

Veille sur les technologies de tri optique et de reconnaissance des matières textiles à l'échelle européenne

Synthèse

Février 2020



SOMMAIRE

Introduction	2
État de l'art des technologies applicables à la reconnaissance et au tri des matières textiles	2
Contexte.....	2
La reconnaissance matière	3
Le proche infrarouge (NIR)	4
Retours d'expérience sur les textiles	5
Autres types de spectroscopies.....	6
RFID	6
Technologies complémentaires	7
Conclusion sur la technologie	8
Projets et développements en cours sur le tri matière des textiles en Europe	9
Cartographie des principaux projets	9
SIPTex	9
Fibersort.....	10
Telaketju/LSJH	10
RESYNTEX	11
Autres projets	11
Projets sur la RFID	11
Fournisseurs de technologies.....	12
Identification de fournisseurs de technologies.....	12
Iosys.....	12
LLA Instruments	12
Pellenc ST.....	13
Spectral Engines.....	13
TOMRA	14
Valvan.....	14
Enseignements tirés des projets européens	15
Technologie utilisée.....	15
Des projets multiacteurs.....	15
Des projets ambitieux de plusieurs années.....	16
Conclusion.....	17
Technologies	17
Projets	17

Introduction

La présente étude a été réalisée par Terra de septembre à décembre 2019 avec pour objectifs principaux de :

- ♦ Dresser l'état de l'art des technologies applicables à la reconnaissance et au tri des matières textiles.
- ♦ Faire le point sur les projets et développements en cours en Europe sur ce sujet et consolider leurs retours d'expériences.

L'ensemble de la documentation disponible a été analysée et complétée par une trentaine d'entretiens. Ces entretiens ont été conduits auprès de différents profils d'acteurs à l'échelle européenne :

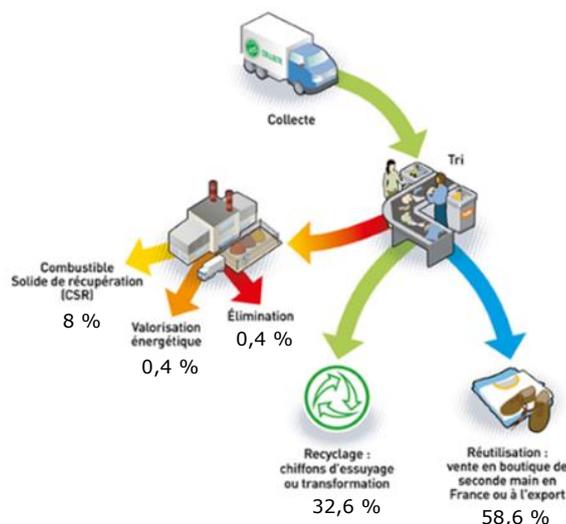
- ♦ Fournisseurs de technologies.
- ♦ Exploitants.
- ♦ Centres R&D.
- ♦ Porteurs de projet.

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 **réutilisation**. La part réutilisée représente 59% des TLC collectés. 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.



Devenirs possibles des textiles (Source : Rapport d'activité 2018 d'Eco-TLC)

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.
- ♦ 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.

Certains pays où étaient exportés une partie des textiles pour recyclage commencent également à fermer leurs frontières.

En conséquence, il apparaît 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.

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 répond pas à ces critères. Le présent rapport porte donc sur les technologies qui pourraient être plus adaptées.

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

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 du développement d'un nouveau système de reconnaissance de matières (les textiles dans notre cas), il est donc nécessaire de disposer au préalable d'une **bibliothèque d'échantillons** de matières. Ces échantillons :

- Correspondent aux catégories que l'on souhaite trier.
- Sont scannés avec le même type de spectromètre que celui qui sera utilisé par la suite pour le tri.

Ils constituent **la base de référence**.

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).

Il est nécessaire de disposer de plusieurs dizaines d'échantillons de référence représentatifs pour chaque catégorie à trier.

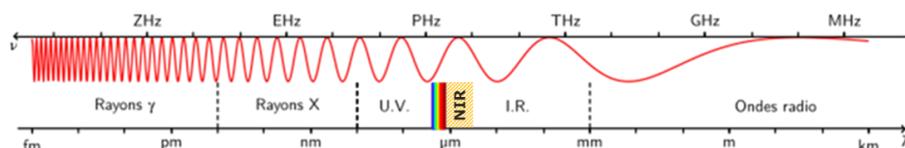
En résumé En résumé, le développement d'un système de reconnaissance automatisé de matière nécessite :

- Une bibliothèque d'échantillons de matières connues.
- Un spectromètre.
- Un modèle ou algorithme de reconnaissance.

Le proche infrarouge (NIR)

La **spectroscopie utilisant les ondes du proche infrarouge** semble la plus intéressante aujourd'hui pour la reconnaissance des matières textiles.

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 identifiés en Europe qui travaillent sur le tri matière des textiles (voir section suivante) utilisent exclusivement 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 Les matières textiles sont chimiquement **proches de celles des emballages**. Pour illustration, on retrouve du polyester dans les bouteilles PET et les papiers-cartons sont composés de cellulose.

Or, le proche infrarouge est utilisé depuis plusieurs dizaines d'années pour le tri des emballages. On le retrouve aussi pour le tri des plastiques ou des déchets d'équipements électriques et électroniques.

Les technologies de tri automatisées 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	15-25 k€
Machine de tri optique	150-200 k€

Retours d'expérience sur les textiles

De manière générale, les acteurs qui travaillent sur la reconnaissance des matières textiles avec des technologies en proche infrarouge sont **confiants** dans son potentiel pour réaliser **de manière efficace et performante le tri de textiles**.

Cependant, cette application est **encore en phase de développement**. En effet, il n'existe pas encore d'unités de tri matière à l'échelle industrielle en Europe (cf. partie projets ci-après).

Comme toute application récente, il se pose encore **des défis**.

Matières pures et mélanges La détection des **matières pures** (100% coton, 100% polyester, etc.) donne de **bons résultats** selon la majorité des acteurs interrogés.

L'**identification des mélanges** est par nature plus **complexe**. De plus, il existe des milliers de mélanges différents dans les textiles mis en marché.

Les différents projets européens se sont donc focalisés **en priorité sur la détection des matières pures**. Nous disposons de moins de retours d'expérience sur le sujet des mélanges. Il s'agit cependant d'un axe de développement en cours pour ces projets.

Un point important à noter est que même les systèmes qui ne visent à trier que des matières pures doivent pouvoir identifier un mélange comme une matière « inconnue ». Ils ne doivent pas l'identifier comme l'une des matières dominantes du mélange au risque de polluer la fraction pure triée.

Matières en faible proportion Le fait qu'une matière soit présente en **très faible proportion** (quelques pour cent) dans un mélange **complexifie son identification**. Ce cas est très fréquent avec l'**élasthanne** dans les textiles.

Certains acteurs semblent capables de distinguer une matière pure d'une matière contenant une faible quantité d'élasthanne (au-dessus de 3-5 %). Cela peut toutefois être impossible dans certains cas. Par exemple, si le fil d'élasthanne est guipé par du fil de coton.

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 que pour deux matières très différentes chimiquement, le coton et la viscose semblent différenciables en NIR. Nous pouvons cependant imaginer que les mélanges viscose/coton sont eux encore plus difficiles à différencier.

Technologie surfacique La spectroscopie **proche infrarouge 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 ». Mais certains revêtements ou certaines structures de fil ou de tissage pourraient aussi avoir une influence sur l'identification de la matière.

Couleurs sombres Au niveau des couleurs, certains **pigments sombres** (ex. du noir de carbone) peuvent **gêner ou rendre impossible la détection** de la matière en absorbant toutes les ondes dans le proche infrarouge.

Il apparaît cependant que contrairement aux plastiques, cet usage est moins fréquent dans le textile. Certaines matières noires sont en effet bien identifiables en NIR. Cela s'expliquerait 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 (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 toléré dans une fraction triée **dépend de son débouché** et de l'application visée. Le travail sur la qualité du tri doit donc se faire en partenariat avec les recycleurs/préparateurs/intégrateurs des matières triées et en tenant compte de leurs cahiers des charges.

Autres types de spectroscopies

Il existe un grand nombre de méthodes et de systèmes de reconnaissance des matières basées sur la spectroscopie en dehors du proche infrarouge (NIR).

Exemples Compte tenu de la composition chimique des matières textiles, d'autres technologies de reconnaissance matière devraient être applicables à ces matières.

Nous en citons ici quelques-unes :

- ♦ Raman.
- ♦ Téraherz.
- ♦ Moyen infrarouge (MIR).
- ♦ RMN (résonance magnétique nucléaire).

Limites Cependant, ces technologies paraissent aujourd'hui plus difficiles à envisager à court terme pour faire du tri de matières textiles.

Les principales limites sont les suivantes :

- ♦ Équipements beaucoup plus onéreux que l'infrarouge.
- ♦ Peu d'études et de recherches sur l'application de la technologie à la reconnaissance de matières textiles.
- ♦ Peu ou pas utilisées pour des applications de type tri de déchets.

Nous manquons donc encore d'information pour juger de la pertinence à moyen/long-terme de ces technologies dans une optique de tri matière des textiles, en complément ou en remplacement du proche infrarouge.

RFID

Une autre technologie commence à être explorée par certains acteurs (voir section suivante) pour réaliser du tri de textiles : la radio-identification ou **RFID** (Radio Frequency Identification).

Il s'agit d'une approche totalement différente de l'identification par spectroscopie proche infrarouge.

Principe La RFID est une méthode basée sur des **radio-étiquettes** permettant de **stocker** ou de récupérer des **informations** à distance.

Les étiquettes RFID sont **implantées sur un produit**. Elles contiennent généralement un identifiant qui permet de retrouver, grâce à une base de données externe, un certain nombre **d'informations sur le produit** (numéro de série, date de fabrication).

Les étiquettes RFID sont aujourd'hui 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.

Utilisation pour tri matières Cette technologie pourrait permettre le tri des textiles si tous les vêtements mis en marchés comportaient une étiquette RFID. Des **informations sur la composition (et la couleur) des textiles** seraient alors **incluses dans la puce** ou le système d'information lors de la fabrication.

En fin de vie, si le vêtement contient toujours la puce RFID, celle-ci pourrait être lue à distance avec un lecteur adapté. L'information de la puce RFID permettrait alors un tri fiable et rapide du textile par composition et couleur.

La technologie au niveau du tri matière serait très simple et peu coûteuse.

Défis Ainsi, il s'agit d'un paradigme complètement différent puisque l'information doit être incluse dans le produit lors de sa mise en marché.

Ceci implique de relever de nombreux défis pour son utilisation généralisée :

- ♦ Utilisation par toutes les marques.
- ♦ Protocoles RFID et formats d'information normalisés.
- ♦ Gestion des données.
- ♦ Durabilité de la puce RFID (résistance au lavage et à l'usure).
- ♦ Acceptabilité socio-culturelle.
- ♦ Etc.

Une solution à moyen ou long terme ? En résumé, il s'agit d'une **solution envisageable seulement à moyen/long terme**. En effet, les vêtements en fin de vie qui sont collectés par la filière TLC dans les dix prochaines années :

- ♦ Ont pour la plupart déjà été mis en marché.
- ♦ Ne contiennent pas d'étiquettes RFID adaptées au tri.

Technologies complémentaires

Lors de la réalisation de cet état de l'art sur les technologies de tri et de reconnaissance applicables aux déchets, nous avons identifié d'autres technologies. Celles-ci pourraient compléter un tri matière par proche infrarouge.

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 le choix du nombre de 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**.

Ce type de technologies pourrait être envisagé en 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 blanc en coton).

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 pourraient permettre d'identifier et de séparer d'éventuels **points durs métalliques** dans un flux de textiles.

Reconnaissance des substances interdites 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.

Si la filière de recyclage des textiles se développe à grande échelle, l'utilisation de telles technologies pourrait être envisagée pour les textiles.

Conclusion sur la technologie

Le tri des matières textiles en est aujourd'hui **encore au stade de développement** puisqu'il n'est pas encore réalisé de manière opérationnelle à grande échelle en Europe. On observe toutefois :

- ♦ Des **avancées significatives** depuis deux ans.
- ♦ Une prise de conscience de l'importance du sujet.
- ♦ La volonté de certains opérateurs de s'engager dans des investissements.

À court terme

La technologie de reconnaissance matière la plus adaptée aux matières textiles dans l'optique d'un tri, semble être **la spectroscopie proche infrarouge (NIR)**.

Celle-ci est en effet adaptée aux matières textiles, relativement abordable et surtout elle est déjà mature et bénéficie d'un retour d'expérience important sur le tri d'autres matières à recycler.

À moyen ou long terme

En complément ou en remplacement, d'autres technologies parmi celles mentionnées pourraient être utilisées.

Projets et développements en cours sur le tri matière des textiles en Europe

Cartographie des principaux projets

Cette étude a permis d'identifier plusieurs projets en Europe qui travaillent déjà sur la question du tri matière des textiles.

Les projets présentés ci-dessous sont ceux dont des informations sont disponibles publiquement et qui semblent les plus avancés.



Principaux projets de tri matière identifiés en Europe et fournisseurs de technologies de reconnaissance matière associés (en jaune).

SIPTex

Le projet SIPTex (Swedish Innovation Platform for Textile sorting) est un projet suédois de tri matière des textiles.

Pays	Suède	
Techno	NIR + couleur	
Fournisseur	TOMRA	
Porteur de projet	IVL (institut de recherche) Sysav (opérateur gestion de déchets)	
Autres partenaires	Une vingtaine de partenaires : marques (H&M, Ikea, etc.), trieur (Boer), recycleur (re:newcell), agence de l'environnement, agence des produits chimiques, etc.	
Soutiens	Soutien de l'agence de l'innovation suédoise (Vinnova) : <ul style="list-style-type: none"> ♦ SIPTex 2 : 0,8 M€. ♦ SIPTex 3 : 2 M€. 	

Le projet SIPTex a démarré depuis 2015 avec la réalisation d'une **étude préliminaire** (SIPTex 1). Il s'est ensuite poursuivi de 2016 à 2018 (SIPTex 2) avec la construction d'une **unité pilote** à Avesta qui a fonctionné pendant 12 mois. Une **machine de tri optique de TOMRA** a été utilisée pour ces tests.

Depuis 2019, le projet a pris une nouvelle envergure avec la construction d'une **unité de tri matière des textiles à l'échelle industrielle** à Malmö (SIPTex 3). Celle-ci doit être opérationnelle à l'été 2020 et doit atteindre progressivement une **capacité de 16 000 tonnes par an**. L'unité de tri est soutenue les deux premières années par l'agence de l'innovation suédoise, mais a pour objectif d'être rentable à moyen terme.

Fibersort

Le projet Fibersort est un projet européen Interreg qui vise à **développer la machine de tri Fibersort**. Il a aussi pour objectif de communiquer sur le sujet du recyclage du textile et de réunir différentes parties prenantes.

Pays	Pays-Bas	
Techno	NIR + couleur	
Fournisseur	Valvan	
Porteur de projet	Circle Economy	
Autres partenaires	Trieur (Smart Fibersorting, filiale de Wieland Textiles), collecteur (ReShare, armée du salut) et recycleurs (Worn Again, Procotex).	
Soutiens	Subvention de 1,9 M€ de l'UE pour un budget total de 3,38 M€	

Le projet a démarré en 2016. Il doit se terminer en mars 2020 avec la présentation publique de la version finale du pilote installé à Wormerveer (banlieue d'Amsterdam).

La machine de Valvan se compose :

- ♦ D'un spectromètre en début de ligne qui identifie la matière et la couleur.
- ♦ D'un long tapis avec des bacs de tri disposés le long de celui-ci et un système de soufflage latéral.

La ligne pilote peut trier actuellement 45 catégories (matières/couleurs) différentes. Elle a été améliorée progressivement avec l'installation de robots pour l'alimentation automatique de la ligne, l'ajout du tri couleur et l'amélioration de l'identification des matières. Ce projet prévoit également par la suite d'identifier la structure des textiles (tissage/tricotage).

Telaketju/LSJH

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

Pays	Finlande	
Techno	NIR + couleur	
Fournisseur	Spectral Engines	
Porteur de projet	LSJH (opérateur public de gestion des déchets)	
Autres partenaires	Institut de recherche, universités, collecteurs, recycleurs, etc.	
Soutiens	Multiples projets avec différents financements. Subvention de 1,5 M€ de Business Finland pour l'unité de tri de LSJH.	

Parmi les divers projets Telaketju, l'université des sciences appliquées de Lahti avait construit et réalisé des tests sur une mini ligne de tri automatisée (projet REISKAtex).

En utilisant cette expérience, l'opérateur LSJH a désormais pour projet de **construire une unité de tri des textiles** dans le sud-ouest de la Finlande. LSJH travaille pour cela avec les capteurs de Spectral Engines. Ils ont développé un modèle de reconnaissance des textiles en 2019. Ils prévoient d'utiliser dans un premier temps le spectromètre pour **assister un tri manuel** et réaliser des tests. Dans un second temps, le capteur sera **intégré dans une machine de tri automatisée**.

À plus long terme, et notamment pour répondre à l'obligation européenne de collecte séparée des textiles en 2025, ils souhaiteraient étendre leur système de tri matière à l'ensemble des opérateurs régionaux de gestion des déchets en Finlande.

RESYNTEX

Le projet RESYNTEX est un important projet multipartenaires et soutenu par l'UE qui vise à développer le **recyclage chimique** de plusieurs matières textiles. Ce projet comprenait une partie tri matière portée par Soex.

Pays	Allemagne	
Techno	NIR + couleur	
Fournisseur	LLA Instruments	
Porteur de projet	Soex (opérateur de tri des textiles)	
Autres partenaires	Chimistes, universités, marques, etc.	
Soutiens	Budget total RESYNTEX : 11 M€	

Au cours du projet RESYNTEX, un prototype de petite ligne de tri avec tapis et spectromètre a été développé. Il s'agissait d'un équipement de test et les parties alimentation et séparation des matières n'étaient donc pas automatisées.

Le projet RESYNTEX s'est terminé au printemps 2019. Soex poursuit depuis le développement du prototype de son côté.

Autres projets

Les projets présentés ci-dessus ont la particularité d'être en partie soutenus par des organismes nationaux ou de l'Union Européenne. Un certain nombre d'informations est donc disponible publiquement à leur sujet.

Il **existe certainement d'autres acteurs** qui développent des projets de tri matière des textiles en Europe, et ce de façon plus confidentielle.

Nous pouvons toutefois citer ici, l'opérateur de tri espagnol **Koopera** qui a des projets de tri matière et est soutenu par la région du Pays basque espagnol. Il utiliserait des équipements du fabricant allemand **Iosys** et de son distributeur GUT.

Projets sur la RFID

Plusieurs projets européens explorent la possibilité d'utiliser **la technologie RFID** présentée précédemment pour le tri des matières textiles.

Ces projets visent notamment à répondre aux défis mentionnés plus haut.

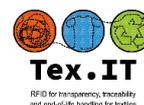
Decathlon/4RFID

En France, Decathlon utilise largement les puces RFID dans toute sa chaîne logistique. Il porte actuellement le projet 4RFID qui a été retenu lors du Challenge Innovation 2018 d'Eco TLC.



Tex.IT

Le projet suédois **Tex.IT** réunit une vingtaine d'acteurs suédois et le groupe Boer. Il est soutenu par l'agence suédoise de l'innovation et porte sur la période 2018-2021.



Autres

D'autres acteurs en Europe explorent les possibilités d'utiliser la RFID pour fournir des informations aux clients qui sont de plus en plus demandeurs de traçabilité sur l'origine et la composition des vêtements. Certains projets étendent ensuite cet usage au tri des vêtements en fin de vie.

Nous pouvons notamment citer la start-up berlinoise **circular.fashion** qui propose des **étiquettes RFID à intégrer aux vêtements**. Celles-ci apportent des informations sur le vêtement à l'utilisateur (production, matières, instruction d'entretien, etc.) et permettent d'assurer la « reverse logistic », la réutilisation ou le tri et le recyclage du vêtement.

Fournisseurs de technologies

Identification de fournisseurs de technologies

Cette étude a permis d'**identifier des fournisseurs de technologies de reconnaissance ou de tri** applicables aux matières textiles.

Afin de mieux les faire connaître auprès des acteurs français de la filière TLC, nous en présentons ici certains (par ordre alphabétique). Ils possèdent des profils variés, du fait de leur positionnement ou du type d'équipement proposé.

Ces fournisseurs ont été sélectionnés en raison de leur participation connue à des projets sur les matières textiles. Cette liste n'est pas exhaustive. Il existe en effet un grand nombre de fournisseurs de spectromètres ou de machines de tri s'appuyant sur la technologie proche infrarouge en Europe.

Iosys

Iosys est l'entreprise du Dr. Timur Seidel qui conçoit et fait fabriquer des spectromètres NIR, principalement pour la reconnaissance des plastiques.

Son produit phare est le mIRoGun, un spectromètre portatif. Il dispose d'une base de données standard pour les textiles que son concepteur est prêt à améliorer à la demande.

La société GUT s'occupe de la commercialisation des appareils Iosys.

Pays	Allemagne	
Technologie	NIR	
Type d'équipement	Spectromètres de laboratoire, portatifs ou petites lignes de tri avec bases de données standards.	
Lien avec les textiles	Équipements utilisés par Kooperera en Espagne. Projets sur des textiles hors habillement.	
Contact	Site : http://www.gut-stuttgart.de/fr.html Distributeur : <ul style="list-style-type: none"> ◆ Nom : GUT GmbH ◆ Interlocuteur : Georg Goetzelmann (francophone) ◆ Email : info@gut-stuttgart.de 	

LLA Instruments

LLA Instruments est un fabricant allemand basé à Berlin spécialisé dans les spectromètres et l'imagerie hyperspectrale pour des applications industrielles. Ils fournissent notamment leurs solutions à des intégrateurs qui fabriquent des machines de tri optique.

La technologie de LLA Instruments est utilisée sur la ligne pilote de Soex qui a été développée lors du projet RESYNTEX.

Pays	Allemagne	
Technologie	NIR + couleurs	
Type d'équipement	Spectromètres et caméras hyperspectrales. Des fabricants de machines de tri optique intègrent ces solutions.	
Lien avec les textiles	Technologie utilisée dans le projet RESYNTEX.	
Contact	Site : https://www.lla-instruments.com/ Distributeur français : <ul style="list-style-type: none"> ◆ Nom : Polytec ◆ Email : e.dzamastagic@polytec.fr 	

Pellenc ST

Pellenc ST est une entreprise française basée en Provence.

Pellenc ST conçoit, fabrique et commercialise des machines de tri pour les déchets. Ses machines sont notamment présentes dans un grand nombre de centres de tri des emballages en France.

Elles sont constituées :

- ♦ d'un tapis à haute vitesse (plusieurs mètres par seconde),
- ♦ d'un spectromètre qui scanne les matières sur la largeur du tapis,
- ♦ de buses d'éjection en bout de tapis qui séparent les matières en 2 ou 3 catégories.

Pays	France	
Technologie	NIR + couleurs	
Type d'équipement	Machines de tri optique	
Lien avec les textiles	A réalisé des tests en 2013 sur les textiles.	
Contact	Site : https://www.pellencst.com/fr/ Contact : <ul style="list-style-type: none"> ♦ Interlocuteur: Marc Minassian (Directeur commercial France) ♦ Email: m.minassian@pellencst.com 	

Spectral Engines

Spectral Engines est un fabricant et concepteur finlandais de capteurs. Ses technologies sont issues de l'institut de recherche finlandais VTT.

Il développe des solutions sur mesure avec ses clients autour de ses capteurs. Il les fournit également à des intégrateurs qui vont les utiliser dans leurs machines (de tri par exemple).

Spectral Engines travaille notamment avec LSJH en Finlande pour le tri matière des textiles (dans le cadre des projets Telaketju).

Pays	Finlande	 MEMBER OF THE NYNOMIC GROUP
Technologie	NIR + couleurs	
Type d'équipement	Capteurs	
Lien avec les textiles	Technologie utilisée par LSJH pour du tri de textile en Finlande. Capteurs intégrés dans des machines à laver avec reconnaissance de la matière textile.	
Contact	Site : https://www.spectralengines.com/ Distributeur français : <ul style="list-style-type: none"> ♦ Nom : Acal BFi ♦ Interlocuteur : Grégoire Saget ♦ Email: gregoire.saget@acalbfi.fr ♦ Site : https://acalbfi.com/fr/ 	

TOMRA

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

Ils s'intéressent aux textiles depuis 2015 et c'est notamment une machine TOMRA qui a été utilisée pendant 12 mois par le projet SIPTex 2.

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

Pays	Norvège	
Technologie	NIR + couleurs	
Type d'équipement	Machines de tri optique	
Lien avec les textiles	Équipements utilisés dans le projet SIPTex 2. Plusieurs projets confidentiels sur les textiles.	
Contact	Site : https://www.tomra.com/fr-fr/sorting/recycling Filiale française : ♦ Interlocuteur : Sylvain Merhand ♦ Email: sylvain.merhand@tomra.com	

Valvan

Valvan est un constructeur belge qui fabrique des machines pour la mise en balle 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. Ce développement se fait en partie dans le cadre du projet européen du même nom.

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.

Le Fibersort diffère donc des machines de tri optique classiques de déchets. Il trie un grand nombre de catégories avec un seul spectromètre. La contrepartie étant une cadence plus faible (environ 1 pièce par seconde) et une grande longueur de tapis.

Pays	Belgique	
Technologie	NIR + couleurs	
Type d'équipement	Machines de tri optique	
Lien avec les textiles	Équipement développé dans le cadre du projet Fibersort.	
Contact	Site : http://www.valvan.com/ Contact : ♦ Interlocuteur : Maurits Vandeputte (francophone) ♦ Email: maurits.vandeputte@valvan.com	

Enseignements tirés des projets européens

Technologie utilisée Si l'on met à part les projets explorant la technologie RFID, tous les projets de tri matière identifiés en Europe utilisent **la technologie proche infra-rouge (NIR) pour la reconnaissance des matières textiles**, couplée à un capteur de **reconnaissance des couleurs**.

Un tri plus ou moins automatisé La plupart des projets visent une automatisation plus ou moins poussée des différentes étapes du tri des matières textiles (alimentation, identification, séparation). Le niveau d'automatisation peut aussi être lié au stade d'avancement du projet.

Plusieurs visions du tri matière On observe cependant plusieurs visions du tri automatisé des matières textiles :

Modèle	Flux trié ¹	Capteur/Catégories	Exemples	Cadence	Invest. ²
Automatisé	Pièces entières	A : une longue machine avec de multiples catégories de tri	Fibersort	+ / ++	++
	Chiquettes	B : plusieurs machines triant chacune 2 ou 3 fractions	SIPTex ; centres de tri emballages	+++	+++
		Plutôt cas B	--	+++	+++
Semi-automatisé	Pièces entières	Spectromètre fixe ou portable pour tri manuel en multiples catégories	--	+	+

1) Flux entrant. 2) Investissement par ligne

Des projets multiacteurs

Les projets majeurs de tri matière textile en Europe réunissent généralement plusieurs typologies d'acteurs. Nous vous présentons ces acteurs ci-après.

Porteur de projet Le porteur de projet, chez qui l'unité pilote ou industrielle est installée, est généralement un centre de tri de textile existant (tri pour réutilisation) ou un opérateur de gestion des déchets plus classique.

Fournisseur de technologie La partie identification des matières ou automatisation du tri nécessite des compétences techniques avancées et les fournisseurs de ces technologies sont donc des partenaires essentiels dans ces projets.

Recycleurs/Intégrateurs Les recycleurs et intégrateurs potentiels des matières textiles sont aussi régulièrement présents dans ce type de projet puisque c'est en fonction de leurs exigences et de leur besoin que le niveau et la qualité du tri doivent être adaptés. Le tri matière est en effet indissociable des débouchés en aval.

Marques Les marques de textiles sont de plus en plus intéressées par ce type de projet, afin de s'assurer d'une meilleure valorisation de leurs produits en fin de vie et un approvisionnement en matières textiles recyclées. Elles peuvent aussi aider à la connaissance du gisement de matières textiles.

Appui technique ou organisationnel Enfin, il est courant que ces projets soient appuyés par des bureaux d'études, université ou centres de R&D pour apporter une expertise technique supplémentaire ou assurer la coordination du projet.

Soutien financier des pouvoirs publics Tous les projets cités font l'objet de soutiens significatifs des pouvoirs publics. Une expérimentation de tri matière ambitieuse requière généralement un soutien d'un ou plusieurs millions d'euros. Les partenaires financiers les plus courants sont :

- ♦ L'Union européenne.
- ♦ Les autorités régionales.
- ♦ Les agences d'innovation ou de l'environnement.

Des projets ambitieux de plusieurs années

Certains des projets présentés sont très ambitieux et ont atteint un stade de développement avancé.

Plusieurs phases Ces avancées ont toutefois nécessité plusieurs années de développement et les projets passent en général par différentes étapes.

Une étude préliminaire permet de cadrer précisément le projet en amont :

- ♦ Type de tri.
- ♦ Matière visées.
- ♦ Etc.
- ♦ Taille du projet.
- ♦ Recherche de partenaires.

Pilote L'étape du pilote est indispensable, elle peut permettre en particulier de :

- ♦ Construire une bibliothèque d'échantillons de référence correspondants aux catégories à trier et définir ces catégories de tri.
- ♦ Calibrer les équipements, améliorer les modèles de reconnaissances matières, définir le niveau de qualité adéquat, etc.
- ♦ Tester les équipements en amont et en aval de l'identification de la matière
- ♦ Vérifier l'efficacité et la fiabilité du tri par des prélèvements et des tests en laboratoire sur les matières triées.
- ♦ Définir le modèle économique.

Industrialisation Enfin, une fois la technologie au point, certains projets prévoient la construction de lignes de tri à l'échelle industrielle avec un niveau d'automatisation élevé. Un travail important sur les débouchés de ces unités de tri est nécessaire pour assurer leur rentabilité économique.

Conclusion

Technologies

Le **tri des matières textiles** en vue de leur recyclage demande de disposer de technologies de reconnaissance de ces matières.

La **spectroscopie proche infrarouge (NIR)** semble **la plus pertinente** à court terme. En effet, tous les projets identifiés en Europe sur le tri des matières textiles l'étudient. Elle est aussi utilisée depuis des années pour le tri des emballages, des matières proches chimiquement des textiles.

Les matières textiles présentent toutefois **des freins** à leur bonne identification, comme par exemple :

- ♦ l'existence de milliers de mélanges différents,
- ♦ la présence en très faibles proportions de certaines matières (ex. de l'élasthanne),
- ♦ l'utilisation de certains pigments pouvant perturber l'identification,
- ♦ la structure 3D de certains vêtements (ex. : multicouches, enduction, etc.).

Même si des progrès significatifs ont été accomplis ces deux dernières années, le tri optique des matières textiles en est encore au **stade de développement**. En effet, il n'existe pas encore d'unité de tri matière des textiles à l'échelle industrielle en Europe.

À plus long terme, la technologie **RFID**, qui présente une approche complètement différente, pourrait être utilisée pour le tri des textiles en fin de vie. D'autres technologies de reconnaissance par spectroscopie pourraient aussi être envisagées selon l'état de leur développement sur les matières textiles.

Projets

Plusieurs **projets en Europe** s'intéressent au tri des matières textiles. Les principaux projets connus ont été présentés :

- ♦ SIPTex (Suède)
- ♦ Fibersort (Pays-Bas)
- ♦ Telaketju/LSJH (Finlande)
- ♦ RESYNTEX (Allemagne)

L'analyse de ces projets européens a fait ressortir les points suivants :

- ♦ Des projets qui sont **multiacteurs** avec porteurs de projet, fournisseurs, recycleurs, marques, financeurs, etc.
- ♦ La reconnaissance des matières (NIR) est généralement couplée à celle des **couleurs**.
- ♦ Il est important de constituer une bibliothèque fiable et exhaustive **d'échantillons de références** pour une bonne reconnaissance matière.
- ♦ Des **financements publics** sont nécessaires pour ces projets dont les budgets sont supérieurs au million d'euros.
- ♦ Plusieurs années peuvent être nécessaires et la **phase pilote** est essentielle.
- ♦ La **prise en compte des débouchés** est indispensable pour définir les catégories et la qualité du tri, ainsi que pour s'assurer de la rentabilité d'une exploitation future.
- ♦ Il existe différentes approches quant au **niveau d'automatisation** du tri matière.

Enfin, des fournisseurs de technologies de reconnaissance et de tri matière applicables aux textiles ont été identifiés :

- ♦ Iosys/GUT
- ♦ LLA Instruments
- ♦ Pellenc ST
- ♦ Spectral Engines
- ♦ TOMRA
- ♦ Valvan