



ETAT DE L'ART DES TECHNOLOGIES D'IDENTIFICATION ET DE TRI DES DECHETS

Synthèse

Octobre 2010

Etude réalisée pour le compte de l'ADEME par **AJI-Europe** – Christian Delavelle
(contrat n°09 02 C0076)

Coordination technique : Catherine Marioge – Service Filières REP et Recyclage –
Direction Consommation Durable et Déchets – ADEME Angers

SOMMAIRE

1.	OBJECTIFS	2
2.	CHAMP DE L'ÉTUDE ET MOYENS UTILISÉS	2
3.	LES TECHNOLOGIES DE TRI ET DE CONTRÔLE QUALITÉ	3
4.	L'OFFRE DE TECHNOLOGIES DE TRI	7
5.	LES APPLICATIONS DES TECHNOLOGIES DE TRI DES DÉCHETS	7
6.	ÉTAT DE LA R&D SUR LES TECHNOLOGIES DE TRI	8
7.	PISTES À PROMOUVOIR POUR LA R&D	8

1. OBJECTIFS

L'étude réalisée pour le compte de l'ADEME entre mars et juillet 2010 dresse un état des lieux de la situation existante des technologies de tri des déchets et analyse leurs perspectives de développement à moyen terme. Elle débouche sur un diagnostic des principaux blocages au développement des technologies de tri et sur l'identification des voies / technologies qui semblent présenter le meilleur potentiel. L'étude s'attache à identifier des technologies « en rupture » susceptibles de modifier les possibilités de tri automatique sur le moyen/long terme (2020.....voire au delà). Il s'agit en particulier de nourrir les réflexions sur la configuration du « Centre de tri du futur » en tenant compte du fait que l'on évoluera peut-être, à ces horizons, vers des collectes moins sélectives qu'actuellement.

Certaines des technologies de tri ici présentées, dont l'utilisation permettra l'accès à des gisements jusque là peu ou pas valorisés, revêtent un caractère stratégique croissant pour la France, dans un contexte de tensions sur les matières premières. Ces technologies, associées à des procédés mécaniques (exemple : broyage), peuvent permettre de reconstituer des qualités de matière avec une purification / décontamination conforme aux évolutions des cahiers des charges industriels. Les applications prioritaires pour un développement pourront porter sur des déchets comportant des métaux et ou des terres rares (cartes électroniques, mâchefers d'incinération...), matières sur lesquelles les tensions sont aujourd'hui particulièrement sensibles, et des plastiques, matériau dont la valorisation, très dépendante de la qualité du tri effectué en amont, reste à ce jour bien en deçà de son potentiel. "

Cette étude sera mise à jour semestriellement pendant trois ans.

2. CHAMP DE L'ETUDE ET MOYENS UTILISES

Est incluse dans le champ de l'étude toute technologie par laquelle un automate (système fixe ou portatif) mesure et traite un signal, puis l'appareil (ou la personne qui utilise le système portatif) prend la décision de rejeter ou de garder le produit mesuré, que ce soit au niveau d'une ligne de tri ou pour du contrôle qualité (en entrée comme en sortie).

Sont exclues du champ de l'étude :

- ✓ Les technologies qui rejettent automatiquement le produit, sans mesure de signal, telles que tri balistique, électrostatique, magnétique, thermique, mécanique et hydraulique ;
- ✓ Le tri manuel ;
- ✓ Les technologies destructives (à l'exception de la spectrométrie d'émission optique), par exemple le processus de contrôle du contenu en produits chlorés dans un échantillon.

Les pays / zones géographiques suivants ont été analysés :

- ✓ Europe
- ✓ Etats-Unis
- ✓ Canada
- ✓ Japon

Les résultats de cette étude s'appuient sur la valorisation des principales sources publiées au niveau mondial relativement aux technologies de tri (presse professionnelle, sites Internet, études antérieures...) et sur 43 entretiens complémentaires réalisés principalement auprès d'experts, d'industriels utilisateurs de systèmes de tri, de concepteurs et constructeurs d'équipements de tri et de centres, laboratoires de recherche et pôles de compétitivité en France et à l'étranger.

3. LES TECHNOLOGIES DE TRI ET DE CONTROLE QUALITE

8 technologies « maîtrisées » ont été recensées au plan industriel sur des systèmes de tri.

		Sigle
1	Rayons X par transmission	XRT
2	Rayons X par fluorescence	XRF
3	Induction « pilotée » (dont l'induction magnétique tomographie planaire)	IND
4	Spectrométrie d'émission optique	SEO
5	Spectrométrie proche infrarouge	NIR
6	Thermographie infrarouge moyen	MIR
7	Analyse de la couleur (caméra ou spectrocolorimètre)	VIS
8	Reconnaissance de forme	FOR

5 technologies « en développement » ont été recensées, pour lesquelles les applications de tri des déchets en continu n'ont pas atteint le stade industriel. Certaines d'entre elles, comme la LIBS, en sont au stade de projets pilotes et pourraient émerger à court terme au plan industriel. Pour d'autres (par exemple les marqueurs dans les polymères ou les ultra sons) la R&D se situe à un niveau plus amont et l'horizon d'émergence d'applications industrielles pour le tri des déchets semble être le moyen/long terme.

	Sigle
Spectroscopie de plasma induit par laser	LIBS
Incorporation de traceurs dans les polymères	MAR
Spectroscopie terahertz	TER
Ultra-sons	ULTRA
Spectroscopie Raman	RAM

Les technologies maîtrisées

Technologie	Niveau de développement	Détection	Laboratoire (L) Portatif (P) Continu (C)	Principaux développements (R&D)
Rayons X par transmission (XRT)	Très utilisée	Détecte la matière au niveau de l'atome. Convient bien à la détection des métaux. Reconnaît certains atomes spécifiques comme le brome (détection des retardateurs de flamme).	L/P/C	Détecteurs « multi-énergie » pour améliorer l'identification de métaux ayant des densités proches.
Rayons X par fluorescence (XRF)	Souvent utilisée	Composition atomique élémentaire et concentration massique de chaque élément. Analyse fine de la composition d'alliages métalliques et tri d'alliages contenant des métaux avec des teneurs différentes.	L/P/C	- Efficacité du tri - Elargissement à de nouvelles applications.
Induction (IND)	Très utilisée	Distingue les métaux des autres matériaux. Tri des ferreux et des non ferreux (machines de tri en cascade). Plus sélective et plus souple que la technologie de tri par courant de Foucault.	C	Tri des pièces métalliques légères et des fines « non ferreux » contenues dans les emballages issus de la collecte sélective.
Spectrométrie d'émission optique (SEO)	Très utilisée	Analyse élémentaire (composition en masse) d'échantillons métalliques solides (alliages, aciers, produits contenant des inclusions non métalliques indésirables). Méthode destructive	L/P	- Analyse des basses teneurs - Amélioration de la justesse et des limites de détection.
Spectrométrie proche infrarouge (NIR)	Très utilisée	Reconnaît les matériaux (polymères entre eux, papier, bois)	L/P/C	- Reconnaissance des produits noirs - Extension du champ d'application au tri de nouveaux matériaux.

Spectrométrie infrarouge moyen (MIR)	En démarrage	Tri des papiers et cartons selon leur grammage. Tri des « non papiers » comme les plastiques, les ELA et les métaux.	P/C	- Nouvelles applications de tri (plastiques et caoutchoucs noirs, plastiques contenant des retardateurs de flamme bromés) - Miniaturisation - Réduction du temps de mesure
Analyse de la couleur par caméra ou spectrocolorimètre (VIS)	Très utilisée	Tri des matières plastiques par couleur (par exemple le PET), des papiers cartons, du verre, de certains métaux.	L/P/C	Amélioration du traitement du signal.
Reconnaissance de forme (FOR)	Peu utilisée	Reconnaissance des fils et câbles dans un mélange d'objets métalliques, des têtes de cartouches de mastic au silicone etc.	P/C	-Augmentation des débits de tri -Capacité et vitesse de traitement des données -Stabilisation des critères de forme.
Induction magnétique tomographie planaire (PMIT)	En démarrage	Tri des métaux conducteurs ferreux (dont les inox) et non ferreux. Convient bien au tri des petits morceaux métalliques dans les mâchefers d'incinération. Extraction des métaux dans les résidus de broyage (en combinaison avec un système à courant de Foucault), dans le RDF, dans les déchets de bois et dans le verre usagé.	C	

Les technologies en développement

Technologie	Horizon de développement	Détection	Laboratoire (L) Portatif (P) Continu (C)	Principaux développements (R&D)
Spectroscopie de plasma induit par laser (LIBS)	Court/moyen terme	Nature d'un matériau et sa composition : métaux, semi-conducteurs, verres, tissus biologiques, matériaux isolants, plastiques, etc. Peut effectuer une analyse de l'intérieur du produit à trier (analyse stratigraphique d'un matériau) mais ce point est controversé.	L/P	<ul style="list-style-type: none"> - Réduction des temps d'analyse et de traitement des informations. - Augmentation des cadences de mesure, - Amélioration de la fiabilité des mesures - Réduction du coût des capteurs - Miniaturisation - Tri en ligne
Incorporation de traceurs dans les polymères (TRA)	Horizon d'émergence : 5 à 20 ou 30 ans	Technologie utilisée pour des applications de tri des métaux, en biologie et en médecine. Pas utilisée industriellement pour le tri des déchets.	C	<p>Améliorer la rapidité et la qualité du tri des polymères contenus dans les VHU</p> <p>Extension à d'autres polymères et d'autres secteurs industriels tels que les DEEE et les emballages (en particulier pour le tri de déchets broyés).</p>
Spectroscopie Terahertz (THz)	Moyen/long terme.	Analyse la structure moléculaire d'un produit. La caractérisation des produits peut atteindre un niveau très fin, comme la différenciation de deux isomères. Les applications existantes concernent principalement le médical et la sécurité (aéroports) pour la détection de produits dangereux. Pas d'application dans le domaine du tri des déchets.	C	Améliorer la stabilité et la précision des sources d'émission.
Ultra-sons (ULT)	-	Tri dans l'industrie alimentaire Pas utilisée pour les déchets.	C	<p>Détection des corps sombres</p> <p>Production de polyoléfines de haute pureté à partir de déchets.</p>
Spectroscopie Raman (RAM)	-	Caractérise la composition moléculaire et la structure d'un matériau. Pas d'application de tri des déchets en continu.	L	Reconnaissance des matériaux sombres et des bouteilles multicouches.

4. L'OFFRE DE TECHNOLOGIES DE TRI

L'offre de technologies de tri des déchets en continu est caractérisée par la prédominance des concepteurs / fabricants américains et allemands, sur l'ensemble de l'éventail des technologies.

Au plan mondial, une trentaine d'acteurs significatifs ont été recensés, dont une vingtaine occupent une place centrale sur ce marché. Aucun fabricant japonais d'envergure internationale n'a été identifié.

Au plan mondial, on note depuis environ 5 ans une multiplication significative du nombre des acteurs et des applications dans le domaine du tri automatique des déchets.

Principaux fabricants identifiés (systèmes de tri en continu)

Technologie	XRT	XRF	IND	NIR	MIR	VIS	NIR + VIS	NIR VIS + IND	FOR
USA	NRT	Innov'X Austin	MSS	MSS NRT		NRT Satake	MSS NRT Green Machine		
Allemagne	S+S	Steinert Mogensen	Steinert Exsor (PIMT)	SEA/Hamos S+S Steinert		S+S Steinert Mogensen Rheumum Binder	BT Wolfgang Binder LLA		Steinert
France			Pellenc ST	Pellenc ST	Pellenc ST	Pellenc ST	Pellenc ST	Pellenc ST	
Autres	Best Ti Tech	BT Wolfgang Binder	Ti Tech	Ti Tech Eagle Vizion		Ti Tech	Ti Tech Best Eveready Rofin	Ti Tech	Ti Tech

5. LES APPLICATIONS DES TECHNOLOGIES DE TRI DES DECHETS

29 applications des technologies de tri ont été recensées, réparties sur neuf gisements de déchets et de produits en fin de vie :

- Ordures ménagères résiduelles
- Emballages (ménagers et industriels)
- Verre (emballage)
- DEEE domestiques et professionnels
- VHU
- Déchets de construction et démolition
- Métaux en mélange
- Textiles
- Bois

Aucune application de tri n'a été identifiée pour les gisements « BPHU » et « avions en fin de vie ».

Les gisements pour lesquels les applications sont les plus nombreuses sont clairement les emballages, les DEEE et les VHU, et dans une moindre mesure les ordures ménagères résiduelles.

- ✓ Le cas du verre est spécifique puisque les besoins de tri sont circonscrits aux deux problématiques du tri couleur et de la séparation des indésirables (infusibles) ;
- ✓ Dans le cas des déchets de métaux, l'application « Tri des métaux en mélange » recouvre en pratique de nombreuses sous-applications du tri ;
- ✓ En revanche, les déchets de construction / démolition, les déchets textiles et les déchets de bois comptent peu d'applications de tri ;

Dans le cas des technologies maîtrisées, le NIR, le XRT et les combinaisons du NIR, du VIS et de l'induction représentent le plus grand nombre d'applications. Le NIR, le VIS et leurs combinaisons représentent à elles seules 23 des 56 couples recensés. Pour les technologies en développement, la LIBS et les marqueurs semblent porteurs d'applications nombreuses.

6. ETAT DE LA R&D SUR LES TECHNOLOGIES DE TRI

La R&D relative aux technologies de tri des déchets est extrêmement dynamique et foisonnante au plan mondial. Dans la majorité des pays, l'innovation est portée par la R&D réalisée en interne par les concepteurs / fabricants de systèmes de tri. Leurs efforts portent à la fois :

- ✓ sur le développement de combinaisons de technologies existantes
- ✓ sur l'identification de nouvelles applications à partir de technologies existantes
- ✓ sur le développement de nouvelles technologies.

Parallèlement, les programmes de recherche financés en partie par des budgets publics (nationaux ou communautaires) sont plutôt consacrés aux technologies dont l'horizon d'émergence d'applications industrielles est plus lointain. Ces projets associent des concepteurs / fabricants de systèmes de tri et des laboratoires et centres de recherche. En France, les projets s'inscrivent dans deux programmes :

- ✓ « Eco-Technologies » financé par le Ministère de l'Industrie ou instruits par OSEO et l'ADEME selon leurs procédures propres de financement, pour un montant total de 27,2 millions d'euros en 2009.
- ✓ ECOTECH, de l'ANR, pour un montant total de 12 millions d'euros.

Au-delà des innovations destinées à mettre au point de nouvelles technologies de tri et de nouvelles applications, la R&D cible également des améliorations transversales susceptibles de s'appliquer à plusieurs technologies de tri. Cinq axes d'amélioration ont été recensés et sont décrits en détail dans les recommandations.

- ✓ Améliorer l'efficacité des capteurs multifonctions
- ✓ Optimiser la phase d'éjection des produits
- ✓ Réduire la consommation d'air comprimé
- ✓ Améliorer la flexibilité des systèmes de tri
- ✓ Développer le couplage homme-machine.

7. PISTES A PROMOUVOIR POUR LA R&D

Les objectifs du Grenelle de l'Environnement

L'article 46 de la loi de programmation du 3 août 2009, repris dans le Plan Déchets 2009-2012, définit les objectifs de recyclage du Grenelle de l'Environnement au plan national. Le tableau ci-dessous compare ces objectifs avec la situation actuelle. On constate que l'écart à combler pour atteindre les objectifs est élevé pour les emballages ménagers et les VHU.

Situation actuelle et objectifs réglementaires de recyclage par gisement de déchets

Filière/gisement	Taux de recyclage	Objectifs
------------------	-------------------	-----------

Déchets ménagers et assimilés	Taux de recyclage matière et organique : 34,1% en 2007 35% (perspective 2009) (Source : ADEME)	35% en 2012 45% en 2015
Emballages ménagers	61,3% en 2007 64,8% (perspective 2009) (Source : ADEME)	75% en 2012
Déchets des entreprises (hors BTP, IAA, agriculture et activités spécifiques)	68% en 2006	75 % en 2012.
VHU	En 2007 : - Réutilisation et recyclage : 79,8 % - Réutilisation et valorisation : 81,5 %	85 % de matières issues des VHU doivent être recyclées ou réutilisées et 95% valorisées.

Cinq axes d'amélioration apparaissent prioritaires à la lumière de cet état de l'art.

1^{er} axe d'amélioration : Promouvoir la mise au point de solutions technologiques répondant aux principales attentes exprimées par les industriels français du tri, qui visent principalement :

- ✓ à améliorer l'efficacité des techniques de tri actuelles (en qualité de tri et en rendement) en tenant compte de la complexité croissante de certains flux de déchets
- ✓ pour certaines d'entre elles, à anticiper les contraintes liées à l'extension possible des consignes de tri d'emballages.

Pour le gisement des OMR, deux attentes prédominent

- ✓ La réduction de la teneur en PVC dans la fraction sèche des unités de TMB en vue de la préparation du CSR. La technologie NIR est efficace pour les CSR "légers" (2D) mais l'est moins dans le cas des CSR "lourds" (3D) du fait de leur teneur élevée en plastiques sombres.
- ✓ L'optimisation du tri entre les corps creux en plastique et les fibreux contenus dans la fraction sèche des unités de TMB. On estime en effet que la moitié seulement des déchets d'emballages plastiques et papiers cartons est valorisée dans les centres de tri d'emballages du fait du non-respect des consignes de tri à la source, une part non négligeable des bouteilles PET se retrouvant dans les OMR.

L'amélioration du tri des emballages et JRM issus de la collecte sélective suscite plusieurs attentes fortes en matière de tri :

- ✓ Le tri des produits non fibreux (principalement les corps creux PET et HDPE) et des petits fibreux, principalement des produits plats en papier carton. Il s'agit en particulier d'améliorer l'efficacité et la vitesse du tri optique, d'améliorer la discrimination entre les différents polymères, les cartons et les papiers dans les corps plats, et de mieux identifier les produits noirs et sombres en plastique (tasses à café, barquettes....)
- ✓ Le tri des papiers cartons en vue de l'obtention d'une fraction « EMR » conforme à la PTM imposée par Eco-Emballages et Revipac pose un gros problème aux gestionnaires de centres de tri. Les EMR correspondent en effet à une qualité « réglementaire » que les capteurs ne sont pas aptes à détecter.
- ✓ Le tri en vue de l'obtention d'une fraction JRM adaptée au recyclage en papier impression, et la séparation entre papiers « blancs » (reprographie) et autres papiers (journaux magazines en particulier). Les solutions techniques semblent exister mais ne diffusent que lentement.

- ✓ Le surtri des corps creux en plastiques mélangés issus des centres de tri. La présence croissante de bouteilles multicouches (PE/PA/EVOH...) et d'étiquettes manchons sur les bouteilles nuit à l'efficacité du tri. Des solutions techniques semblent émerger.
- ✓ Enfin, à l'horizon 2013/2015, si l'extension de la consigne de tri de la collecte sélective aux films, pots et barquettes se concrétise, on sera confronté au problème du tri des barquettes et des bouteilles PET dans la fraction mélangée PE/PP/PS/PVC (les grades PET étant différents, ce tri sera nécessaire). Cette opération sera réalisée dans des centres de surtri spécialisés, en aval des centres de tri actuels.

Gisement du verre bouteille issu de la collecte sélective

La principale attente concerne l'optimisation du processus d'éjection des indésirables, notamment les infusibles transparents (vitrocéramiques du type « Vitroceram »). L'obtention d'un bon compromis efficacité/rendement est un objectif majeur des gestionnaires de centres de tri.

Gisement DEEE

L'attente principale réside dans la possibilité de trier efficacement les plastiques contenant des additifs bromés, présents en proportion élevée dans de nombreux DEEE, en identifiant autant que possible séparément les additifs bromés autorisés et non autorisés.

Gisement VHU

L'amélioration du tri des polymères en mélange contenus dans le RBA suscite deux attentes fortes :

- ✓ le tri du PP chargé talc : Le PP est l'un des plastiques les plus recherchés pour le recyclage car il est très utilisé dans la fabrication des véhicules, mais la distinction entre le PP pur et le PP chargé (au talc notamment) est délicate.
- ✓ le tri des plastiques sombres. Le tri optique est relativement peu développé pour l'instant dans la séparation des plastiques issus des VHU car beaucoup de pièces plastiques sont sombres (compartiment moteur, baguettes latérales de caisse, pièces d'habitacle...). C'est un obstacle important à l'efficacité des machines de tri actuelles et cela pourrait expliquer le faible taux de pénétration du tri optique chez les industriels de ce secteur.

Même s'il est déjà largement développé, le tri des métaux dans le RBA génère également des attentes fortes en matière d'amélioration de l'efficacité du tri dans les deux domaines suivants :

- ✓ Séparation du cuivre dans la fraction « acier » issue des VHU, du fait de la multiplication du nombre des servomoteurs dans les véhicules (le cuivre est un poison lors du processus de recyclage de l'acier) ;
- ✓ Tri des différentes nuances de métaux dans les fractions métalliques récupérées, en particulier les nuances d'aluminium (tôles vs. pièces de fonderie) et les nuances d'inox.

Plus généralement, en matière **d'optimisation du tri des métaux** les attentes des industriels sont très fortes. Elles visent :

- soit à valoriser les métaux résiduels (dont l'inox, le cuivre rouge, l'aluminium) dans des mélanges d'autres matériaux (bois, plastiques...). La tendance au renchérissement de la valeur commerciale des métaux justifie l'intérêt économique de ce surtri ;
- soit à éliminer les métaux résiduels dans des fractions où leur présence est indésirable (broyats de plastiques destinés au recyclage matière...).

Autres attentes exprimées par les industriels

Outre les attentes spécifiques au tri de tel ou tel flux de déchets, les acteurs rencontrés ont également exprimé quatre attentes de nature plus transversale :

Pré-trier les flux le plus en amont possible dans le processus de valorisation

L'objectif de ce prétri est de « reconnaître » les appareils entiers afin de pouvoir constituer des flux homogènes, chaque flux prétrié étant ensuite orienté vers une séquence de dépollution et de traitement spécifique. Cette attente concerne surtout les acteurs de la filière de valorisation des DEEE. Le prétri permettrait de répondre à des contraintes telles que :

- ✓ la présence de nouveaux polluants en quantités croissantes dans certains appareils (par exemple les tubes à mercure dans les téléviseurs à écran plats).
- ✓ la séparation des appareils GEM froid contenant des mousses chargées en CFC et en pentane (seuls les premiers nécessitent une dépollution)
- ✓ la détection de la présence d'amiante dans les vieux fours, les semelles de vieux fers à repasser ou certains toasters.

Il ne semble pas exister pour l'instant de solution technologique satisfaisante pour ce type d'opération de prétri. L'éventail des possibilités reste très ouvert, depuis des systèmes de tri en continu basés sur la reconnaissance automatique des appareils et de leur contenu (à partir d'une banque de données appropriée) jusqu'au couplage homme-machine.

Valoriser certains gisements de déchets sans avoir besoin d'une collecte sélective aussi poussée qu'actuellement

Une possibilité consisterait à demander aux ménages de concentrer leurs efforts de tri à la source sur les déchets faciles à reconnaître (déchets alimentaires, déchets dangereux) et de mettre en vrac tout le reste dans un seul bac. Une autre possibilité consisterait à élargir les consignes de tri à la source.

Les progrès décisifs réalisés depuis une dizaine d'années en matière d'identification et de tri industriel des déchets secs (plastiques, papiers, cartons, métaux) permettent aujourd'hui d'envisager des réponses concrètes à cette question, au moyen par exemple :

- ✓ du tri des déchets secs dans les OMR
- ✓ du surtri fin des polymères et des papiers cartons dans les déchets issus d'une collecte sélective élargie incluant en particulier les produits plats
- ✓ du couplage homme-machine, en vue du tri fin de certains déchets spécifiques.

Optimiser la gestion quantitative du tri en temps réel

Une attente fortement exprimée par certains industriels vise à améliorer la traçabilité des flux de déchets au moyen de bilans quantitatifs sur les flux triés, à travers les informations fournies en temps réel par les calculateurs des systèmes de tri. L'élaboration de tels bilans pourrait s'avérer utile dans plusieurs contextes, par exemple :

- ✓ pour mesurer et contrôler l'efficacité de la dépollution de certains flux de déchets ou de produits en fin de vie (métaux lourds dans les broyats, CFC dans les GEM froids, additifs bromés dans les DEEE...) ;
- ✓ pour faire remonter automatiquement les bilans depuis les prestataires vers les responsables de filières et les éco-organismes ;
- ✓ pour améliorer la flexibilité du tri.

Le procédé de tri séquencé auto-adaptatif développé par Veolia apporte des éléments de réponse à cette attente. Il s'appuie en effet sur la remontée des informations issues du tri optique et permet de totaliser la quantité de chaque matériau trié dans chaque flux.

Réduire le « stress du trieur »

L'INRS a travaillé sur la conception et les conditions d'agencement des centres de tri pour prévenir les troubles physiques et psychiques encourus par les travailleurs au sein des installations.

2ème axe d'amélioration : Promouvoir les améliorations transversales susceptibles de s'appliquer à plusieurs technologies de tri :

Améliorer l'efficacité des capteurs multifonctions

Les capteurs multifonctions permettent d'éviter les systèmes de tri en cascade. Dans le cas d'objets à trier de petite taille, une difficulté récurrente aux systèmes à capteurs multifonctions (généralement des doubles ou triples capteurs) consiste à s'assurer que les signaux captés correspondent bien à la même pièce analysée. Ceci requiert une bonne « superposition » des mesures effectuées par les deux capteurs.

Optimiser la phase d'éjection des produits

Compte tenu des énormes progrès réalisés au cours des dix dernières années sur la partie optique des systèmes de tri, la phase d'éjection des produits devient un déterminant de plus en plus critique de l'efficacité du tri. Les concepteurs cherchent à optimiser leurs systèmes en trouvant le meilleur compromis entre des mailles fines (donc une qualité de détection élevée mais une éjection plus difficile) et des mailles plus grosses (donc une qualité de détection moindre mais une éjection plus facile).

Réduire la consommation d'air comprimé

La consommation d'air comprimé constitue un poste important du coût d'exploitation d'un système de tri. La société Steinert annonce un gain de 20 à 40% sur la consommation d'air comprimé des systèmes de tri par induction, XRT, par colorimétrie et NIR.

Améliorer la flexibilité des systèmes de tri

Véolia Environnement a déposé en 2007 un brevet pour un système appelé « tri séquentiel auto-adaptatif » (TSA) qui permet de programmer la machine pour extraire plusieurs matières (jusqu'à une dizaine) les unes après les autres, en plusieurs séquences, sur le même tapis de tri.

Développer le couplage « homme-machine »

Le principe consiste à faire passer le produit devant une caméra sur un système de tri en continu. L'opérateur décide d'éjecter ou non le produit et appuie sur un bouton. Le système repose sur le couplage d'un logiciel qui détermine des ordres d'éjection et d'une machine de tri optique.

3ème axe d'amélioration : Promouvoir les technologies qui permettront valoriser certains gisements de déchets sans avoir besoin d'une collecte sélective aussi poussée qu'actuellement

Il s'agit d'identifier les technologies de tri qui permettront de trier des déchets plus mélangés que ceux qui sont issus des collectes sélectives actuelles.

La collecte sélective concerne aujourd'hui les déchets et les produits en fin de vie suivants :

- ✓ Emballages
- ✓ Imprimés
- ✓ DEEE
- ✓ Piles et accumulateurs
- ✓ Médicaments non utilisés
- ✓ Textiles, chaussures et linge de maison
- ✓ Déchets d'activité de soins à risque Infectieux.

Les emballages et les DEEE semblent à priori les flux de déchets les plus directement concernés par cette problématique. Les pistes suivantes sont à approfondir :

- ✓ Pour les emballages et les imprimés :
 - l'amélioration du tri direct des produits secs (plastiques et papiers cartons) dans les OMR constitue une piste essentielle
 - l'amélioration des technologies de tri et de surtri des mélanges de polymères et de papiers-cartons incluant les produits creux et plats
- ✓ Pour les DEEE, le tri en amont plus efficace des appareils entiers

4ème axe d'amélioration : Transposer à certains types de déchets des technologies de tri ayant déjà fait leurs preuves sur d'autres types de déchets

Les technologies utilisées aujourd'hui pour le tri en continu sont principalement focalisées sur les déchets d'emballages, les DEEE, les VHU, et dans une moindre mesure les OMR.

A contrario, peu de technologies industrielles ont été identifiées pour le tri des déchets de construction/démolition, des textiles, des chaussures et linge de maison, des médicaments non utilisés, des déchets d'activité de soins à risque infectieux, des BPHU et des avions en fin de vie. L'intérêt des transpositions suivantes mériterait d'être approfondi en priorité :

- ✓ Application des technologies de tri des métaux, des inertes, des polymères au tri des déchets de construction / démolition.
- ✓ Application des technologies de tri des bois au tri de certains encombrants de déchèterie
- ✓ Application des technologies de tri couleur ou de tri MIR à certains déchets textiles.

Plusieurs acteurs interrogés ont également souligné l'importance des enjeux liés à la mise au point de systèmes de tri qui permettraient une meilleure valorisation des déchets ultimes. La plupart des filières (construction/démolition, VHU, emballages....) génèrent en effet des quantités significatives de déchets ultimes généralement constitués de mélanges complexes de métaux, plastiques, papiers cartons et verre. L'objectif serait de trier suffisamment ces déchets en mélange pour pouvoir en extraire les fractions recyclables. L'impact économique serait significatif puisque cela éviterait (en partie) d'avoir à supporter des coûts croissants de mise en décharge de déchets ultimes.

Si les métaux sont généralement faciles à trier, il n'en est pas de même des plastiques et des papiers cartons. Les progrès réalisés dans le domaine du tri des flux d'emballages pourraient être transposés au tri de ces déchets ultimes.

Dans le même ordre d'idées, le développement du tri en vue de la récupération et du recyclage des métaux rares (Cobalt, Titane, Tungstène, Beryllium, Vanadium, Platine, Palladium, Osmium, Lanthanides, Scandium, Yttrium) permettrait de répondre, au moins partiellement, au double défi de réduire la consommation de ressources primaires et de sécuriser les approvisionnements stratégiques de l'industrie française

5ème axe d'amélioration : Favoriser la diffusion des technologies innovantes peu présentes en France

Les réseaux commerciaux des principaux concepteurs / fabricants de systèmes de tri européens et américains sont suffisamment denses pour que les industriels français aient accès sans difficulté à l'information sur la majorité des technologies de tri disponibles sur le marché mondial.

Par contre, l'étude montre que certaines technologies tendent à diffuser plus lentement dans le tissu industriel français que dans certains pays étrangers. C'est le cas en particulier pour les technologies suivantes :

Rayons X par transmission

- ✓ Tri des indésirables (métaux, inertes) contenus dans la fraction organique des OMR à l'entrée du digesteur des unités de TMB

- ✓ Tri des piles et accumulateurs selon leur couple électrochimique

Rayons X par fluorescence :

- ✓ Tri des plastiques contenant des additifs bromés
- ✓ Tri des métaux entre eux

Spectrométrie proche infra rouge :

- ✓ Réduction de la teneur en chlorés dans la fraction sèche des unités de TMB, en vue de la préparation de combustible solide résiduel
- ✓ Contrôle qualité des vieux papiers destinés à la fabrication du papier impression
- ✓ Tri des plastiques contenant des additifs bromés
- ✓ Tri d'un mélange de polymères broyés et de métaux issu du RBA
- ✓ Tri (ou contrôle qualité) des menuiseries en PVC après broyage, par nuances de blanc.