	Projet	
	Porteur de projet	Synergies TLC	
	Capacités prévues	3 000 t/an en 2023 25 000 t/an en 2025	
	Autres partenaires	Les Tissages de Charlieu	

Synergies TLC a été créé par 6 opérateurs de tri et de collecte pour travailler sur la préparation matière au recyclage.

Depuis trois ans, Synergies TLC réalise des travaux sur le tri matière dans le cadre de différents projets. Ces travaux ont pour objectif de mettre en place **une usine de surtri et de déliage automatisés**.


La première usine pilote devrait être opérationnelle en 2023 et utiliser des machines de tri de Pellenc ST. La construction d'une **usine d'une capacité de 25 000 tonnes** est annoncée pour 2025³.

Autres projets sur le tri et la reconnaissance matière

CISUTAC	Pays	Europe	
	Techno	NC	
	Fournisseur	NC	
	Porteur de projet	Centexbel	
	Autres partenaires	Une vingtaine de partenaires dont TEXAID.	
	Lien	https://www.cisutac.eu/	

CISUTAC (Circular and Sustainable Textiles and Clothing) est un projet financé par l'Union Européenne (New Horizons) visant à créer une chaîne de valeur circulaire.


Le projet prévoit notamment le développement de solutions numériques pour **améliorer le tri automatisé des textiles**.

CRTX	Pays	Allemagne	
	Techno	Raman	
	Fournisseur	-	
	Porteur de projet	circular.fashion	
	Autres partenaires	Université Technique de Berlin, Université Libre de Berlin	
	Lien	https://crtx.ai/	

Le projet **CRTX** est un projet initié en 2020 par circular.fashion en collaboration avec deux universités berlinoises qui devrait se terminer en 2023.

Le projet est composé de deux volets : l'un sur **le développement de la spectroscopie Raman** sur les textiles et l'autre sur la reconnaissance d'image (IA) visant plutôt le tri pour réutilisation.

Les essais sur la spectroscopie Raman doivent permettre d'évaluer si cette technologie permettrait une reconnaissance plus précise des matières textiles que le NIR et s'il est possible de détecter les colorants et produits chimiques couramment présents dans les textiles.

MISTERY	Pays	France	
	Techno	NIR/SWIR	
	Fournisseur	-	
	Porteur de projet	CEA YSPOT	
	Autres partenaires	Gebetex, Boer Group, Horiba Scientific et Aalto University	

³ Source : Webinaire « Instant Tech n°4 » de l'IFTHdu 24/01/23

Le projet **MISTERY** (Multispectral optIcal Sensors for TExtiles RecYcling), financé par Refashion dans le cadre du [Challenge Innovation 2021](#), a pour but de développer une nouvelle solution de tri automatisé.

Le projet utilise différents **capteurs hyperspectraux** (NIR, SWIR) pour la **caractérisation des textiles** à destination du recyclage et compte tester son efficacité en conditions réelles de tri.

SCIRT	Pays	Belgique / France / Autriche / Allemagne / Pays-Bas	
	Techno	NIR + couleur	
	Fournisseur	Valvan	
	Porteur de projet	VITO (centre de recherche)	
	Autres partenaires	18 partenaires dont CETIA et Valvan	
	Lien	https://scirt.eu/	

Le projet **SCIRT** (System Circularity & Innovative Recycling of Textiles) est un projet européen de 3 ans financé par l'UE (Horizon 2020).

L'objectif principal est de démontrer la possibilité de mettre en place un **système de recyclage en boucle fermée de déchets textiles** post-consommation. Valvan travaille sur la partie tri du projet.

T-REX	Pays	Allemagne, Autriche, Finlande, France, Pays-Bas, Suisse	
	Techno	NC	
	Fournisseur	NC	
	Porteur de projet	NC	
	Autres partenaires	Une dizaine de partenaires dont Veolia, Aalto University et Fashion for Good.	
	Lien	https://trexproject.eu/	


Le projet **T-REX** (Textile Recycling Excellence) vise à créer un modèle européen harmonisé pour le tri et le recyclage en circuit fermé des déchets textiles ménagers (polyester ; polyamide6 et fibres cellulosiques). Il est soutenu par l'UE (New Horizon). Veolia sera en charge du tri.

WhiteCycle	Pays	Europe	
	Techno	NIR	
	Fournisseur	IRIS	
	Porteur de projet	-	
	Autres partenaires	19 partenaires dont Synergies TLC, Carbios et Michelin	
	Lien	https://www.whitecycle-project.eu/	

Le projet **WhiteCycle**, cofinancé par l'UE (New Horizon) vise la création d'une solution industrielle pour le recyclage des déchets complexes en polyester (comme les textiles multicouches).


La partie identification doit être conduite avec la société espagnole IRIS, spécialisée dans les solutions photoniques et d'IA, grâce au système [Visum HSI](#).

Acteurs et projets sur la RFID pour le tri des textiles

4RFID	Pays	France	
	Techno	RFID	
	Fournisseur	NC	
	Porteur de projet	Decathlon	

Le projet **4RFID**, porté par Decathlon et soutenu par Refashion, visait à explorer la faisabilité d'utiliser les puces RFID en vue du tri pour recyclage.

Le retour d'expérience de ce projet est positif. Un guide d'apprentissage à destination de la filière TLC a été publié (disponible [ici](#)).

circular.fashion	Pays	Allemagne	 circular.fashion
	Techno	RFID/NFC/codes QR	
	Fournisseur	-	

circular.fashion est une start-up basée à Berlin qui propose son système circularity.ID aux marques. Ce système est fondé sur une **puce RFID, NFC ou un code QR à intégrer dans le vêtement permettant** ensuite d'accéder à des informations sur celui-ci (matière, couleur, catégorie de vêtement, etc.).

L'identifiant peut être ainsi lu par le consommateur pour accéder à des données sur son produit et/ou par un centre de tri en fin de vie. Circular.fashion travaille avec plusieurs centres de tri partenaires qui testent son système pour améliorer le tri manuel (pour réutilisation et pour recyclage).

Circular.fashion a publié un standard pour les informations produit (disponible [ici](#)).

Déliassage

État de l'art des procédés de déliassage

Contexte

Le *déliassage* est une étape de **préparation des** textiles au recyclage qui consiste à **démanteler** les vêtements en vue de **supprimer les points durs**.

Les points durs ou perturbateurs au recyclage

Les points durs sont des **perturbateurs au recyclage** des textiles.

Il s'agit notamment de tous les éléments qui ne sont **pas en matière textile** ou qui forment un corps dur :

- ♦ boutons,
- ♦ rivets,
- ♦ fermetures à glissière,
- ♦ etc.

Il peut aussi s'agir de **matière textile** lorsque celle-ci n'est pas de la même composition que l'étoffe principale :

- ♦ étiquette,
- ♦ patch,
- ♦ doublure,
- ♦ fond de poche,
- ♦ etc.

Une étude de l'ENSAIT pour Refashion (ex-Eco TLC) en a fait une liste complète en 2014 (disponible [ici](#)).

La classification comme perturbateur dépend du procédé de recyclage ciblé.

Nécessité de développer le déliassage

Les débouchés pour les matières textiles recyclées demandent **un certain niveau de pureté** de la matière. Le niveau d'exigence peut varier selon le type de recyclage mais il est globalement élevé, que ce soit pour les procédés de recyclage mécaniques ou chimiques.

Historiquement, ce sont donc les **textiles qui présentent le moins de points durs** qui ont été **d'abord recyclés** :

- ♦ fabrication de chiffons à partir de draps ou de t-shirts,
- ♦ effilochage des pulls, etc.

Pour pouvoir recycler un plus grand nombre d'articles non-réutilisables et développer de nouvelles filières de recyclage, il est ainsi **nécessaire d'augmenter les capacités de déliassage** des textiles.

Le déliassage manuel

Le déliassage manuel consiste à **découper un article textile en plusieurs morceaux** de façon à ne garder que des morceaux uniformes et sans perturbateurs.

Une technique ancienne

Le déliassage manuel est pratiqué depuis très longtemps, notamment pour la **fabrication de chiffons d'essuyage** à partir de textiles usagés.

Différents outils

Le travail manuel de déliassage peut être réalisé avec l'aide de divers **outils** :

- ♦ ciseaux manuels ou électriques,
- ♦ scie circulaire,
- ♦ scie à ruban,
- ♦ emporte-pièce,
- ♦ etc.

Un déliassage de qualité

La découpe manuelle permet d'atteindre un **très bon niveau de déliassage** en éliminant tous les points durs et en maximisant la surface de textile restante. Elle peut en effet s'adapter à chaque article (taille, forme, localisation des points durs, etc.).

Mais très couteux Le principal frein à un déliassage manuel à grande échelle est le fait qu'il s'agit d'une **activité intensive en main d'œuvre**, très chronophage et donc **couteuse**, en particulier en Europe de l'Ouest.

Pour illustration, la majorité de l'activité de découpe des textiles usagés en **chiffons d'essuyage** est aujourd'hui **délocalisée** dans des pays où la main d'œuvre est moins chère.

L'équilibre économique d'une activité de déliassage manuel sur des articles contenant beaucoup de points durs est donc difficile à atteindre en France.

D'où le besoin d'automatisation Pour pouvoir développer le déliassage à grande échelle et permettre de développer des filières de recyclage en Europe, il est donc **nécessaire d'automatiser et d'industrialiser le procédé de déliassage**.

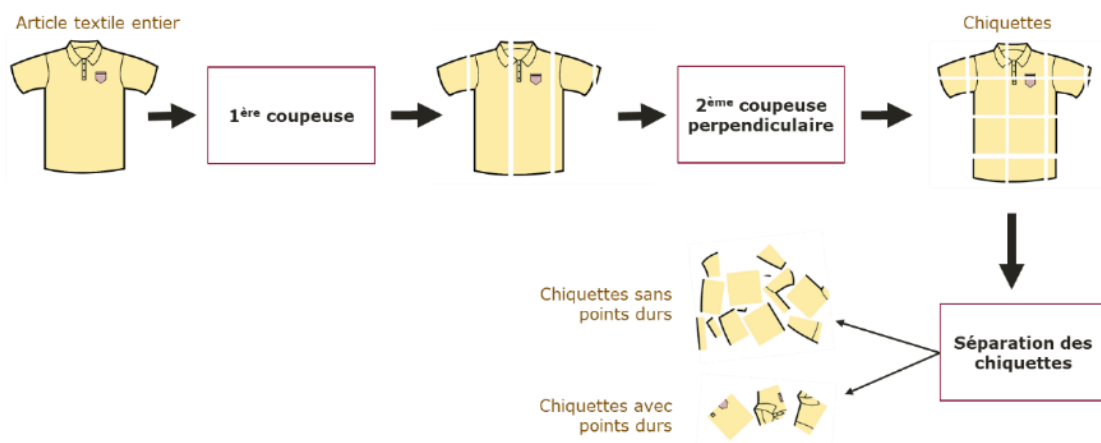
Des exemples de techniques de déliassage automatisé sont présentés ici.

Le déliassage sur chiquettes

Plusieurs techniques de déliassage automatisé impliquent la **découpe** préalable **des textiles en chiquettes**.

Principe Ces techniques reposent sur deux étapes :

1. La **découpe** des articles textiles en chiquettes : des morceaux carrés de textiles d'une taille maximale définie par le recycleur (ex. : 60x60 mm)
2. La **séparation** des chiquettes en deux flux :
 - chiquettes sans points durs : matière déliassée,
 - chiquettes avec points durs.



La coupe La coupe en chiquettes peut se faire par le passage des textiles dans **deux coupeuses successives** et perpendiculaires, afin de former des carrés.

Les équipements pour réaliser cette étape sont les mêmes que ceux que l'on retrouve en début de ligne d'effilochage (voir plus loin).

La séparation Plusieurs techniques sont possibles pour séparer les chiquettes en deux flux :

- ♦ l'**identification** des points durs **par caméras**,
- ♦ la **séparation** purement **mécanique**.

L'identification des points durs par vision La vision par ordinateur permet à partir de **caméras** et d'algorithmes **d'analyse d'image** de **détecter les chiquettes** qui présentent ou non des points durs.

Une fois les chiquettes classifiées, l'information est transmise à un dispositif de séparation des flux comme ce qui existe par exemple dans les machines de tri automatisé (éjection pneumatique, voir plus haut).

C'est le type de système développé par Valvan (TrimClean).

La séparation mécanique On peut aussi n'utiliser que des méthodes de **séparation physique** qui s'appuient sur les **caractéristiques des points durs** (densité, forme, matière, ...).

C'est le cas des **séparateurs à air** qui consistent à faire circuler les chiquettes dans un flux d'air.

Les **fractions plus légères** sont entraînées par le flux d'air tandis que les **plus lourdes** (avec points durs) tombent. La circulation d'air peut se faire dans **des zig-zags** pour accentuer la séparation.

En plus de la **densité**, d'autres caractéristiques comme **la forme** et **la surface** des chiquettes et points durs entrent en jeu.

Le flux d'air est réglé pour obtenir un compromis entre la pureté du flux déliassé et les quantités de pertes matières.

Ce type d'équipement est courant dans l'industrie du recyclage pour séparer différentes matières. C'est le système développé par Recuprendra.

Séparation plus poussée Cette séparation peut être complétée dans les deux cas par d'autres dispositifs comme les **séparateurs de métaux** :

- ♦ des **aimants** pour les métaux ferreux,
- ♦ des **séparateurs à courants de Foucault** pour les non-ferreux.

Retours d'expérience Ces techniques étant encore au stade de développement ou sur le point d'être commercialisées, elles sont **encore difficiles à évaluer**.

Il apparait cependant déjà que **la taille des chiquettes** joue **un rôle important**. Des chiquettes plus petites permettraient de meilleures performances, i.e. moins de perte matière, mais engendreraient une longueur de fibre plus courte pénalisante pour certaines filières de recyclage.

Effilochage avec élimination des points durs

Le déliassage automatisé existe en réalité déjà depuis plusieurs années **dans le cadre de lignes d'effilochage**.

L'effilochage L'effilochage est un **procédé de recyclage mécanique** qui consiste à transformer les textiles **en fibres**. Ces fibres recyclées peuvent ensuite être utilisées pour produire des non-tissés ou refaire du fil.

L'intégration du déliassage à l'effilochage L'effilochage ne nécessite pas forcément d'étape de déliassage, en particulier si les textiles traités n'ont pas de points durs (ex. : chutes de production).

Toutefois, certaines lignes d'effilochage traitent des articles textiles plus complexes et vont **intégrer plusieurs étapes de séparation mécanique** des points durs.

Les différentes étapes Les équipements et les techniques d'élimination des points durs varient d'une ligne à l'autre.

Toutefois, on retrouve souvent ces grandes étapes :

1. La **formation de chiquettes** avec des coupeuses.
2. L'utilisation **d'ouvreuses** pour éclater la matière textile et venir arracher les points durs.
3. L'**effilochage** proprement dit avec le passage de la matière dans une succession de cylindres rotatifs munis d'aiguilles ou picots afin d'affiner la fibre.

Des dispositifs de séparation mécanique comme ceux présentés plus haut (séparateur à air, densité, aimants, etc.) vont aussi être utilisés à différentes étapes du procédé d'effilochage pour séparer les points durs des textiles à effilocheur.

Retours d'expérience Si cette technique ne permet pas une élimination de tous les types de points durs (ex. : couches de matières textiles différentes), c'est aujourd'hui **la méthode de déliassage automatisée la plus mature**.

Elle est déjà **utilisée à l'échelle industrielle** par de nombreux effilocheurs.

Le **niveau d'élimination** des points durs sur les lignes de ce type aurait bien **progressé** ces dernières années.

La matière obtenue en sortie se trouve sous forme de fibres.

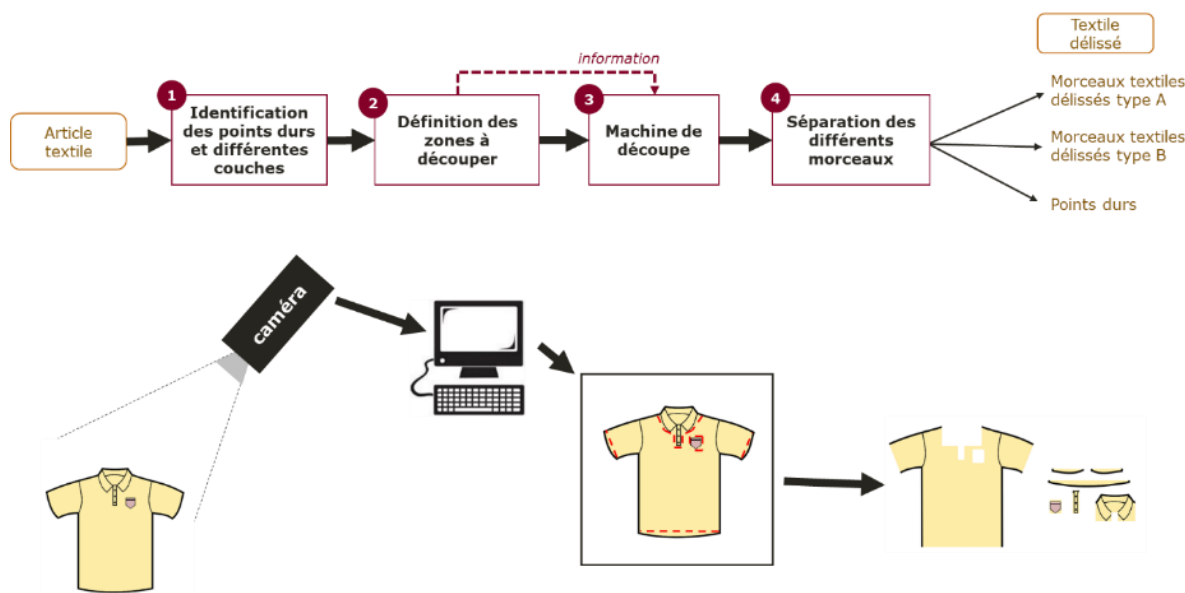
Selon le débouché, on peut aussi imaginer n'utiliser qu'une partie de la ligne d'effilochage pour se contenter d'une matière déliassée « pré-effilochée » et plus grossière.

Découpe automatisée sur mesure

Un autre concept d'automatisation du déliassage consiste à utiliser des technologies innovantes (IA, robotique) pour réaliser une **découpe sur mesure de pièces entières** comme ce qui peut être fait lors du déliassage manuel.

Principe Ce concept repose sur plusieurs étapes qui doivent être automatisées :

- ♦ l'**identification** et la localisation des points durs sur l'article,
- ♦ la définition des **zones à découper** pour les retirer,
- ♦ la **découpe** elle-même,
- ♦ la **séparation** des matières une fois l'article découpé.



La définition des zones à découper La vision par ordinateur, à l'aide de **caméras** et d'**algorithmes**, peut être utilisée pour reconnaître le type d'article et identifier les points durs sur celui-ci.

Un programme informatique peut alors définir **comment découper la pièce** pour enlever ces points durs.

Cette étape est très complexe puisque la définition des zones à découper doit être adaptée à chaque article. Étaler correctement la pièce est également important ici.

C'est le type de travaux mené par le CETIA dans le cadre de son projet TRACE.

La découpe Sur la base des zones à découper définies informatiquement, il faut alors **découper physiquement la pièce**.

Cela pourrait être réalisé avec une machine de découpe automatique en 2D ou un robot. La découpe peut être à laser ou à lame. Le bon positionnement de la pièce est aussi crucial.

Le CETIA travaille également sur ce sujet dans le cadre du projet SCIRT.

La séparation Une fois la pièce découpée, il est nécessaire de **séparer les morceaux** de textiles déliassés des morceaux qui contiennent les points durs.

L'automatisation de cette étape pourrait se faire avec un **robot** ou un système de **séparation mécanique** comme ceux présentés précédemment.

Retours d'expérience Ce type de déliassage automatisé en est **encore au stade de la R&D ou de la preuve de concept**. Les retours d'expérience sont donc limités.

Une telle technique de déliassage aurait cependant l'avantage de **maximiser la surface** des morceaux de textiles déliassés et donc de conserver un maximum de matière et de **longueur de fibre**.

Il faut toutefois s'attendre que même s'il est automatisé, ce type de procédé de déliassage soit **plus coûteux** que ceux par effilochage ou sur chiquettes, et qu'il soit donc réservé à des débouchés de plus **haute valeur ajoutée**.

Confection avec fils spéciaux

La dernière technique de déliassage identifiée repose sur un principe différent puisqu'il nécessite d'**agir dès la conception** des articles textiles.

Il s'agit d'**utiliser des fils spéciaux** qui permettront de **démanteler** facilement un article en fin de vie.

Principe Ces méthodes reposent sur des **fils de couture** qui ont des propriétés physiques spécifiques leur permettant **d'être dégradés** en fin de vie sans endommager le reste de l'article.

1. Lors de la **fabrication**, un **fil de couture spécial** est utilisé.
2. Lors de la **fin de vie** :
 - l'article passe dans une machine qui va **dégrader uniquement le fil de couture**,
 - les différentes parties de l'article désassemblé peuvent être séparées.

Deux types de fils sont aujourd'hui développés.

Désassemblage thermique Une première technique repose sur un **fil** constitué d'un **polymère** dont le **point de fusion** est **plus bas** que celui des autres fibres présentes dans les vêtements.

Le **passage dans un four** à une température juste au-dessus de ce point de fusion permettra de faire fondre le fil sans faire fondre le reste du textile.

C'est la technologie développée par Resortecs.

Désassemblage par micro-ondes

Une autre technique utilise le principe des **micro-ondes**.

Le fil est constitué d'un **polymère** qui intègre des **particules métalliques**.

Lors du passage du vêtement dans une sorte de **four micro-onde**, ces particules vont réagir avec les micro-ondes, ce qui va alors dégrader le fil de couture sans abimer le reste du textile.

C'est la technologie Wear2.

Retours d'expérience Si le développement de ce type de fils semble **avancé** et le désassemblage **fonctionner**, l'ensemble du procédé de désassemblage en fin de vie ne semble pas être encore complètement automatisé.

Il faut en effet aussi pouvoir alimenter la machine (« four ») en textile puis séparer les matières de l'article démantelé.

L'avantage de cette technique est qu'elle permet de **maximiser la taille des étoffes** textiles récupérées puisqu'il n'y a **aucune découpe**, la séparation se fait au niveau des coutures.

Ce déliassage reste cependant limité au niveau des coutures.

La principale limite reste que ce démantèlement n'est **possible que pour les articles déjà conçus** avec de tels fils, on retrouve donc des limites similaires au cas de la RFID pour le tri matière.

Il faut aussi pouvoir **identifier en fin de vie quel type de fil** de couture a été utilisé pour appliquer la bonne technique de démantèlement.

Les applications visées dans un premier temps concernent donc plutôt les textiles qui restent dans des boucles courtes : retours client, invendus, produits défectueux, vêtements professionnels, etc.

Enfin, le caractère éventuellement perturbateur au recyclage de ce type de fil devra être vérifié dans le cas où il n'a pas été retiré.

Conclusion sur le déliassage

Le déliassage est un sujet plus confidentiel que le tri matière, mais tout aussi **crucial dans la chaîne de valeur du recyclage**.

C'est aussi un sujet **plus technique** et intrinsèquement **lié aux filières de recyclage** qu'il alimente en aval. Les informations publiques sont donc, à ce jour, moins nombreuses et le nombre d'acteurs plus restreint.

Le déliassage automatisé bénéficie de **moins de retours d'expériences d'autres filières**, comme le tri optique avec les emballages par exemple.

Toutefois des développements intéressants sont à noter. Les **lignes d'effilochage** ont vu leurs **performances en termes d'élimination** des points durs s'améliorer. Si elles ne prétendent pas répondre aux besoins de toutes les voies de recyclage, c'est la méthode de déliassage automatisée **la plus mature** et la plus utilisée.

Des **équipements dédiés** au déliassage automatisé des textiles commencent aussi à apparaître avec un principe de **séparation sur chiquette**. Ce qui ressemble d'ailleurs au début d'un procédé d'effilochage. La **détection** des points durs **avec des caméras** semble toutefois une avancée **prometteuse**.

Afin de faire un déliassage plus précis et de maximiser les longueurs de fibres, des **alternatives** sont aussi étudiées. La reconnaissance d'image et la robotique pour un **démantèlement sur-mesure** est un concept intéressant mais encore **en phase de R&D**.

L'utilisation de **fils de couture spéciaux** pour faciliter le démantèlement est plus avancée mais demande de revoir la conception des articles textiles. Elle ne pourra donc **pas être utilisée** pour la majeure partie du gisement à recycler **à court ou moyen terme**.

Fournisseurs de technologies de déliassage

ANDRITZ Laroche	Pays	France	
	Type de déliassage	Effilochage avec déliassage intégré et automatisé	
	Type d'équipement	Lignes complètes d'effilochage intégrant plusieurs modules de séparation des corps durs et des fibres textiles	
	Lien avec les textiles	Machines déjà utilisées par différents effilocheurs comme Renaissance Textile.	
	Contact	Site : https://www.andritz.com/products-en/nonwoven-textile/recycling/textile-recycling Contact : laroche@andritz.com	
Illustration			
	<i>Double coupeuse STARCUT</i> 		
<i>Picker/Ouvreuse</i>			


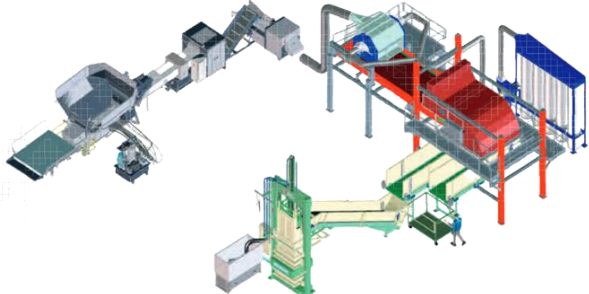
L'entreprise **ANDRITZ Laroche**, concepteur et fabricant français depuis plus de 100 ans, fournit des équipements industriels pour le recyclage des textiles, l'industrie des non-tissés et pour la décortication et l'affinage des fibres libériennes.

En 2021, l'entreprise a rejoint la division non-tissés d'**ANDRITZ**, groupe autrichien fournisseur de solutions industrielles.

Les lignes d'effilochage d'**ANDRITZ Laroche** peuvent intégrer différentes méthodes de séparation au cours du process d'effilochage afin de séparer les points durs des fibres textiles.


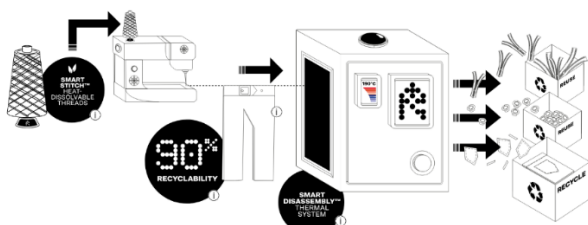
Dell'Orco & Villani	Pays	Italie	
	Technologie	Effilochage avec déliassage intégré et automatisé	
	Type d'équipement	Lignes complètes d'effilochage intégrant plusieurs modules de séparation des corps durs et des fibres textiles	
	Lien avec les textiles	Machines installées en France au CETIA ou chez Ouatéco (effilocheur) par exemple.	
	Contact	Site : https://www.dellorco-villani.it/en/ Contact : info@dellorco-villani.it	
Illustration			
<i>Coupeuse, ouvreuse et module d'effilochage</i>			

Dell'Orco & Villani (D&V) est une entreprise italienne spécialiste des lignes de recyclage des textiles (effilochage). Le type d'équipements et de déliassage est similaire à ce que propose ANDRITZ Laroche.



Valvan (TRIMCLEAN)	Pays	Belgique	
	Technologie	Séparation de chiquettes avec et sans points durs	
	Type d'équipement	Ligne réalisant la coupe, la détection des points durs et la séparation en deux flux de chiquettes	
	Lien avec les textiles	Projet Lauréat Challenge Innovation Refashion 2019 (description , résultat)	
	Contact	Site : https://www.valvan.com/ Contact : Jean-François Gryspeert jfg@valvan.com	
Illustration	 <i>Représentation 3D de l'installation TRIMCLEAN</i>		

Dans le cadre du projet TRIMCLEAN (financé par Refashion), Valvan a conçu une machine de déliassage sur chiquette qui sera bientôt commercialisée.

Celle-ci s'appuie sur un système d'identification des chiquettes avec ou sans points durs à l'aide de caméras et d'un programme informatique de reconnaissance d'images. Un détecteur de métaux complète la ligne.

Resortecs	Pays	Belgique	
	Technologie	Fils de couture dégradables	
	Type d'équipement	Smart Stitch™ : Fil de couture thermiquement dégradable pour l'écoconception de produits textiles pensés pour le recyclage Smart Disassembly™ : Four permettant de dégrader les fils et trier les tissus des produits textiles avant le recyclage	
	Lien avec les textiles	Impliqué dans plusieurs projets européens et collaborations avec plusieurs marques.	
	Contact	Site : https://resortecs.com/ Contact : annamc@resortecs.com	
Illustration	 <i>Schéma du principe de démantèlement par le fil de couture Resortecs</i>		

Resortecs (REcycling, SORTing, TEChnologies) est une entreprise belge qui développe depuis 2017 une gamme de **fils de couture** qui peuvent être **dégradés thermiquement** et le four associé.

Wear2Go	Pays	Pays-Bas	
	Technologie	Fils de couture dégradables	
	Type d'équipement	Fil Wear2® : fil de couture dégradable par micro-onde Four micro-onde permettant de dégrader les fils en cours de développement	
	Lien avec les textiles	Projet CircTex (Interreg NWE) sur le recyclage des vêtements professionnels en PET	
	Contact	Site : https://wear2.com/en/ Contact : info@wear2.com	
	Illustration	 <i>Projet de tunnel micro-onde</i>	


WEAR2GO est une société néerlandaise créée en 2018 et qui a repris la technologie Wear2® qui avait été développée au Royaume-Uni. WEAR2GO propose **des fils** et des équipements **micro-onde pour démanteler les articles** composés de ces fils.

Projets de démantèlement automatisé

Revive/Recycle (Recuprendra)	Pays	France/Espagne	 
	Techno	Séparation de chiquettes avec et sans points durs	
	Fournisseur	Développement interne	
	Porteur de projet	AIR coop	
	Autres partenaires	Recuprenda (centre de tri espagnol) In-Cycle (bureau d'études technique britannique)	

Le projet **Revive/Recycle** s'est clôturé en mai 2022 et avait deux volets : un sur la réparation de textiles et l'autre sur le démantèlement pour le recyclage. Le second volet a été financé par Refashion dans le cadre du challenge Innovation 2019 ([description](#), [résultat](#)).


Le concept de ce projet est une séparation sur la base de **chiquettes** avec des dispositifs de **séparation mécanique** (séparateur à air).

CETIA	Pays	France	
	Techno	Effilochage avec déliassage intégré et automatisé Découpe automatisée.	
	Fournisseur	Dell'Orco & Villani	
	Porteur de projet	CETIA	
	Lien	https://cetia.tech/	

Le **CETIA** a plusieurs axes de travail sur le démantèlement des textiles :

- ♦ le **démantèlement** avec des équipements utilisés dans des **lignes d'effilochage** (le CETIA dispose de machines Dell'Orco & Villani),
- ♦ le **démantèlement** par **découpe** avec un projet de définition de trajectoire de découpe grâce à l'intelligence artificielle (projet privé TRACE) et l'automatisation de cette découpe dans le cadre du projet européen SCIRT.

SCIRT

Pays	Belgique / France / Autriche / Allemagne / Pays-Bas	
Techno	Découpe intelligente	
Fournisseur	-	
Porteur de projet	VITO	
Autres partenaires	18 partenaires dont CETIA et Valvan	
Lien	https://scirt.eu/	

Le projet **SCIRT** (System Circularity & Innovative Recycling of Textiles) est un projet européen de 3 ans financé par l'UE (Horizon 2020).

Le projet inclut une partie tri présentée plus haut mais également une partie déliassage via un système de **découpe laser automatisé**.

Synergies TLC

Pays	France	
Techno	Chiquette / Effilochage	
Fournisseur	Andritz Laroche	
Porteur de projet	Synergies TLC	
Autres partenaires	Les Tissages de Charlieu	
Lien	https://synergies-tlc.com/	

En plus du tri matière, **Synergies TLC** doit intégrer des étapes de déliassage à son projet d'usine de préparation matière.

Synergies TLC travaille avec Andritz Laroche pour la partie déliassage de ce projet.

Conclusion

Tri matière

Le **tri par matière textile** en vue du recyclage demande de disposer de technologies de reconnaissance de ces matières.

La **spectroscopie proche infrarouge (NIR)** est aujourd'hui **la technologie la plus mature sur le sujet**. Plusieurs lignes de tri automatisé utilisant cette technologie de reconnaissance ont été identifiées en Europe et d'autres projets de grande capacité ont été annoncés.

Le nombre de fournisseurs proposant des équipements de tri ou des spectromètres adaptés aux matières textiles a significativement augmenté depuis trois ans.

La détection des matières textiles en proche-infrarouge présente cependant **certaines limites** :

- ♦ l'analyse de la matière est surfacique (problématique des multicouches, enductions, structures non homogènes, etc.),
- ♦ la détection est plus difficile lorsque les matières sont en très faibles proportions (ex. : élasthane) ou dans des mélanges à plus de deux matières,
- ♦ certains pigments ou apprêts peuvent perturber la bonne détection de la matière.

Les travaux de R&D continuent et les équipements s'améliorent au fur et à mesure des collaborations entre fabricants, trieurs et recycleurs.

Les niveaux de performance atteints pourraient toutefois déjà répondre à certains besoins des recycleurs.

À plus long terme, les méthodes s'appuyant sur des **passesports produits numériques**, comme la **RFID**, pourraient faciliter le tri des textiles en fin de vie. Cela demanderait toutefois une certaine standardisation et une utilisation généralisée par les metteurs en marché.

Déliassage

Le **déliassage** des textiles est **l'étape clé de la préparation matière** au recyclage.

Cette étape consiste à **enlever tous les points durs** ou éléments qui pourraient ensuite venir perturber le procédé de recyclage. Si le déliassage manuel existe depuis longtemps, son automatisation est indispensable pour réduire les coûts et développer le recyclage des textiles en Europe.

Le type et le niveau de déliassage **dépend** fortement **du procédé de recyclage visé**. C'est un **sujet propre aux textiles**, technique et donc plus confidentiel que le tri matière. Ce qui se traduit par moins d'informations publiques disponibles et un nombre d'acteurs plus restreint.

Certaines formes de déliassage sont **déjà matures et industrialisées**. Des effilocheurs utilisent aujourd'hui des **lignes d'effilochage** qui intègrent des systèmes de séparation et d'élimination des points durs. Lignes dont les performances en déliassage ont progressé ces dernières années.

Des équipements dédiés commencent aussi à se développer sur le principe d'une **découpe en chiquettes** puis leur séparation selon qu'elles contiennent ou non des points durs. Séparation qui peut être mécanique ou s'appuyer sur la reconnaissance d'image.

Des concepts plus novateurs, encore en R&D, visent aussi à reproduire une **découpe sur-mesure de pièces entières** comme cela peut être fait manuellement, mais en s'appuyant sur la robotique et l'intelligence artificielle.

Enfin, des techniques de démantèlement reposent sur l'utilisation **de fils de coutures spéciaux** lors de la confection des articles. Ces fils permettent un démantèlement facile en fin de vie en étant dégradés au moyen d'équipements spécialisés (ex. : fours). Cette technique ne sera pas utilisable sur le gisement conçu sans ces fils spéciaux.