



# Etude structurante sur les technologies robotiques et numériques pour les déchets

Etude technique

## ETAT DE L'ART DES SOLUTIONS EXISTANTES ET ETUDE D'OPPORTUNITE

CNI - CME



## Etude structurante sur les technologies robotiques et numériques pour les déchets

Etude technique

CNI - CME

Rapport d'étude

VERSION	DESCRIPTION	ÉTABLI(E) PAR	APPROUVÉ(E) PAR	DATE
1	Rapport initial (1ere partie)	FDX / FRN	FDX	27/09/21
3	Mise à jour suivant échanges	FDX / SHT	FDX	10/11/21
4	Compilation phase 1 et phase 2	FDX / SHT	FDX	14/01/2022
5	Ajout Tri optique et perspectives	FDX / SHT	FDX	25/01/2022
6	Actualisation Synthèse et ROI	FDX / SHT	FDX	11/03/2022

ARTELIA  
Département Eau & Génie Urbain  
Villes & Territoires  
47 avenue de Lugo - Bâtiment B · 94600 CHOISY LE ROI

Votre interlocuteur :  
Frédéric DURIEUX  
Directeur de projet Déchets  
frederic.durieux@arteliagroup.com  
Ligne directe: +33 (0) 1 77 93 77 39 · Mob. : +33 (0) 6 68 43 51 82

## Table des matières

<b>TABLE DES ABRÉVIATIONS .....</b>	<b>11</b>
<b>OBJET DU DOCUMENT .....</b>	<b>12</b>
<b>1. ETAT DES LIEUX.....</b>	<b>12</b>
<b>2. LES ENJEUX .....</b>	<b>12</b>
<b>3. L'ÉTUDE .....</b>	<b>14</b>
<b>SYNTHÈSE ET CONCLUSION .....</b>	<b>15</b>
<b>A. INTRODUCTION .....</b>	<b>16</b>
<b>1. LES FLUX ET LES FILIERES .....</b>	<b>17</b>
<b>1.1. LES DIFFERENTS FLUX DE DECHETS .....</b>	<b>17</b>
<b>1.2. LA HIERARCHIE DE TRAITEMENT .....</b>	<b>18</b>
<b>1.3. ORGANISATION DE LA COLLECTE ET DU RECYCLAGE .....</b>	<b>18</b>
<b>1.3.1. LES DIFFÉRENTS TYPES DE COLLECTES EN FRANCE .....</b>	<b>18</b>
<b>1.3.2. LES DIFFÉRENTS TYPES DE CENTRE DE TRI EN FRANCE .....</b>	<b>19</b>
<b>1.3.3. FILIÈRES À RESPONSABILITÉ ELARGIE DES PRODUCTEURS (REP) .....</b>	<b>20</b>
<b>1.3.3.1. REP VHU.....</b>	<b>21</b>
<b>1.3.3.2. REP Emballages .....</b>	<b>22</b>
<b>1.3.3.3. REP Papiers graphiques .....</b>	<b>22</b>
<b>1.3.3.4. REP DEEE.....</b>	<b>22</b>
<b>1.3.3.5. REP Déchets d'Éléments d'Ameublement .....</b>	<b>23</b>
<b>1.3.3.6. REP Textiles.....</b>	<b>24</b>
<b>1.3.3.7. Future REP PMCB (Produits et les Matériaux de Construction du secteur         du Bâtiment) .....</b>	<b>24</b>
<b>1.3.4. AUTRES FILIÈRES DE COLLECTE ET RECYCLAGE .....</b>	<b>25</b>

Tri 5 flux / Tri 7 flux des déchets des activités économiques .....	25
Déchets en mélange (lien 5/7 flux) .....	25
Déchets de fabrication / chutes neuves .....	26
<b>1.4. SYNERGIE FILIERES ET FLUX TRIES.....</b>	<b>26</b>
<b>B. TECHNOLOGIES ROBOTIQUES, AUTOMATISATION ET NUMERIQUES PERMETTANT D'AMELIORER LES CONDITIONS DE TRI ET DE VALORISATION DES DECHETS .....</b>	<b>27</b>
<b>2. LES MACHINES DE TRI OPTIQUE .....</b>	<b>29</b>
<b>3. QU'EST-CE QU'UNE TECHNOLOGIE ROBOTIQUE ET NUMÉRIQUE ? .....</b>	<b>30</b>
<b>3.1. FONCTIONNEMENT .....</b>	<b>30</b>
3.1.1. CONTRAINTES .....	31
3.1.2. SYSTÈME D'ACQUISITION DE DONNÉES ET INTELLIGENCE ARTIFICIELLE (ALGORITHME DE TRAITEMENT).....	31
3.1.3. UN ENSEMBLE D'AUTOMATISATION : MANIPULATEUR/PRÉHENSEUR .....	33
3.1.3.1. Manipulateur ou robot .....	33
3.1.3.2. Robot, robot collaboratif, robot coopératif .....	34
3.1.3.3. Préhenseur.....	35
3.1.4. INTERFACE HOMME MACHINE .....	36
<b>3.2. INTEGRATION ET MAINTENANCE DU SYSTEME AUTOMATISE .....</b>	<b>37</b>
3.2.1. LES CONTRAINTES EN LIEN AVEC LE DÉCHET .....	37
3.2.2. IMPLANTATION DU SYSTÈME AUTOMATISÉ .....	38
3.2.3. EXPLOITATION ET MAINTENANCE .....	39
<b>4. PERSPECTIVES D'ÉVOLUTIONS TECHNIQUES DES INSTALLATIONS DE TRI.....</b>	<b>41</b>

<b>5. RETOUR SUR INVESTISSEMENT .....</b>	<b>42</b>
5.1. DEFINITION.....	42
5.2. CALCUL DE ROI.....	42
5.2.1. COÛTS .....	42
5.2.1.1. Coûts fixes:.....	42
5.2.1.2. Coûts variables : .....	43
5.2.2. GAINS.....	44
5.3. LES CENTRES DE TRI .....	44
5.3.1. ROBOT DE TRI DE TYPE COLLECTE SÉLECTIVE .....	44
5.3.2. ROBOT DE TRI DE TYPE ENCOMBRANTS OU DÉCHET INDUSTRIEL	
46	
<b>6. SYNTHÈSE .....</b>	<b>47</b>
Filière VHU .....	47
Filières Emballages et papiers graphiques.....	48
Filière DEEE .....	48
Filière Déchets d'Éléments d'Ameublement.....	48
Filière Textiles .....	48
Filières PMCB (Produits et les Matériaux de Construction du secteur du Bâtiment)	
ou tri "Tri 5 flux / Tri 7 flux" des déchets des activités économiques et DIB	
.....	49
<b>C. LES SOLUTIONS ROBOTIQUES .....</b>	<b>50</b>
<b>7. NIVEAU DE MATURITÉ .....</b>	<b>51</b>
<b>8. SYNTHÈSE PAR CONSTRUCTEUR.....</b>	<b>51</b>
8.1. RECAPITULATIF .....	52
8.2. AMP .....	54
8.2.1. PRÉSENTATION DES ÉQUIPEMENTS.....	54
8.2.2. CARACTÉRISTIQUES.....	54

8.2.3.	IMPLANTATIONS DES SITES ÉQUIPÉS DE MATÉRIELS AMP .....	55
8.3.	BHS.....	56
8.3.1.	PRÉSENTATION DES ÉQUIPEMENTS .....	56
8.3.2.	CARACTÉRISTIQUES .....	57
8.3.3.	IMPLANTATIONS DES SITES ÉQUIPÉS DE MATÉRIELS BHS .....	58
8.4.	BOLLEGRAAF.....	59
8.4.1.	PRÉSENTATION DES ÉQUIPEMENTS : .....	59
8.4.2.	CARACTÉRISTIQUES .....	60
8.4.3.	IMPLANTATIONS DES SITES ÉQUIPÉS DE MATÉRIELS BOLLEGRAAF 60	
8.5.	ENERGIEPOLE SOLUTIONS .....	60
8.5.1.	PRÉSENTATION DES ÉQUIPEMENTS : .....	60
8.5.2.	CARACTÉRISTIQUES .....	61
8.5.3.	IMPLANTATIONS DES SITES ÉQUIPÉS DE MATÉRIEL ENERGIEPOLE SOLUTIONS .....	61
8.6.	ETIA.....	62
8.6.1.	PRÉSENTATION DES ÉQUIPEMENTS .....	62
8.6.2.	CARACTÉRISTIQUES .....	62
8.6.3.	IMPLANTATION DES SITES ÉQUIPÉS DE MATÉRIELS PICVISA .....	63
8.7.	GREEN MACHINE .....	63
8.7.1.	PRÉSENTATION DES ÉQUIPEMENTS .....	64
8.7.2.	CARACTÉRISTIQUES .....	64
8.8.	MACHINEX.....	64
8.8.1.	PRÉSENTATION DES ÉQUIPEMENTS .....	65
8.8.2.	CARACTÉRISTIQUES .....	65
8.8.3.	IMPLANTATIONS DES SITES ÉQUIPÉS DE MATÉRIELS MACHINEX	66

<b>8.9.</b>	<b>RECYCLEYE .....</b>	<b>67</b>
8.9.1.	PRÉSENTATION DES ÉQUIPEMENTS .....	68
8.9.2.	CARACTÉRISTIQUES .....	68
8.9.3.	IMPLANTATIONS .....	69
<b>8.10.</b>	<b>SILEANE .....</b>	<b>69</b>
8.10.1.	PRÉSENTATION DE L'ÉQUIPEMENT .....	69
8.10.2.	IMPLANTATION DES SITES ÉQUIPÉS DES TECHNOLOGIES ROBB'IN 70	
<b>8.11.</b>	<b>STEINERT .....</b>	<b>70</b>
8.11.1.	PRÉSENTATION DES ÉQUIPEMENTS .....	70
8.11.2.	CARACTÉRISTIQUES .....	70
<b>8.12.</b>	<b>TOMRA .....</b>	<b>71</b>
8.12.1.	PRÉSENTATION DES ÉQUIPEMENTS .....	71
8.12.2.	CARACTÉRISTIQUES .....	72
8.12.3.	IMPLANTATION DES SITES ÉQUIPÉS DE MATÉRIELS TOMRA .....	72
<b>8.13.</b>	<b>WASORIA.....</b>	<b>72</b>
8.13.1.	PRÉSENTATION DES ÉQUIPEMENTS .....	72
8.13.2.	CARACTÉRISTIQUES .....	73
8.13.3.	IMPLANTATION DES SITES ÉQUIPÉS DE MATÉRIELS WASORIA... ..	73
<b>8.14.</b>	<b>WASTE ROBOTICS .....</b>	<b>73</b>
8.14.1.	PRÉSENTATION DES ÉQUIPEMENTS .....	74
8.14.2.	CARACTÉRISTIQUES .....	74
8.14.3.	IMPLANTATIONS DES SITES ÉQUIPÉS PAR WASTE ROBOTICS.....	75
<b>8.15.</b>	<b>ZEN ROBOTICS .....</b>	<b>75</b>
8.15.1.	PRÉSENTATION DES ÉQUIPEMENTS .....	76
8.15.2.	CARACTÉRISTIQUES .....	76

8.15.3. IMPLANTATIONS DES SITES ÉQUIPÉS DE MATÉRIELS ZENROBOTICS .....	77
<b>D. ANNEXES .....</b>	<b>78</b>
<b>ANNEXE 1 FILIERES A RESPONSABILITE ELARGIE DES PRODUCTEURS (REP) .....</b>	<b>79</b>
1. DÉFINITION ET OBJECTIFS .....	80
2. CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE .....	80
3. ECO-ORGANISMES .....	80
4. CHRONOLOGIE DE LA MISE EN PLACE DES FILIÈRES REP .....	81
5. FOCUS SUR LES FILIÈRES REP EN LIEN AVEC NOTRE ÉTUDE.....	81
1.       82	
REP VHU .....	82
REP EMBALLAGES .....	84
REP PAPIERS GRAPHIQUES.....	86
REP DEEE .....	87
REP DECHETS D'ELEMENTS D'AMEUBLEMENT .....	91
REP TEXTILES .....	93
FUTURE REP PMCB (PRODUITS ET LES MATERIAUX DE CONSTRUCTION DU SECTEUR DU BATIMENT).....	94
<b>ANNEXE 2 FICHES TECHNIQUES ET COMMERCIALES CONSTRUCTEURS.....</b>	<b>96</b>

## Table des figures

Figure 1 : Organigramme des principaux flux de déchets (liste non exhaustive) .....	17
Figure 2: Organisation de la collecte et du recyclage .....	18
Figure 3 : Typologie de centres de tri .....	19
Figure 4: Exemple d'installation de tri manuel .....	25
Figure 5 : Synergie filières de prise en charge et filière de recyclage (non exhaustif).....	26
Figure 6 : Niveau d'automatisation des process de tri .....	28
Figure 7:Principe de fonctionnement d'un tri optique (Source TOMRA) .....	29
Figure 8: Typologie des produits triés par les machines optiques .....	29
Figure 9: Exemples de machines de tri optique (sources TOMRA, NRT, PELLENC ST) .....	29
Figure 10: module constituant un ensemble (source MAX AI) .....	30
Figure 11: Exemple de vision et reconnaissance (source MAX AI).....	30
Figure 12 : Exemple d'ensemble robotisé (source Bollegraaf) .....	30
Figure 13 : Identification des objets (segmentation Recycleye) .....	32
Figure 14: Identification des objets (segmentation MAX AI) .....	32
Figure 15 : Abaque Charge / Vitesse / Débattement (source ABB) .....	34
Figure 16 : Gamme robots et débattements (source ABB) .....	34
Figure 17 : Robot de tri (Source RECYCLEYE).....	35
Figure 18 : Robot coopératif AQ-C (source MAX AI) .....	35
Figure 19 : Préhension par ventouse pneumatique (source Recycleye) .....	36
Figure 20: Préhension par pince (source ZenRobotics) .....	36
Figure 21: Rapports d'exploitation (source Recycleye et MAX AI) .....	36
Figure 22: Dimensionnement suivant le débit et le type de déchets (source Waste Robotics) ...	37
Figure 23: Dimensionnement de l'équipement de tri.....	37
Figure 24: MAX AI dans une cabine de tri CS (source MAX AI).....	38
Figure 25: Intégration d'un système AMP sur un convoyeur (Source AMP) .....	38
Figure 26: Installation de tri de D&C (Source ZenRobotics) .....	38
Figure 27: Liste des entretiens périodiques (Source BRALEY) .....	39
Figure 28 : Panneau démontable (Source MAX AI) .....	39
Figure 29: Trappe de changement de ventouse (source MAX AI) .....	39
Figure 30 : Perspectives d'évolutions des process de tri .....	41
Figure 31: Comparatif d'investissements .....	43
Figure 32 : Schémas retenus dans le calcul de ROI (installation de type CS).....	45
Figure 33 : Schémas retenus dans le calcul de ROI (installation de type encombrants) .....	46
Figure 34 : Les niveaux d'échelle TRL .....	51
Figure 35 : Solution intégrée (source Machinex).....	51
Figure 36: Application spécifique (source Energiepole Solution) .....	52
Figure 37: Max AI AQC-1 (source : Max AI).....	56
Figure 38 : Max AI AQC - 2 (Source : Max AI) .....	56
Figure 39 : Max AI AQC-Q (Source : Max- AI).....	56
Figure 40: Max AI AQC - Flex (Source : Max-AI) .....	57
Figure 41 : Carte de installation de BHS dans le monde (Source : Max-AI) .....	58
Figure 42 : RoBB QC (source Bollegraaf) .....	59
Figure 43 : RoBB- AQC (source : brochure Bollegraaf) .....	59
Figure 44 : Robot EcoPick (source: PICVISA) .....	62
Figure 45 : Robot AIRSS (source : ETIA) .....	62
Figure 46 : Carte des installations de PICVISA dans le monde (Source : PICVISA) .....	63
Figure 47 : SamurAI (source Machinex).....	65
Figure 48: Robot 6 - Axes (source : Recycleye).....	68

Figure 49: Robot Delta (Source : Recycleye) .....	68
Figure 50 : Répartition des installations de Recycleye Robotics (source : Recycleye).....	69
Figure 51: Unisort Unibot (source Steinert).....	70
Figure 52 : Robot de tri WASORIA - Waste Robotic (centre de tri Semardel, Vert-le-Grand) .....	73
Figure 53 : robot Fast Picker (source: ZenRobotics) .....	76
Figure 54 : Pince du robot Heavy Picker (source: ZenRobotics) .....	76
Figure 55 : Carte des installations de ZenRobotics (Source : Site officiel de ZenRobotics).....	77
Figure 56 : Chronologie de mise en place des filières REP (source : INEC) .....	81
Figure 57 : Composition VHU (2018, source : ADEME) .....	82
Figure 58 : Schéma simplifié étapes de traitement d'un VHU (source : ADEME).....	83
Figure 59 : Répartition par type de traitement de chaque matière constituant un VHU (2018, source : ADEME) .....	84
Figure 60 : Matériaux mis sur le marché REP Emballages (2019, source : ADEME) .....	85
Figure 61 : Taux de recyclage par matériau - REP Emballages (source : CITEO).....	85
Figure 62: Ateliers de préparation d'un process de tri de collecte sélective .....	85
Figure 63: Machines de tri optique sur le site de SERIVEL .....	86
Figure 64 : Répartition des tonnages recyclés et soutenus - REP Papiers Graphiques (2018, source ADEME) .....	87
Figure 65: Classement des DEEE.....	88
Figure 66: Composition des D3E ménagers (données caractérisations 2019 – source : ADEME) .....	88
Figure 67 : Schématisation des étapes du traitement des DEEE (source Ecologic) .....	90
Figure 68 : Objectifs minimaux de valorisation filière D3E .....	90
Figure 69 : Répartition des modes de traitement filière D3E (2019, source : ADEME).....	91
Figure 70 : Catégories filière DEA .....	91
Figure 71 : Composition DEA (2019, source : ADEME) .....	92
Figure 72: Tri sur le process du CTHP VEOLIA de Ludres .....	92
Figure 73 : Modes de valorisation DEA (2018, source ADEME) .....	92
Figure 74 : Modes de valorisation des TLC (source : rapport annuel 2019 ReFashion) .....	94

## Listes de tableaux

Tableau 1 : Synthèse des types de centres de tri .....	20
Tableau 2 : Synthèse des gisements calculés par REP (Source : Memo REP 2021, ADEME) .....	21
Tableau 3: Capteurs utilisés par les différents constructeurs .....	32
Tableau 4: Familles de robots (source ABB).....	33
Tableau 5: Comparatif des types de robots .....	35
Tableau 6 : Calcul de ROI (installation de type CS).....	45
Tableau 7 : Calcul de ROI (installation de type Déchets industriels).....	46
Tableau 8: Caractéristiques des robots AMP .....	54
Tableau 9 : Caractéristiques des robots BHS.....	57
Tableau 10 : Caractéristiques du robot Bollegraaf .....	60
Tableau 11 : Caractéristiques du robot Energiepole Solutions.....	61
Tableau 12 : Caractéristiques des robots ETIA .....	62
Tableau 13 : Caractéristiques des robots Green Machine .....	64
Tableau 14 : Caractéristiques du robot MachinEX .....	65
Tableau 15 : Caractéristiques des robots Recycleye .....	68
Tableau 16 : Caractéristiques du robot STEINERT .....	71
Tableau 17 : Caractéristiques du robot TOMRA.....	72
Tableau 18 :Caractéristiques du robot WASORIA .....	73
Tableau 19 :Caractéristiques des robots Waste Robotics .....	74
Tableau 20 : Caractéristiques des robots Zen Robotics .....	76

## TABLE DES ABREVIATIONS

AFNOR : Association française de normalisation

ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

CITEO : entreprise privée spécialisée dans le recyclage des emballages ménagers et des papiers graphiques, réglementée par un agrément d'État pour une durée de cinq ans.

CS : Collecte sélective

C&D : déchets de construction et de démolition

CSF : Comité Stratégique de Filière

CSR : Combustible solide de récupération

DASRI : Déchets d'activités de soins à risques infectieux et assimilés

DEEE : déchet d'équipement électrique et électronique

DIB : déchets industriels banals

INRS : Institut national de recherche et de sécurité

IHM : Interface Homme /machine

n.c : Non communiqué

OMR : Ordure ménagère résiduelle

PMCB : Produits et les Matériaux de Construction du secteur du Bâtiment

MPS : Matière Première Secondaire

REP : Responsabilité Elargie des Producteurs

ROI : Retour sur investissement

TMS : Troubles Musculo Squelettiques

# OBJET DU DOCUMENT

## 1. ETAT DES LIEUX

La Loi de Transition Energétique pour la Croissance Verte (2015), puis la Feuille de Route Economie Circulaire (2018), prévoient de diminuer le stockage de déchets de 50% entre 2010 et 2025. De nouvelles voies de valorisation, sous forme de matière première de recyclage et d'énergie vont devoir être développées pour environ 8 millions de tonnes de déchets qui, devront ainsi être orientées en premier lieu vers des centres de tri.

Les centres de tri, de transferts, de regroupement et de valorisation, comme les centres de tri de collectes sélectives, sont quelques exemples des activités qui s'industrialisent. Ces centres sont aujourd'hui relativement automatisés. Ils permettent de séparer, de manière automatique, les métaux ferreux et non ferreux, certains types de résines plastiques, les papiers et cartons. D'autres activités de tri sont nettement moins automatisées notamment celles des déchets des activités économiques ou le tri des textiles. En effet ces dernières ne mettent pas en œuvre de systèmes automatisés et les opérations de tri restent majoritairement du tri au grappin ou un tri manuel.

Une part importante de travail manuel reste actuellement nécessaire pour affiner certains tris automatisés. Les postes correspondants à cette activité de tri ou de contrôle qualité mettent en œuvre des actions répétitives qui sont sources de Troubles Musculo Squelettiques (TMS). Certaines tâches peuvent également présenter des enjeux en termes de sécurité (substances toxiques, éléments inflammables...).

## 2. LES ENJEUX

Le numérique et l'automatisation offrent des perspectives de progrès pour la filière de traitement des déchets. Le déploiement de ces nouvelles technologies nécessite une grande part d'innovation, de recherche et développement et de de calibration, en vue de leur généralisation. Le Comité Stratégique de Filière « Transformation et Valorisation des Déchets » rassemble les professionnels du secteur, les pouvoirs publics et les organisations syndicales représentant les acteurs de la filière. Au travers du CSF, l'ensemble des acteurs a trouvé une opportunité de se rencontrer et d'échanger sur des sujets d'intérêt commun (<https://www.conseil-national-industrie.gouv.fr/comites-strategiques-de-filiere/transformation-et-valorisation-des-dechets>).

La robotisation des centres de tri est identifiée comme un axe de travail prioritaire du contrat signé entre le CSF Déchets et l'Etat. Dans ce cadre, le CSF a impulsé dès fin 2019 un projet structurant pour favoriser le développement et l'expérimentation de technologies numériques et l'automatisation des centres de tri et de valorisation des déchets en vue d'un déploiement massif dans les années qui suivront. En s'appuyant sur les fournisseurs français d'équipements de tri et sur les gestionnaires de centres, ce projet vise à permettre d'accélérer le développement d'une compétence française différenciante.

Les actions mises en œuvre visent notamment à développer :

- Des mécanismes d'apprentissage de reconnaissance des différents déchets,
- Les technologies de préhension des déchets
- Des systèmes automatisés afin que les opérateurs de contrôle qui ne seront plus alors en contact direct avec les déchets, puissent désigner via une interface numérique les objets à séparer du flux.

Dans l'avenant signé en juin 2021, le CSF Transformation et Valorisation des Déchets a identifié le besoin de travailler avec la filière des solutions d'industries du futur afin d'explorer encore plus avant la robotisation et le numérique dans ce secteur.

L'étude menée en commun par les deux filières vise à étudier, parmi la grande diversité des activités du déchet et les diverses capacités des filières robotiques, les pistes d'expérimentation les plus pertinentes et les plus prometteuses.

Suite à cette étude, un second Appel à manifestation d'intérêt pourra être organisé pour permettre de sélectionner les candidats offreurs et demandeurs de solutions ayant une maturité relativement élevée en s'appuyant sur les enseignements de cette étude. Les projets sélectionnés suite à cet AMI pourront être accompagnés auprès des principaux financeurs pour leur mise en œuvre.

Le ministère de la Transition Ecologique a annoncé le lancement de la stratégie nationale pour accélérer le recyclage des plastiques, des composites, des textiles, des métaux stratégiques et des papiers et cartons. Cette stratégie est mise en œuvre par le Secrétariat général pour l'investissement, dans le cadre du 4e programme d'investissements d'avenir (PIA4) et du plan France Relance.

Cette stratégie vise à soutenir l'innovation pour l'économie circulaire sur la période 2021-2027, en mobilisant 370 millions d'euros par le ministère, en plus des 200 millions d'euros déjà investis dans le cadre du volet économie circulaire du plan France Relance sur la période 2021-2022.

Ces soutiens portent sur :

- La recherche & développement, permettant de mettre au point des solutions de recyclage plus performantes pour l'ensemble des cinq matériaux de la stratégie ;
- La formation et le développement des compétences ;
- Le déploiement industriel, en particulier le déploiement d'unités industrielles de recyclage des batteries, et l'adaptation de l'outil industriel pour réincorporer des matières premières de recyclage dans de nouveaux cycles de production.

Pour cela, un appel à projet Solutions innovantes pour l'amélioration de la recyclabilité, du recyclage et de la réincorporation des matériaux, a été lancé, visant à accompagner les projets d'innovation dans le domaine des technologies du tri des matériaux, et soutenir l'innovation dans le domaine du recyclage des plastiques pour qu'émergent de nouvelles solutions pour recycler plus et mieux.

Annoncé par le Président de la République et prenant la suite du plan de Relance, le plan « France 2030 » ambitionne de permettre à la France de retrouver son indépendance environnementale, industrielle, technologique, sanitaire et culturelle et de se positionner en leader dans des secteurs stratégiques. Résolument tourné vers l'industrie et l'innovation, il est doté d'une enveloppe de 30 milliards d'euros provenant d'emprunts sur les marchés financiers et qui sera utilisée d'ici 2030 afin d'atteindre dix objectifs permettant de mieux produire, de mieux vivre et de mieux comprendre.

La gestion des déchets, est le premier objectif que le Président a souhaité entamer, à côté de la production d'énergie. Il a évoqué des technologies de gestion des déchets, que l'on commence à avancer, ce travail effectué par les organismes de recherche français, par les grands industriels, les PME et les start-ups, qui proposent des innovations de rupture de la matière. Pour y parvenir l'état va investir 1 milliard d'euros d'ici 2030.

La robotique, est également l'un des points abordés par le Président, en budgétant 6 milliards d'euros pour la production électronique et mettre fin à la dépendance. Cette stratégie comprendra la fabrication des puces électroniques de petites taille pour rester parmi les leaders du domaine, et la robotique qui désormais est au cœur de la compétitivité industrielle.

### 3. L'ETUDE

L'objet de cette étude, articulée en deux phases, est de présenter :

- Un **état de l'art des technologies robotiques**, automatisation et numériques permettant d'améliorer les conditions de tri et de valorisation des déchets. Cette étude sera menée au niveau mondial et présentera pour chaque solution le niveau de maturité (TRL 3 à 9) ainsi que tout élément descriptif d'intérêt (performance, coût...).
- Une **étude d'opportunité** en se fondant sur un état des lieux des besoins du secteur déchets, en identifiant les contraintes possibles à l'automatisation en fonction des flux de déchets identifiables. Celle-ci visera à évaluer la pertinence de positionner un ou des systèmes d'automatisation dans l'industrie du déchet. Le projet devra notamment permettre de décrire les conditions d'automatisation des nouveaux centres de tri, et les adaptations qui pourraient être nécessaires pour l'optimisation robotique des centres existants. Cette étude devra donner des indications permettant d'estimer une méthode de calcul du ROI d'une solution d'automatisme en fonction de sa position sur la chaîne de valeur et en fonction du flux. Cette méthode devra préciser les paramètres pilotant la performance (cadences, dimensions, qualité des flux sortants, coût des intrants et sortants...) et les modèles utilisés pour calculer le ROI.

## SYNTHESE ET CONCLUSION

L'étude dresse un état des lieux des constructeurs de solutions robotisées et permet d'identifier les principaux acteurs disposant d'une expérience dans le domaine des déchets.

Les développements des systèmes robotisés sont encore en cours et de nombreuses solutions sont mise en œuvre sur la base de cahiers des charges spécifiques (séparations de sacs, « scrap metal » pour le compte d'industriels) ou le mise en œuvre d'ensembles intégrés (collectes sélectives, déchets de chantiers ou encombrants). Les coûts associés sont encore importants. La généralisation de ces systèmes devrait apporter un effet d'échelle et diminuer les coûts dans les années à venir. Les investissements réalisés peuvent, s'ils permettent de remplacer des agents de tri et suivant les configurations des installations, être amortis sur la durée de la plupart des marchés de traitement.

Au-delà des aspects purement économiques et du taux de recyclage, la mise en œuvre de systèmes robotisés apportera de la souplesse dans la gestion des personnels de tri (emploi peu valorisant, déficit de personnels dans les zones de plein emploi, pénibilité des postes de tri, TMS...).

La mise en œuvre de machines de tri optique et un process adapté peut permettre de limiter le nombre d'agent de tri où des solutions robotisées assureraient le surtri.

A ce stade de développement, les systèmes robotisés sont complémentaires des machines de tri optique. Elles ne peuvent remplacer ces équipements conçus pour traiter d'importants volumes de déchets, avec des performances de tri élevées. Concernant les installations déjà en service, les systèmes robotisés mis en œuvre l'ont été avec pour objectif, soit de remplacer un opérateur de tri (un pour un) avec le maintien d'un poste de tri manuel, en cas de dysfonctionnement de la machine, soit pour améliorer les conditions de tri des agents, comme les flux « sales », ou des postes difficiles (pénibilité).

La mise en œuvre de ces équipements, hormis quelques cas particuliers, nécessite une préparation des flux en amont et ce quelles que soient les filières de recyclage. On constate que ces systèmes sont de plus en plus mis en œuvre dans les filières Emballages et papiers graphiques où ils apportent les avantages décrits ci-dessus. Les filières des Déchets d'Éléments d'Ameublement (DEA) ou de Matériaux de Construction du secteur du Bâtiment (PMCB), des déchets des activités économiques et DIB présentent également des perspectives intéressantes, notamment pour les déchets lourds ou de grandes dimensions pour lesquels le tri manuel est difficile. Ils permettront ainsi un tri des flux les plus lourds et de maintenir un taux de valorisation constant

D'autres filières pourraient développer l'utilisation de ces équipements mais sont, à ce stade, cantonnés dans des applications spéciales du fait de leur faible mécanisation (DEEE), des difficultés de reconnaissance ou préhension des déchets (textiles). On constate également l'apparition d'applications de niches comme le tri des métaux (scrap metal).

Même s'il est difficile de quantifier les gains en terme d'amélioration des conditions de tri des agents, l'investissement de ces équipements est compatible avec les marchés de constructions des installations de tri, aussi bien dans le secteur public que dans les marchés privés où l'amortissement peut être inférieur à cinq ou sept ans, en fonctions des types de solutions proposées. Par ailleurs, la multiplication de ces équipements devrait, à terme, entraîner une diminution de leurs coûts et contribuer ainsi améliorer le retour sur l'investissement.



# A. INTRODUCTION

# 1. LES FLUX ET LES FILIERES

En amont de l'état de l'art des technologies robotiques et numériques, il convient d'identifier avec précision les flux de déchets existants. La connaissance du panel de déchets à trier est primordiale pour pouvoir ensuite identifier les solutions de tri existantes ou en cours de développement.

## 1.1. LES DIFFERENTS FLUX DE DECHETS

Le déchet est défini, à l'article L541-1-1 du code de l'environnement, comme « toute substance ou tout objet, ou plus généralement tout bien meuble, dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire ». Tout type de déchet est identifié grâce à un code nomenclature à 6 chiffres. Cette nomenclature des déchets est une liste unique des déchets figurant dans le Code de l'environnement français. Les déchets considérés comme dangereux sont signalés par un astérisque.

La qualification de déchet entraîne l'obligation de respecter un certain nombre de précautions nécessaires pour assurer leur bonne gestion, c'est-à-dire leur collecte, transport, valorisation et élimination dans le respect de l'environnement et de la santé humaine.

La figure ci-dessous liste succinctement les principaux flux de déchets existants suivant les catégories usuellement utilisées. Elle n'est pas exhaustive et est appelée à évoluer au regard de la mise sur le marché de nouvelles matières ou de nouvelles filières de recyclage.

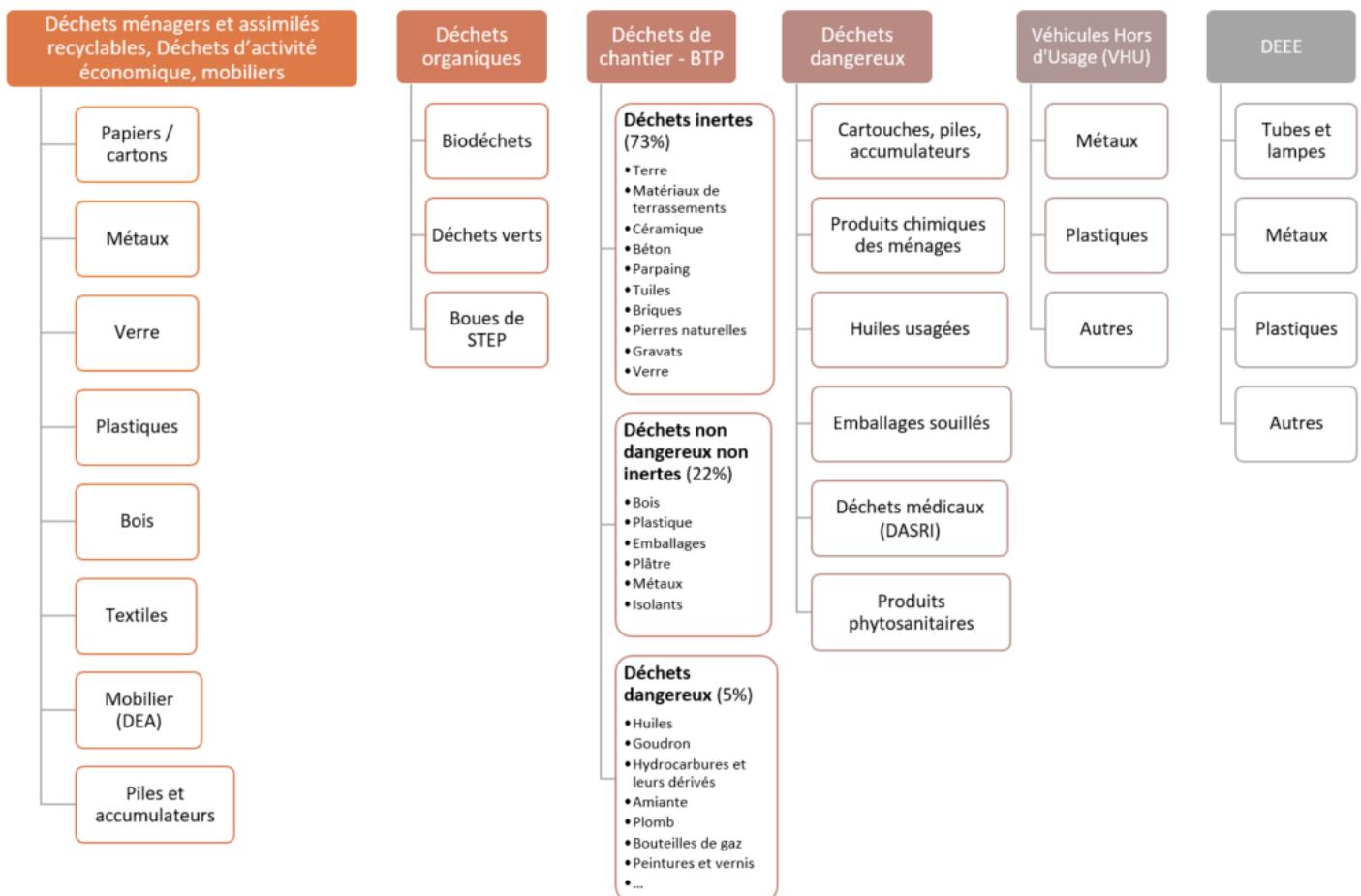


Figure 1 : Organigramme des principaux flux de déchets (liste non exhaustive)

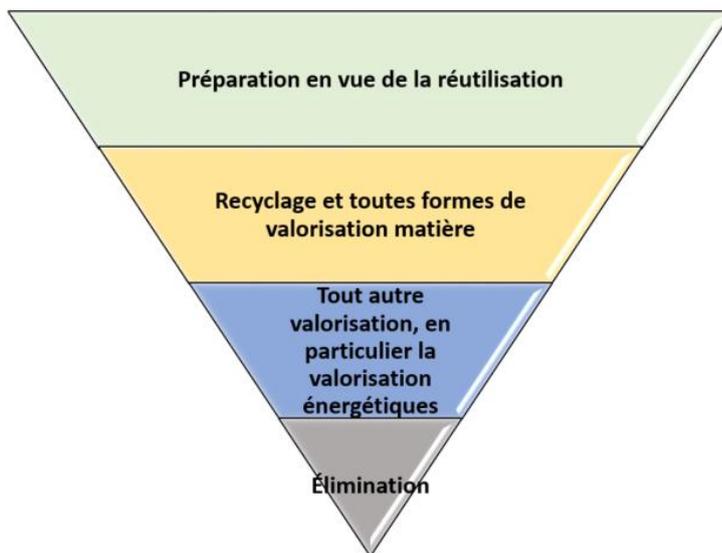
Ne figurent pas dans ce schéma les ordures ménagères qui font l'objet d'une valorisation énergétique.

## 1.2. LA HIERARCHIE DE TRAITEMENT

La hiérarchie des modes de traitement, présentée sur la figure ci-contre et définie par l'article L541-1 du Code de l'Environnement et doit être suivie par tous. Ce dernier donne la priorité à la réduction des déchets et établit une hiérarchie des modes de traitement. Elle est un des piliers de la réglementation relative aux déchets.

L'objectif de la présente étude est le recyclage et la valorisation matière, soit le 2<sup>ème</sup> échelon de la hiérarchie. Il concerne toutes les opérations de valorisation avec pour objectifs :

- Augmenter la quantité de déchets faisant l'objet d'une valorisation sous forme de matière, en orientant vers ces filières de valorisation, 65 % en 2025, des déchets non dangereux non inertes,
- Valoriser sous forme de matière 70 % des déchets du secteur du bâtiment et des travaux publics,
- Réduire de 50 %, en 2025 par rapport à 2010, les quantités de déchets non dangereux non inertes admis en installation de stockage et de 10 % les quantités de déchets ménagers et assimilés, en 2035.



## 1.3. ORGANISATION DE LA COLLECTE ET DU RECYCLAGE

En réponse aux réglementations européennes relatives au recyclage des déchets, la France a mis en place un tri des déchets produits et une valorisation de ces derniers.



Figure 2: Organisation de la collecte et du recyclage

### 1.3.1. Les différents types de collectes en France

Comme indiqué ci-avant, il existe une multitude de déchets dont le mode de collecte dépend des flux et des besoins. Les principaux modes de collectes des déchets ménagers sont les suivants :

- Collectes en porte à porte où les contenants sont affectés à un ou plusieurs producteurs de déchets (particuliers ou entreprises) et disposés à proximité de leur domicile. Ces flux sont principalement les ordures ménagères, la collecte sélective, les déchets verts. Ils sont quelques fois complétés par la collecte de verre et devrait être également renforcé par les biodéchets.
- Collectes en points d'apports volontaires ou en points de regroupement où les déchets sont déposés dans des conteneurs spécifiques installés en différents points fixes sur la zone de collecte. Ces contenants sont accessibles à l'ensemble de la population. Il est également mis en œuvre dans la distribution où ce dernier a l'obligation de reprendre un ancien appareil dans le cadre du un pour un (un appareil repris pour un appareil acheté).

- Déchetterie. Elles permettent aux particuliers et aux artisans de collecter séparément les différents flux non collectés en porte à porte ou en apport volontaire. Les flux triés sont les encombrants (moquettes, plastiques, vitres, plâtre, polystyrène, ampoules à filament) et mobilier (matelas, sommiers, canapés, tables, meubles, chaises), le bois, les métaux, les déchets inertes (gravats, béton, parpaings, cailloux, terre, briques, tuiles, carrelage...), les cartons, les déchets verts, les textiles, les déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE), les déchets spécifiques comme les aérosols, peintures, solvants, produits toxiques ménagers, huiles, produits phytosanitaires, batteries, cartouches d'encre...
- Collecte des encombrants. Les déchets provenant de l'activité domestique des ménages qui ne peuvent pas être pris en compte par la collecte habituelle des ordures ménagères ou en déchetterie en raison de leur volume ou de leur poids, nécessitent un mode de gestion particulier. La collecte est réalisée suivant un calendrier proposé par le collecteur ou sur rendez-vous.

Les déchets des activités économiques sont collectés en fonction des contrats entre les producteurs de ces déchets et les acteurs de la filière de la transformation et de la valorisation des déchets.

A l'issue de ces collectes, la valorisation des déchets collectés est assurée par différentes filières. Elles permettent de recycler ceux-ci et de les transformer en matière premières secondaires ou pour les fractions résiduelles, d'assurer une valorisation énergétique.

### 1.3.2. Les différents types de centre de tri en France

En fonction des flux de déchets collectés ci-dessus, différents types d'installations de tri /valorisation ont été créés.

Le degré d'automatisation est variable. Il est fonction de la nature des déchets et le volume à traiter. Le parc d'installation de tri des déchets est utilisé pour les déchets soumis aux filières à Responsabilité Elargie des Producteurs (REP) ainsi qu'aux déchets non soumis à REP.

Certaines REP ont fait émerger des centres de tri spécifiques comme par exemple pour la collecte sélective, le textile...). D'autres utilisent les installations déjà existantes en fonction des flux de déchets mobilisables conjointement sur ce type de process industriel.

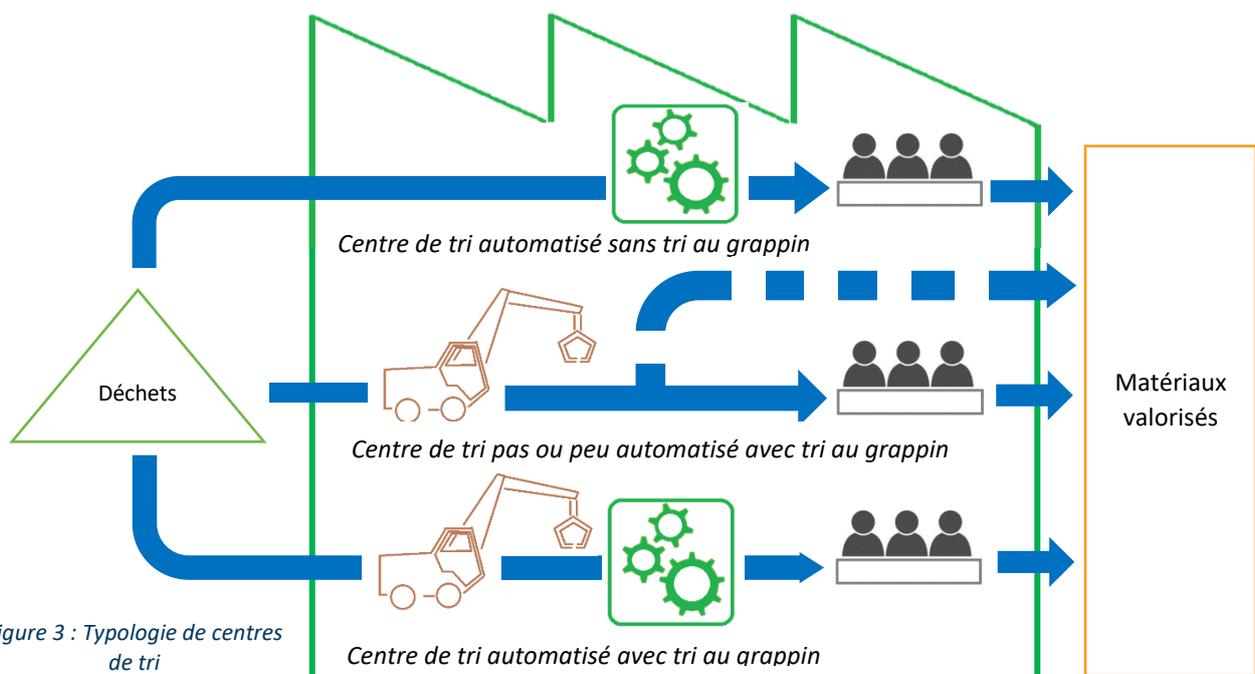


Figure 3 : Typologie de centres de tri

Vous trouverez ci-dessous la synthèse des centres de tri, intégrant leur type de tri (grappin, niveau d'automatisation), ainsi que le dimensionnement des équipes de tri en charge du tri ou du contrôle qualité (peu de personnels  ou personnels importants  ) :

Tableau 1 : Synthèse des types de centres de tri

Déchets traités	Tri au grappin	Automatisation /mécanisation	Tri/surtri	Ambiance
Collecte sélective : Verres, plastiques, acier, aluminium, journaux et magazines, papiers, cartons.	Non	importante		Poussière
déchets non dangereux issus des industries, des commerces, des artisans, ameublement, CSR,...	Oui	Moyenne		Température, Poussière
Déchets d'activité économique	Oui (pelle à grappin)	Non		Température/ Poussière/Hu midité
	Oui (chaîne manuelle)	Oui		
	Prétri (chaîne automatisée)	Oui		
Déchets de chantiers : Les déchets inertes (gravats, béton etc.) ; Les déchets non dangereux non inertes (moquette, cartons etc.) ; Les déchets dangereux (peinture solvants etc.).	Oui	Moyenne		Température/ Poussière/ humidité
DEEE : ordinateurs, téléphones, appareils électroménagers, téléviseurs...	Oui	importante		Température/ Poussière
VHU : Véhicules hors usages	Oui	importante		Température/ Poussière
Broyage : Déchets inertes	Oui	importante		Poussière
Textiles : linge de maison, serviette, drap, torchon, voilage, couverture, vêtement, maroquinerie et chaussure.	Non	Faible		Température/ Poussière

### 1.3.3. Filières à Responsabilité Elargie des Producteurs (REP)

Les filières à Responsabilité Elargie des Producteurs (REP) sont des dispositifs particuliers d'organisation de la prévention et de la gestion de déchets, qui concernent plusieurs types de produits et dont le principe est que « toute personne physique ou morale qui élabore, fabrique, manipule, traite, vend ou importe des produits générateurs de déchets ou des éléments et matériaux entrant dans leur fabrication, dite producteur au sens de la présente sous-section, de pouvoir ou de contribuer à la prévention et à la gestion des déchets qui en proviennent celui qui fabrique, qui distribue un produit

ou qui importe un produit doit pouvoir ou contribuer à l'élimination des déchets qui en proviennent(...) ». Le producteur et le distributeur doivent ainsi financer, organiser et mettre en place les solutions de collecte, de réutilisation ou de recyclage appropriées pour son produit en fin de vie.

Le but de la mise en place des REP est donc la valorisation des déchets, en respectant la hiérarchie des modes de traitement et donc en priorisant la réutilisation et la valorisation matière.

Cela passe notamment par la mise en place d'un tri poussé des matériaux composant le produit en fin de vie de manière à permettre une valorisation matière maximale. Selon le type de flux, le recours aux technologies robotisées et numériques peut s'avérer intéressant.

Les producteurs soumis à la REP ont généralement le choix de mettre en place des structures collectives (éco-organismes) ou un système individuel. Ils passent le plus souvent par la solution collective en se regroupant pour constituer une structure à but non lucratif, à laquelle ils versent une éco-contribution.

On compte aujourd'hui en France une vingtaine de filières REP dont la mise en œuvre s'est effectuée progressivement. Le tableau ci-après représente les principales filières sont :

Tableau 2 : Synthèse des gisements calculés par REP (Source : Memo REP 2021, ADEME)

REP	Année des données	Tonnages annuels (kt)	Les performances de valorisation
VHU	2018	2 398	94,2%
Emballages	2019	5 167	70% ***
Papiers graphiques	2018	2 779	59%***
DEEE	2019	1 967	85,5 %
Déchets d'Eléments d'Ameublement	2019	2 450	89,3%
Textiles	2019	648	78.4%
PMCB	2021	39 700*	90%**

\* estimation du gisement dans le cadre d'une étude de préfiguration de la filière REP PMCB, ADEME

\*\* objectif fixé dans le cadre de l'étude de préfiguration de la filière REP PMCB

\*\*\* CITEO Observatoire qualité recyclage 2018

### 1.3.3.1. REP VHU

La filière VHU fonctionne sous le principe de la REP depuis 2006 et concerne uniquement les véhicules des particuliers et les véhicules utilitaires des professionnels d'un PTAC inférieur à 3,5 tonnes. Elargissement de la filière aux autres engins motorisés (voitures particulières, camionnettes ou véhicules à moteurs à deux ou trois roues et quadricycles à moteur) à compter du 1er janvier 2021.

Sur un VHU, le flux métallique est largement majoritaire. En tonnage, les métaux ferreux représentent 70% des matières valorisées sur un VHU, et les métaux non ferreux 4%.

La France compte 1647 centres VHU agréés pour la collecte de VHU, répartis sur l'ensemble du territoire et 57 broyeurs agréés, qui collecte environ 1,5 millions de Véhicules Hors d'Usage soumis à REP, ce à quoi il faut ajouter la collecte des véhicules légers et poids lourds.

Les carcasses sont transférées aux broyeurs par les centres VHU agréés qui ont préalablement effectué les opérations obligatoires de dépollution, d'enlèvement des pneus et de démontage de pièces et matières pour répondre à leurs obligations de performance sur la fraction non métallique des VHU. Les broyeurs finalisent la prise en charge des VHU en traitant les carcasses de VHU pour en extraire les matières restantes.

Au-delà des centres VHU qui ont vocation séparer les éléments destinés au réemploi des pièces, les installations de broyage de traitement post-broyages sont mécanisés pour extraire les valorisables. Les équipements de tri sont principalement des séparateurs de flux lourds/légers, des séparateurs de ferreux et non ferreux. Un surtri manuel peu permettre d'apurer les flux.

On observe que **100% du flux métaux est valorisé en réutilisation ou recyclage**. Les matières non métalliques sont réutilisées à 12,5 %, recyclées à 38,6 %, valorisées énergétiquement à 27,1 % et mises en décharge à 21,8 %.

En considérant les matières métalliques, on atteint 94% de valorisation en 2019 (y compris valorisation énergétique), avec une proportion de 77,4% dirigée vers les filières de recyclage.

### 1.3.3.2. REP Emballages

Les flux issus des centres de collecte sélective entrent dans le cadre de cette REP. La loi AGEC étend le cadre originel de cette filière aux emballages consommés ou utilisés par les professionnels à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2025, sauf pour les entreprises de la restauration rapide pour lesquelles l'extension de la filière est entrée en vigueur le 1<sup>er</sup> janvier 2021.

- La moitié des tonnages d'emballages mis sur le marché sont en verre.
- Les flux papiers et plastiques sont dans des proportions équivalentes (~ 22%)
- Les métaux ferreux et non ferreux représentent 6% des matériaux mis sur le marché.

En 2019, 5 167 millions de tonnes d'emballages ménagers ont été mises sur le marché, dont 3 631 millions de tonnes ont été recyclées et soutenues, soit un **taux de 70,3 % de recyclage** (contre 66,7% en 2015). L'objectif national de recyclage est d'atteindre 75% de recyclage en 2022.

Les flux actuellement les mieux recyclées sont l'acier (100%), le verre (85%), le papier-carton (70%), le plastiques (**29%**) et l'aluminium (48%).

Du fait des tonnages traités et de la multitude de matières à trier (extensions des consignes de tri), les centres de tri de collectes sélectives sont très automatisés.

### 1.3.3.3. REP Papiers graphiques

La REP Papiers Graphiques est née en 2006. Son périmètre s'est élargi progressivement. CITEO est le seul éco-organisme agréé sur cette filière.

L'essentiel des volumes concerne le standard à désancrer issu des déchets ménagers, soit 71 % des tonnages. Le standard « papier-carton mêlés triés » reste très minoritaire dans les flux (0,6%).

Dans le circuit de traitement, les flux de déchets collectés sont :

- Soit envoyés vers les centres de tri de collecte sélective avant d'être achetés par des conditionneurs, recycleurs et des repreneurs. En 2019, la part dirigée vers les centres de tri correspond à environ 27% des tonnages collectés.
- Soit directement achetés par des repreneurs et/ou recycleurs finaux, sans surtri.

Le taux de recyclage est de 57%, soit 1,2 millions de tonnes de papiers recyclées. L'objectif national est d'atteindre 65% en 2022. On constate une baisse continue du gisement de papiers graphiques depuis 2014, principalement dû à l'évolution des consommations et aux politiques de prévention.

### 1.3.3.4. REP DEEE

La REP D3E est apparue en 2006, sous l'impulsion européenne. Depuis 2018, les D3E sont classés selon 7 catégories. La REP distingue les D3E ménagers des D3E professionnels. Plus de 90% des D3E collectés sont ménagers.

Les DEEE ménagers sont composés en majorité de métaux : les métaux ferreux (acier) représentent 51 % de la composition globale des D3E et les métaux non ferreux (cuivre, cobalt, indium, tantale, etc.) sont présents à hauteur de 7 %. Suivent ensuite les plastiques (19 %) et le verre (4 %).

Dans le circuit de traitement, les DEEE ménagers sont actuellement collectés auprès :

- Des collectivités locales qui ont mis en place la collecte séparée (déchèterie, collecte de proximité) et signé un contrat de reprise avec l'OCAD3E afin de bénéficier d'une indemnisation des coûts supportés pour cette collecte ;
- Des distributeurs (en reprise « un pour un » ou « un pour zéro » au magasin ou éventuellement à la livraison ;
- Des acteurs de l'économie sociale et solidaire en charge du réemploi : associations, entreprises d'insertion, recycleries, etc.
- De nouveaux canaux de collecte développés par les éco-organismes (entreprises, acteurs du recyclage, etc.).

Le nombre de points d'apport volontaire de DEEE est de 4 529 en 2020. La France compte par ailleurs 624 sites de collecte et traitement de DEEE, parmi lequel 77 sites disposant de moyens industriels mécanisés et 11 sites traitant exclusivement des fractions ou composants issus de DEEE.

L'automatisation et la mécanisation de ces process est variable suivant les DEEE à traiter. Ces étapes varient en fonction des flux à traiter et des procédés de recyclage mis en place par les opérateurs. Il est à noter que le traitement des gros D3E professionnels est plus complexe et ne suit pas ces étapes de traitement. Certains D3E spécifiques subissent des traitements différents (GEM Froid, lampes...).

Selon le dernier rapport de l'ADEME, plus de 1,2 milliard d'équipements électriques et électroniques ont été mis sur le marché en 2019, représentant 2,1 millions de tonnes.

En 2020, le rapport de l'organisme coordinateur OCAD3E enregistre une collecte de 771 325 tonnes de déchets ménagers, soit une baisse de 1,3 % par rapport à 2019 et environ 75 000 tonnes de déchets professionnels.

La filière atteint 75% de valorisation matière.

### 1.3.3.5. REP Déchets d'Eléments d'Ameublement

La filière REP DEA est opérationnelle depuis début 2013. On entend par « éléments d'ameublement » les biens meubles et leurs composants dont la fonction principale est de contribuer à l'aménagement d'un lieu d'habitation, de commerce ou d'accueil du public en offrant une assise, un couchage, du rangement, un plan de pose ou de travail.

Les DEA sont répartis en 11 catégories. La loi AGECE prévoit l'élargissement du périmètre de la REP aux éléments de décoration textile au 1<sup>er</sup> janvier 2022. La filière DEA est aujourd'hui structurée autour de 2 éco-organismes, agréés pour la période 2018-2023 : Eco-mobilier et Valdelia.

D'après les caractérisations effectuées en 2018 par les 2 éco-organismes, **le bois est le matériau majoritaire sur les DEA collectés (66%)**. Les matelas et rembourrés d'assises ou de couchage représentent également une part importante des tonnages collectés.

Une fois collectés, les DEA sont envoyés dans des installations de tri et de traitement sous contrat avec les éco-organismes.

Les opérations de tri/préparation des matériaux diffèrent selon l'éco-organisme :

- Eco-mobilier : Les opérateurs réalisent un tri conventionnel, les matières sont séparées par matériaux en vue du recyclage ou de la valorisation énergétique.
- Valdelia : Les opérateurs réalisent un tri par fonction en distinguant les assises (10%) et les non-assises (85%)

Les DEA font l'objet d'un tri conventionnel sur un process similaire aux installations de déchets industriels ou des matériaux de construction du bâtiment. Dans ce cadre, les process de tri sont automatisés pour séparer les différentes

matières à valoriser : trieurs optiques, séparateur de ferreux et non ferreux. Un surtri manuel des matériaux séparés permet d'affiner la qualité des matières triées.

1 210 milliers de tonnes de DEA ont été traitées par la filière en 2018. Le taux de valorisation globale est de 81%. **La filière atteint 51,5% de valorisation matière (réutilisation + recyclage)**. L'objectif national est de 50% de taux de réutilisation et de recyclage d'ici 2022.

#### 1.3.3.6. REP Textiles

La REP Textiles, linge de maison et chaussures (TLC) est née en 2007. Un seul éco-organisme est agréé pour cette REP : ReFashion (anciennement Eco TLC), dont l'agrément actuel vaut pour la période 2019-2022.

Cette REP n'inclut pas les textiles sanitaires à usage unique, ce flux fera l'objet d'une filière REP spécifique à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2024.

Seul le tri industriel est éligible au soutien financier de la filière. Il consiste à classer chacune des pièces dans une des 4 catégories (Réutilisation ou friperie, chiffons d'Essuyage, Recyclage par effilochage et rebut à éliminer). Ce type de tri est aujourd'hui réalisé dans 63 centres de tri (dont 14 hors France).

Les textiles collectés sont aujourd'hui **triés manuellement**, avec comme objectif premier la réutilisation. Toutefois, cela limite leur recyclage car 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, mais également couleur, des textiles est donc une brique indispensable de la chaîne de recyclage et de la valorisation matière. **L'application du tri optique des matières et des couleurs à la filière textiles est encore au stade développement en France**. Il existe déjà des unités de tri matière des textiles à l'échelle pilote en Europe.

En 2019, 249 000 tonnes de TLC ont été collectées en France, affichant une progression nette de 10 000 tonnes (+ 4%) par rapport aux tonnages collectés en 2018. Près de 58% des TLC triés ont fait l'objet d'une réutilisation et 33,5% des TLC triés ont fait l'objet d'une valorisation matière. La part restante est envoyée en installations CSR et de valorisation énergétique.

#### 1.3.3.7. Future REP PMCB (Produits et les Matériaux de Construction du secteur du Bâtiment)

En application de la loi AGECE, un projet de décret a été mis en consultation jusqu'au 26 juillet 2021 pour la mise en place d'une filière REP pour les déchets du bâtiment à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2022 : REP PMCB (Produits et les Matériaux de Construction du secteur du Bâtiment). L'objectif de la REP est notamment d'améliorer le tri des matériaux en vue de leur recyclage.

La nouvelle REP PMCB concernera tous « les matériaux et les produits, y compris de décoration, fabriqués en vue d'être incorporés, assemblés, utilisés ou installés dans des bâtiments ou sur les parcelles sur lesquelles ils sont construits ». Seuls les produits utilisés temporairement pour la durée du chantier ne sont pas concernés.

Plus précisément, le texte classe ces produits et matériaux en deux grandes catégories :

- Produits de construction constitués majoritairement de minéraux et les équipements sanitaires et de salle d'eau, ne contenant pas de verre. Ce périmètre recoupe ainsi les produits à l'origine des déchets inertes qui représentent environ 75 % des déchets du bâtiment.
- Produits et matériaux du second œuvre, représentant 23 % des déchets du bâtiment et classés en 9 familles (Les métaux, le bois, les produits dangereux, les menuiseries, le plâtre, le plastique, le bitume, les laines minérales et autres (les PMCB d'origine végétale, animale, ou à base de textile...))

La REP concerne tous les PMCB à l'exception des terres excavées et des déchets issus des installations techniques industrielles, des installations nucléaires de base et des monuments funéraires.

Le projet de décret précise que la collecte est considérée comme séparée si les déchets sont triés :

- En « cinq flux » : papier, métaux, plastiques, bois, verre (application de l'article D543-281 du Code de l'environnement)
- Selon le découpage en deux catégories (« inertes hors verre » et « autres ») et neuf familles (pour la catégorie « autres ») – voir plus haut

La collecte en mélange (tri simplifié) est également autorisée dans certaines conditions, notamment pour les déchets de PMCB collecté par le service public (bennes tout-venant en déchèterie).

### 1.3.4. Autres filières de collecte et recyclage

En plus des filières standards, les entreprises proposent d'autres solutions à leurs clients, afin de gérer les déchets recyclables et non recyclables et améliorer l'efficacité du tri.

#### Tri 5 flux / Tri 7 flux des déchets des activités économiques

Depuis juillet 2016, les professionnels ont l'obligation de trier 5 types de déchets ou tri « 5 flux », dans des poubelles dédiées: Papier/carton, Métal, Plastique, Verre et bois,

Un décret, publié le 18 juillet 2021, modifie les dispositions réglementaires relatives aux conditions de tri à la source et de collecte séparée des déchets non dangereux des activités économiques de la loi relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire (AGEC). Pour les déchets de construction et démolition, le texte ajoute ainsi aux "cinq flux" en vigueur, deux nouveaux flux ("sept flux") à trier séparément : les déchets de fraction minérale (gravats, béton, brique, tuile, ardoise, céramiques...) et le plâtre.

L'obligation de tri des déchets de textile est prévue à partir du 1er janvier 2025.

#### Conditions de tri

Le surtri de ces flux n'est pas mécanisé. Le tri à la source est réalisé par les entreprises. Certains opérateurs réalisent cette prestation de tri au grappin, pour le compte de ces dernières.

#### Déchets en mélange (lien 5/7 flux)

Depuis 1995, tous les producteurs de déchets d'emballages (hors ménages) sont soumis à l'obligation légale de trier et faire valoriser leurs déchets d'emballages. Cette obligation de tri et de valorisation a été étendue à 5 flux à partir du 1er Juillet 2016. Toute implantation produisant ce type de déchets, comme par exemple les commerces, est tenue de les trier et de les valoriser.

Il est possible de laisser un ou plusieurs de ces flux en mélange entre eux si un prestataire de traitement assure leur tri ultérieur et leur valorisation. Ces derniers fournissent annuellement une attestation au producteur de déchet mentionnant la quantité et la nature des déchets qui lui ont été confiés pour valorisation.



Figure 4: Exemple d'installation de tri manuel

#### Conditions de tri

Certains opérateurs réalisent cette prestation de tri ou de prétri au grappin. Le surtri de ces flux n'est pas ou peu mécanisé. Quelques installations ont été mises en service. Elles sont rustiques et on recourt majoritairement à un tri manuel.

### Déchets de fabrication / chutes neuves

Les déchets de fabrications sont produits par les usines de fabrication et de transformation des matières premières ou des produits transformés.

Ces déchets sont majoritairement constitués de ferreux ou non ferreux, notamment les produits issus de la sidérurgie qui sont quasi intégralement recyclés au sein même des usines qui les ont produites, les rognures ou chutes des usines de production. Ils sont triés à la source par les entreprises et recyclés par les producteurs de métaux ou les papetiers (négoce direct ou opérateurs).

## 1.4. SYNERGIE FILIERES ET FLUX TRIÉS

La valorisation matière s'organise en filière de recyclage selon les flux de matériaux triés. Il convient donc d'appréhender les **synergies entre les filières de prise en charge et les filières de recyclage (in fine les flux triés)**. Ainsi, l'infographie ci-après illustre les relations entre les filières de collecte décrites plus haut et les principales filières de recyclage.

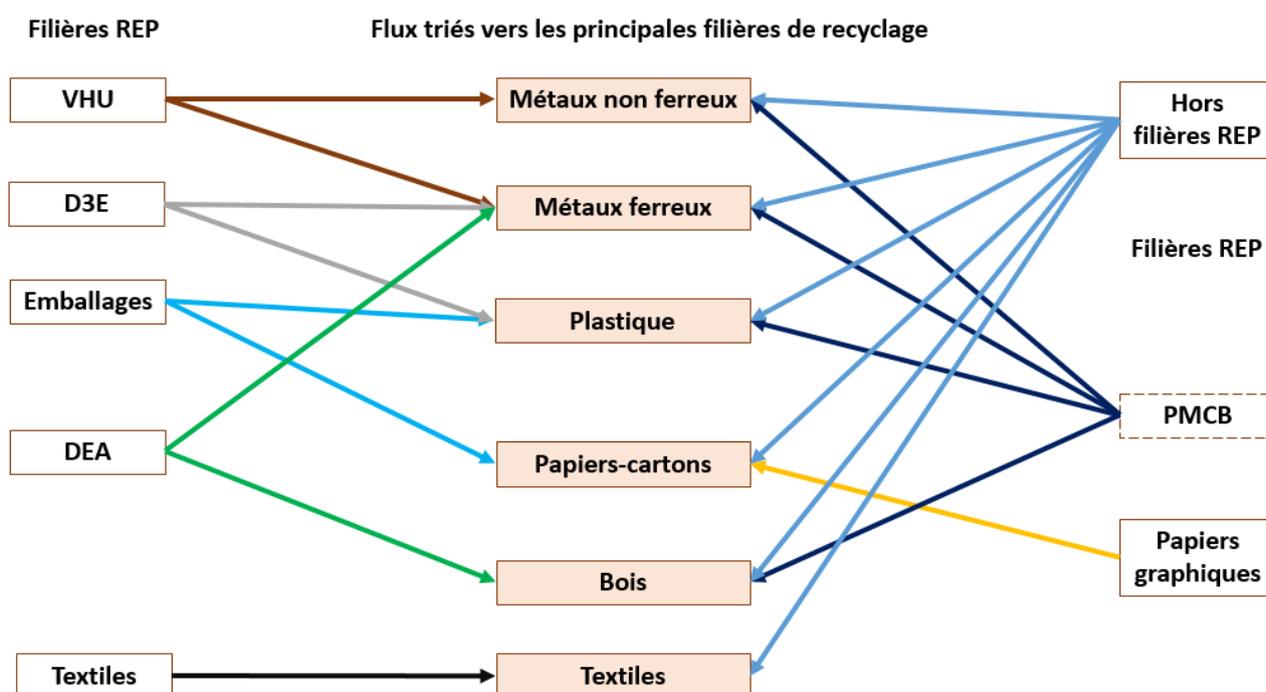
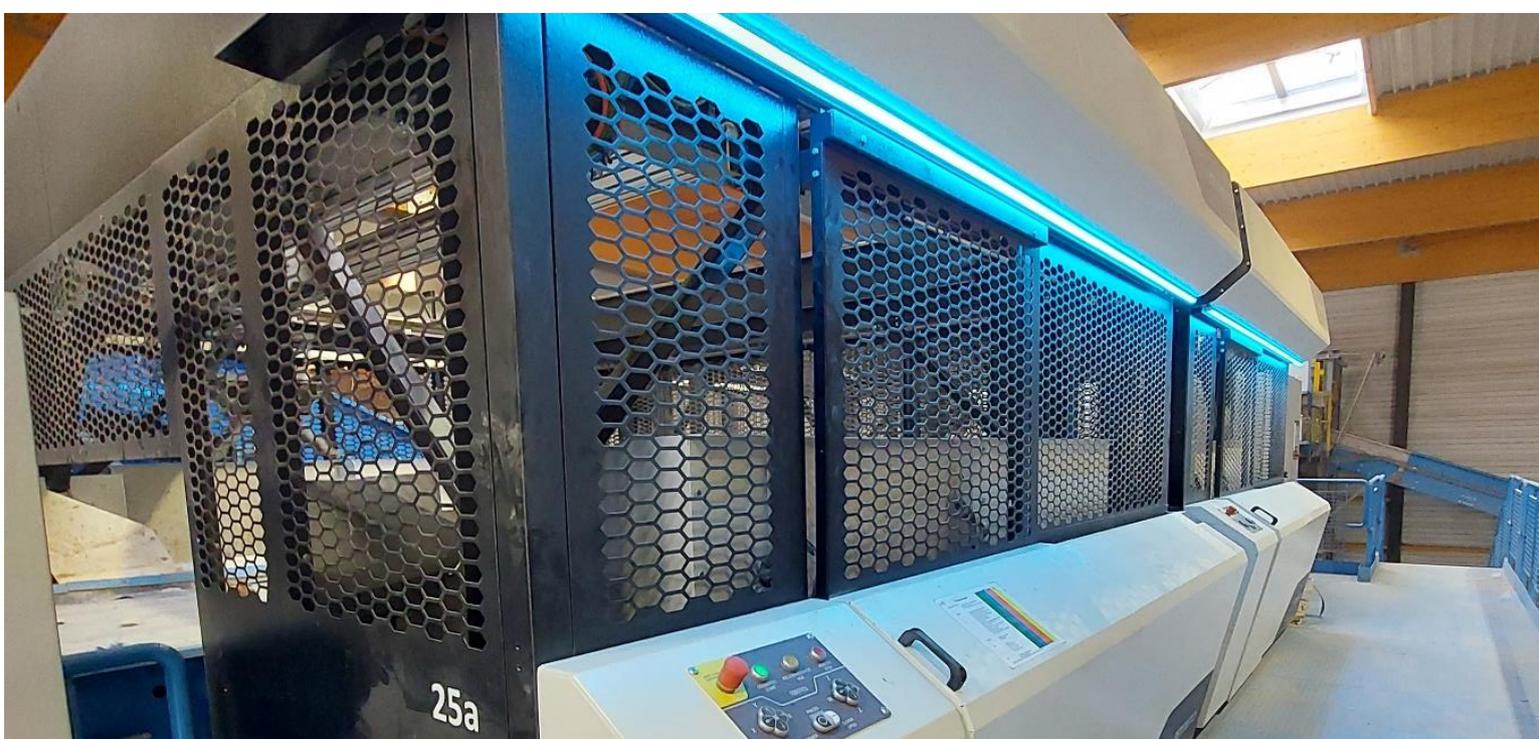


Figure 5 : Synergie filières de prise en charge et filière de recyclage (non exhaustif)

Au regard des centres de tri, il apparaît que le niveau d'automatisation et de mécanisation sont très avancés dans le tri de certains flux alors que d'autres filières doivent investir dans ce sens en vue d'améliorer les performances.



## **B. TECHNOLOGIES ROBOTIQUES, AUTOMATISATION ET NUMERIQUES PERMETTANT D'AMELIORER LES CONDITIONS DE TRI ET DE VALORISATION DES DECHETS**

Le présent document porte sur une « Etude structurante sur les Technologies Robotiques et Numériques pour le Tri des Déchets », permettant d'améliorer les conditions de tri et de valorisation de ces derniers.

En complément des types de centres de tri listés précédemment, il convient de détailler l'organisation générale des installations de tri moyennement ou très automatisées, telle qu'elles sont conçues actuellement:

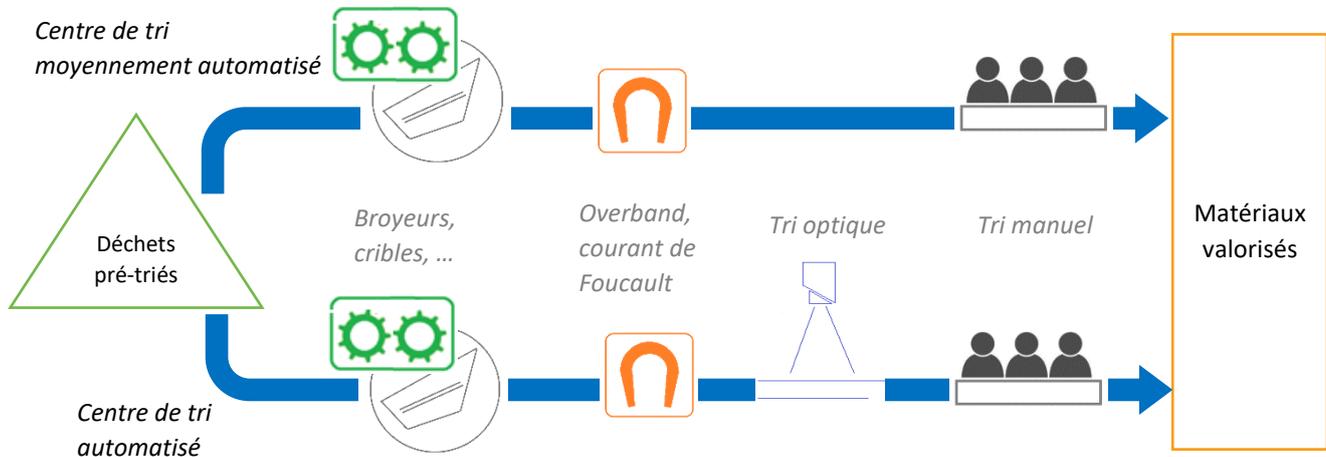


Figure 6 : Niveau d'automatisation des process de tri

L'automatisation, le numérique et plus particulièrement la robotisation offrent des perspectives de progrès pour la filière de traitement des déchets. Elles complètent l'offre déjà disponible des équipements de tri et notamment les machines de tri optiques, associées maintenant à l'intelligence artificielle, dont les performances évoluent constamment. Le déploiement de ces nouvelles technologies nécessite une grande part d'innovation, de recherche et développement et de calibration, en vue de leur généralisation.

Par ailleurs, les différents centres de tri, quel que soit les déchets entrants, cherchent à mieux identifier les différents flux. Ce besoin a conduit à développer des technologies couplant reconnaissance d'images et intelligence artificielle qui permettront d'identifier ou de qualifier la qualité des flux entrant ou des matériaux recyclés, sans tri. Ces équipements permettent de quantifier les flux entrants ou identifient des matériaux ou indésirables et de transmettre des informations pertinentes vers la supervision ou le personnel d'exploitation. Ces techniques, proches de technologie robotique et numérique (reconnaissance et qualification de déchets), se développent et sont expérimentées sur des installations de tri comme les installations de tri des collectes sélectives ou de production de CSR. CITEO pilote un appel à projet pour la réalisation de projets avec ces technologies et qui permettront d'optimiser la qualité des matériaux recyclés, tant pendant la collecte que pour le traitement et le contrôle qualité. Elles ne font pas l'objet de cette étude.

Les opérateurs sont également confrontés à des facteurs de risques psychosociaux et organisationnels liés aux répétitivités gestuelles effectuées sous contraintes temporelles, au travail posté sur chaîne, à la vitesse de défilement des convoyeurs, à l'exigence de qualité du travail, à la vigilance pour faire face à des produits indésirables, voire dangereux (piquants-coupants tranchants principalement et produits corrosifs); Les troubles respiratoires ou de la peau et des yeux causés par les poussières en suspension.

Les conditions de travail sont enfin dégradées par des facteurs environnementaux défavorables concernant le niveau sonore des véhicules et divers équipements lourds, l'atmosphère potentiellement poussiéreuse et malodorante issue des déchets, les diverses vibrations générées par les séparateurs, voire la température ou l'hygrométrie inconfortables.

Dans ce cadre, l'INRS a publié des brochures pour détailler ces risques comme, par exemple, l'ED6098, consacré aux installations de tri de collecte sélectives. Dans le même esprit, l'AFNOR a établi une norme X35-702 pour la conception des cabines de tri et l'aménagement des postes de travail dans les centres de tri de collecte sélective.

## 2. LES MACHINES DE TRI OPTIQUE

Depuis une quinzaine d'année, les machines de tri optiques ont été intégrées dans des process de tri de déchets, avec pour objectif d'améliorer :

- Les qualités du tri des matières par la reconnaissance des matériaux et non plus par leur granulométrie ou leur forme (2D ou plat/3D ou en forme),
- Les rendements (tonnages) des installations).

Le principe de fonctionnement permet de détecter à l'aide de capteurs optiques, fondées sur des technologies brevetées. Les technologies embarquées la spectrométrie proche infrarouge et visible, l'induction et les rayons X.

Les objets détectés sont éjectés par des buses d'air comprimé qui influent sur la trajectoire balistique des objets et permettent une séparation des flux.



Figure 7: Principe de fonctionnement d'un tri optique (Source TOMRA)

Les constructeurs de ces machines proposent des gammes adaptées à la plupart des matériaux à trier et offrent la garantie de hauts rendements

Ces machines sont conçues pour traiter des débits importants allant jusqu'à plusieurs tonnes par heure grâce à un dimensionnement très large des convoyeurs et des scanners de ces machines. La contrainte de ces équipements tient surtout dans les dimensions et les masses des objets à capter. A l'inverse, des machines ont été développées pour traiter des flux contenant des objets de quelques millimètres.

Dans la plupart des process de tri, les flux à trier nécessitent une préparation où la granulométrie des déchets doit être homogène, comme la collecte sélective, les déchets d'activité économique ou industriel.



Figure 8: Typologie des produits triés par les machines optiques

Elles permettent le tri de volumes importants mais peuvent être limitées par les dimensions ou le poids des objets à trier.

De nombreux fournisseurs proposent ces équipements à la fois performants et fiables, comme TOMRA, PELLENC ST, NRT, STEINERT, REDWAVE, PICVISA, ... Les constructeurs consacrent également des budgets importants dans la recherche et le développement du couple trieur optique et intelligence artificielle. Cela permettra, à terme, d'améliorer les performances de ce types d'équipements et de gagner quelques points dans la qualité du tri, notamment dans le tri des plastiques ou du bois.



Figure 9: Exemples de machines de tri optique (sources TOMRA, NRT, PELLENC ST)

### 3. QU'EST-CE QU'UNE TECHNOLOGIE ROBOTIQUE ET NUMERIQUE ?

#### 3.1. FONCTIONNEMENT

Le principe de fonctionnement de ces ensembles, indépendamment des flux à trier, est basé sur un schéma standard comme décrit sur le schéma ci-après :

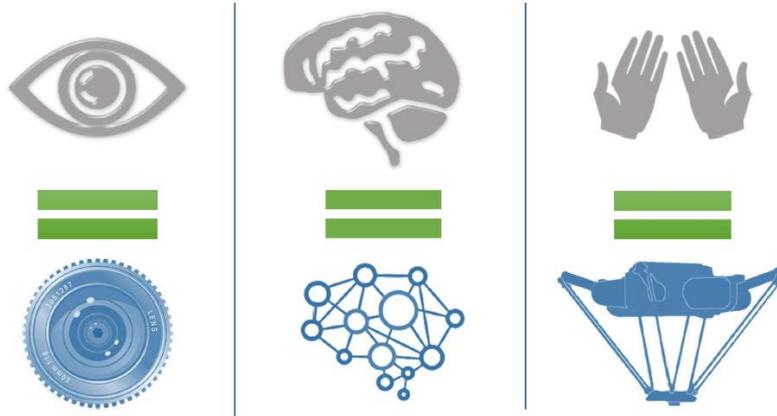


Figure 10: module constituant un ensemble (source MAX AI)

L'ensemble est décomposé en :

- Un **système d'acquisition de données**, en charge d'identifier les produits en amont du tri des déchets,
- Une reconnaissance et interprétation des objets par **l'intelligence artificielle** (algorithme de traitement),
- Un ensemble d'automatisation (**manipulateur/préhenseur**) pour capter les objets reconnus et à prélever.

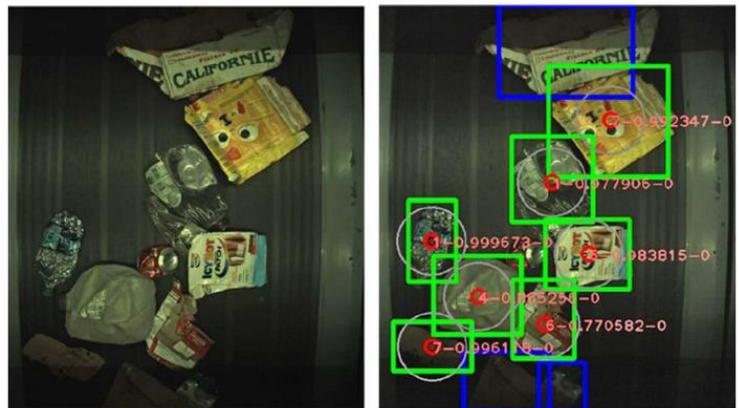


Figure 11: Exemple de vision et reconnaissance (source MAX AI)

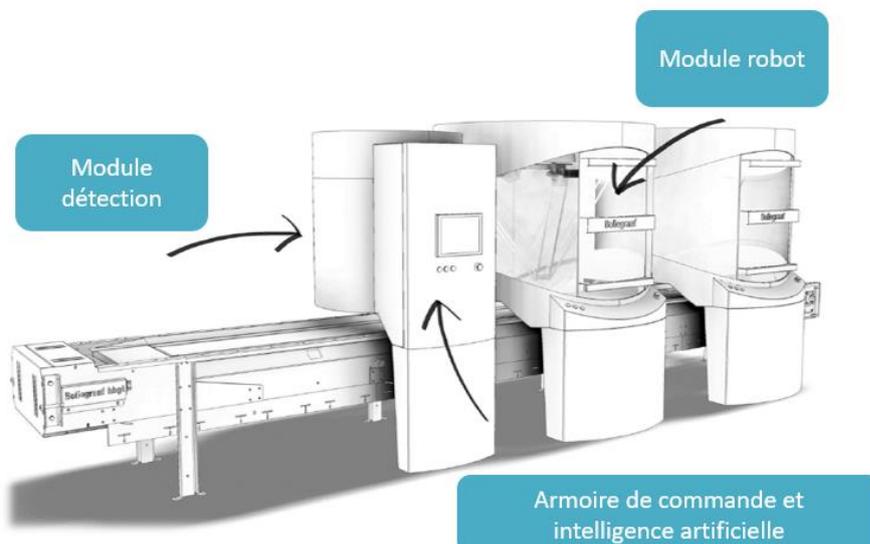


Figure 12 : Exemple d'ensemble robotisé (source Bollegraaf)

### 3.1.1. Contraintes

Comme décrit dans le précédent chapitre, les systèmes robotisés/automatisés doivent intégrer des paramètres qui vont déterminer le degré d'intégration et de mise en œuvre. Ils sont fonction des flux à trier, des environnement d'exploitation et des limites des matériels de tri.

Les contraintes sont classées comme suit :

- **Types de produits** à trier et notamment,
  - La **granulométrie** des déchets à trier (dimension et poids), qui pourra imposer le type de robot à mettre en œuvre ainsi que le type de moyen de préhension des objets.
  - Le type de déchet à trier, comme sa **nature** (plastique, bois, béton...), et sa **qualité** comme, par exemple, la présence d'huiles ou de graisses
- **Volumes** à trier,
  - Le tonnage à traiter (débit horaire) dimensionnera le nombre de manipulateur/préhenseur et/ou le dimensionnement du convoyeur de transfert,
  - En fonction du nombre d'objet à prélever, il faudra intégrer le temps de réponse de l'acquisition des images et du temps de traitement. Ces informations définiront la cadence maximum.
- **Environnement**. Comme vu dans le précédent chapitre, l'environnement des centres de tri est variable et dépend du type de flux trié. Ces contraintes sont principalement :
  - Température,
  - Luminosité,
  - Poussière,
  - Humidité.

En fonction de ces données, l'équipement intégrera des niveaux d'exigences matérielles (kit hors gel, étanchéité IP, réchauffeur d'huile) mais également des contraintes organisationnelles (fréquences de nettoyage).

L'intégration sera également à appréhender dans l'environnement où sera implanter le système robotisé : hauteur ou zone limité...

- **Législation** et **normes**. Comme nous l'avons constaté dans les informations communiquées par les différents constructeurs, les équipements industriels doivent respecter les réglementations en vigueur et les normes associés lors de leur mise sur le marché. C'est la **directive machine** 2006/42/CE « Machines » qui devra être appliquée sur les équipements industriels. Une analyse de risque est à réaliser pour chaque installation afin d'adapter la protection des personnels en fonction du niveau de risque identifié. Sur les sites d'exploitation, c'est le code du travail qui régit les règles à respecter concernant la sécurité des travailleurs.

### 3.1.2. Système d'acquisition de données et intelligence artificielle (algorithme de traitement)

Le tri des déchets suppose dans un premier temps de les identifier. Cette opération est la combinaison entre le capteur, en charge de visionner les objets, et l'intelligence artificielle/calculateur, qui identifie les objets en les comparant à une base de donnée et transmet une consigne au couple manipulateur/préhenseur.

Les outils de visions sont des matériels du commerce. Ils sont adaptés aux applications auxquelles ils sont dédiés. Certains outils de détection sont développés spécifiquement par les constructeurs. Ci-après les principaux matériels de détection :

Tableau 3: Capteurs utilisés par les différents constructeurs

Technique de détection	Objectif	Système utilisant la technique
Caméra	Identification des objets	Samurai, Max-AI (ACQ), RoBB-AQC, AIRSS
Caméra RGB	Détection de couleur et de la forme des objets	Tous les robots
Capteur 3D	Création d'une carte de hauteur 2D isométrique	Heavy Picker, Max-AI, Waste Robotics, Recycleye, STEINERT
Capteur de hauteur	L'identification des objets individuels par détection de la taille et relief de surface	RoBB-AQC
Capteur d'imagerie spectral (NIR)	Fréquence de réflexion	RoBB-AQC, Heavy Picker, I-Bot HYP Model, STEINERT, Waste Robotics
Capteur d'imagerie en métal métaux	Identification des métaux	Heavy Picker
capteur de spectre de lumière visuel VIS	Identification des caractéristiques des objets	Heavy Picker

Ainsi après la détection de produits de différentes tailles et formes sur un flux continu de produits, les images captées, contenant, ou non, les produits à détecter (exemple, béton et/ou bois, et/ou cuivre /acier, et/ou etc. ...), sont présentées aux algorithmes. Sur chaque image, est associé une "annotation" de segmentation ou « contourage » précis des pièces à détecter, ainsi qu'un label ("béton" ou "bois" ou "cuivre" ou "etc. ..."). Le but de l'algorithme est, pour une chaque image, de localiser et labelliser des pièces de béton, bois, cuivre, etc...

Différents algorithmes sont proposés en open-source sur le marché. Les images captées alimentent une base de donnée qui permet d'améliorer, au fur et à mesure de l'accumulation de ces images, la reconnaissance et la captation des déchets. De ce fait, l'obtention d'un taux de captation important du système peut prendre quelques semaines.



Figure 13 : Identification des objets (segmentation Recycleye)

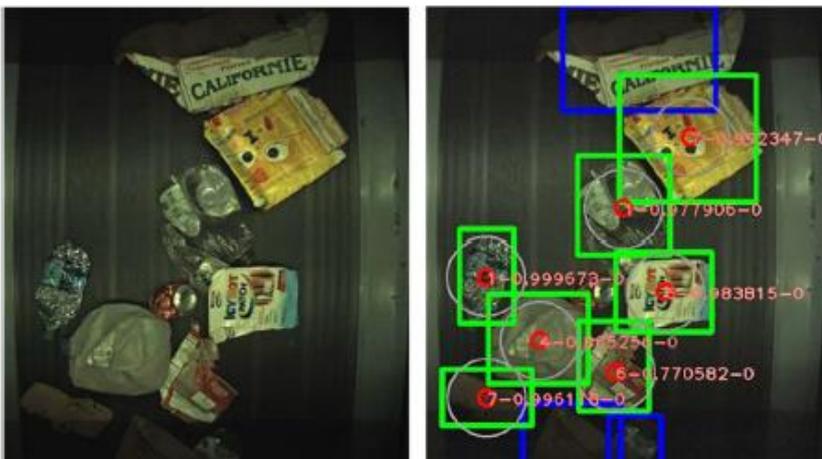


Figure 14: Identification des objets (segmentation MAX AI)

L'intelligence artificielle est constituée d'un réseau de neurones (base de donnée) qui permet de doper l'efficacité de tri. Ces données doivent impérativement être adaptées à la collecte traitée, en collaboration avec le client afin de définir les catégories de matières à trier (par exemple, PET Clair, PET Vert, PET Bleu, Cigarettes, etc.) de manière vraiment précise et sans ambiguïté. Il s'agit toujours d'une amélioration continue et qui se poursuivra car les déchets changent constamment, tant sur leur

morphologie que dans les types, comme par exemple, la définition de leurs teintes.

### 3.1.3. Un ensemble d'automatisation : manipulateur/préhenseur

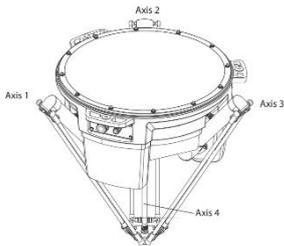
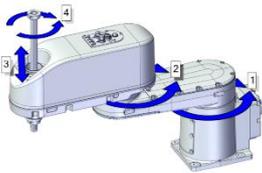
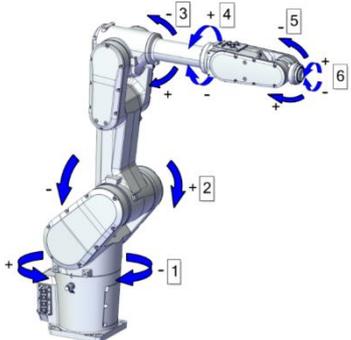
Cet ensemble est le prolongement de la détection et de l'identification des déchets à trier.

#### 3.1.3.1. Manipulateur ou robot

Comme décrit dans le chapitre 2.1.1, le manipulateur est dimensionné en fonction des objets qu'il devra trier (granulométrie et masse), du nombre d'objet à trier (volume).

Les manipulateurs ou robots mis en œuvre dans les solutions proposées peuvent être de différents types. Ils sont détaillés dans les caractéristiques des équipements de la partie C. Ils sont regroupés dans différentes familles de robots et identifiés en fonction des axes (ou degrés de liberté) leur permettant de réaliser les tâches pour lesquels ils sont programmés. Le détail ci-dessous permettra une meilleure compréhension des fiches techniques des équipements identifiés dans la partie suivante.

Tableau 4: Familles de robots (source ABB)

4 axes delta	4 axes Scara	6 axes
		

Le dimensionnement de la machine est donc fonction du type de déchets à trier et la quantité de d'objet à capter :

Définition des déchets à trier	Capacité du robot
Granulométrie	Charge et débattement
Masse	Charge
Nature du produit (2D/3D ou volume), l'état de sa surface et la présence d'huiles ou de graisses	
Nombre d'objet à prélever	Vélocité Nombre de robots à mettre en œuvre.

Ces paramètres définiront le préhenseur à utiliser. La masse de ce dernier est à intégrer dans la capacité du robot mais également dans les vitesses d'évolution de ce dernier.

Le graphique ci-dessous illustre ces informations :

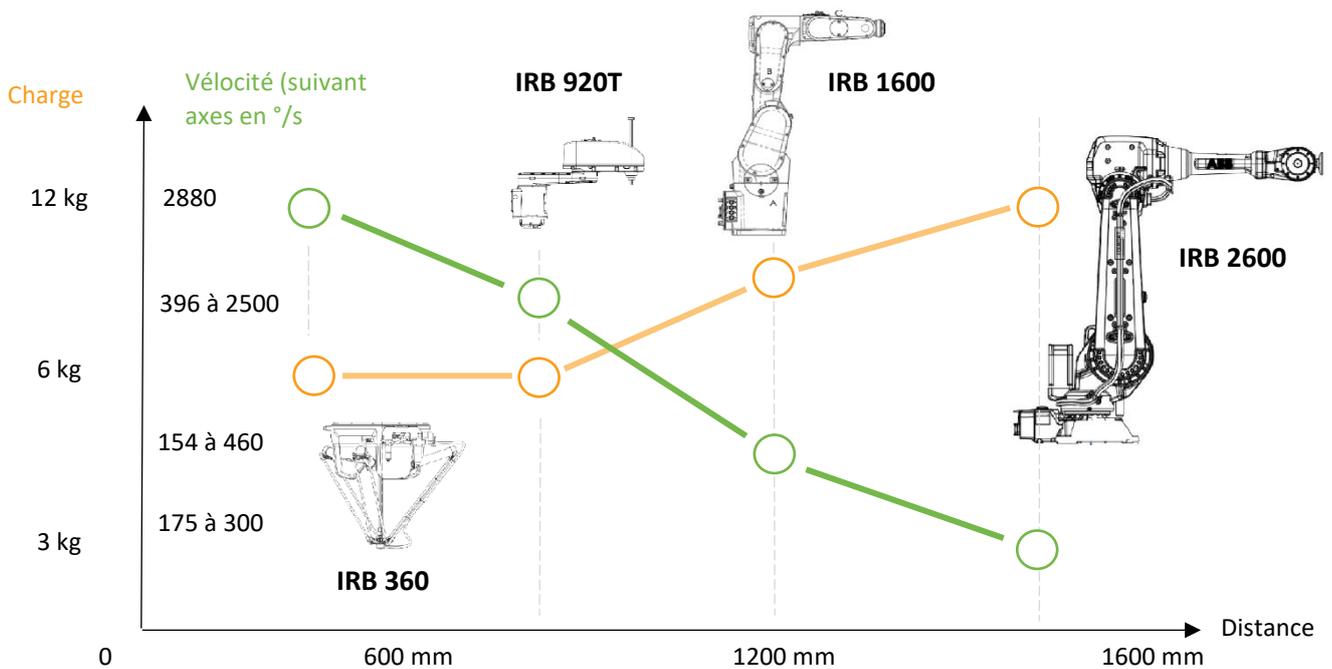


Figure 15 : Abaque Charge / Vitesse / Débattement (source ABB)

Indépendamment du nombre d'objets à trier, la dimension et la masse des déchets influent également sur le type de robot à mettre en œuvre, comme l'illustre la figure ci-après :

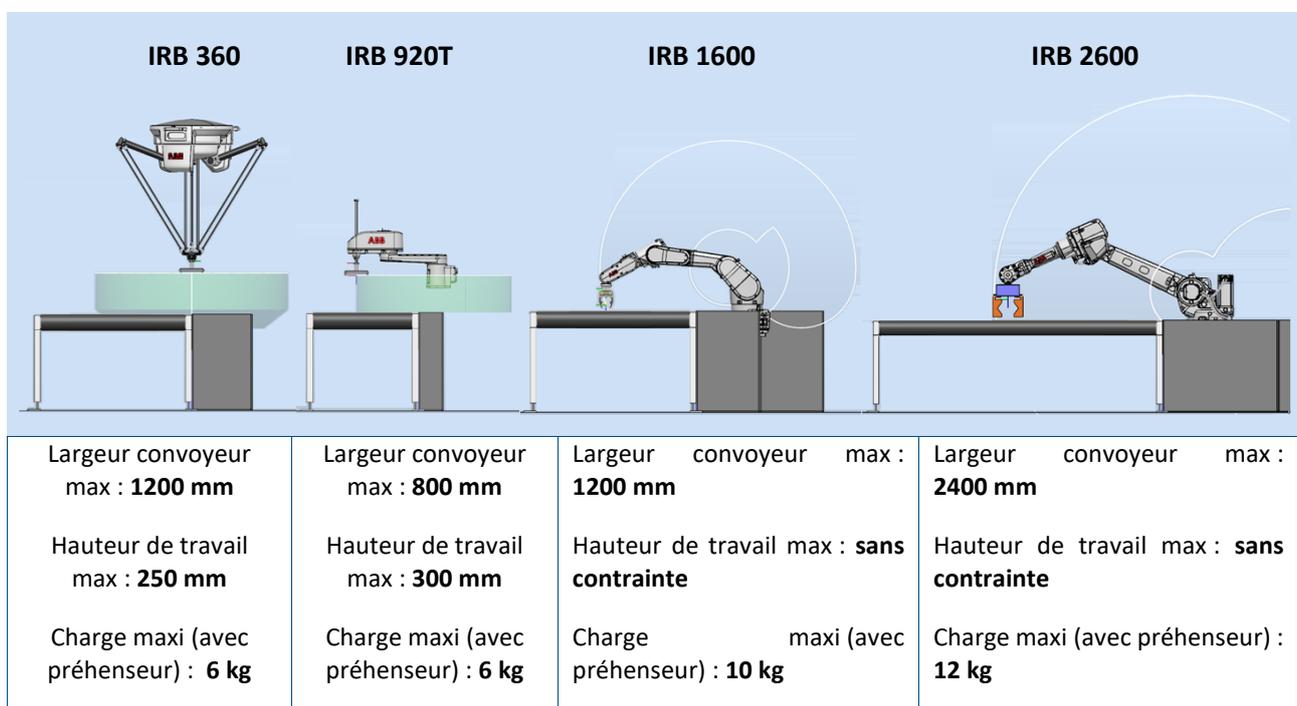


Figure 16 : Gamme robots et débattements (source ABB)

### 3.1.3.2. Robot, robot collaboratif, robot coopératif

La plupart des équipements commercialisés dans le tri des déchets utilisent des robots « classique ». A ce jour, seul MAX AI propose un robot collaboratif AQ-C. Ces matériels équiperont un site de tri à partir de 2022.

Tableau 5: Comparatif des types de robots

Robots classiques	Robots Collaboratifs (ou Cobot)	Robots Coopératifs
<p>Robots conçus pour effectuer une seule tâche. Ils sont érigés avec des barrières pour sécuriser l'espace de travail.</p>	<p>Des robots autonomes et intégrés dans des cellules robotiques, ils peuvent travailler à proximité des opérateurs ou/et être en relation directe avec eux.</p>	<p>Des robots autonomes, peuvent partager le même espace de travail avec les opérateurs. C'est une solution privilégiée pour les applications nécessitant une interaction Homme – machine limitée.</p>
 <p>Figure 17 : Robot de tri (Source RECYCLEYE)</p>		 <p>Figure 18 : Robot coopératif AQ-C (source MAX AI)</p>
<p>Nécessite un espace conséquent pour définir un zone de protection de sécurité physique, en périphérie</p>	<p>Ne nécessite pas d'une zone d'évolution importante. La protection de sécurité est intégrée à l'équipement</p>	
<p>Aucun contact avec les opérateurs</p>	<p>Adapté aux application nécessitant une collaboration étroite avec les opérateurs</p>	<p>Action indépendante de celle de l'opérateur</p>
<p>Vitesse maximale</p>	<p>2 modes de vitesse disponible</p>	<p>Vitesse faible</p>

### 3.1.3.3. Préhenseur

La préhension devient l'élément le plus important dans les systèmes automatisés : Chaque produit à capter nécessite une prise et le transport du déchet adapté jusqu'à son exutoire. Deux grandes familles se dégagent :

- **Prise par ventouse** : Généralisé dans les systèmes mis en œuvre pour le tri des collectes sélectives, ils sont adaptés pour capter indifféremment des éléments plats (papiers/cartons), ou des éléments en volumes comme des bouteilles et des canettes. Les déchets sont de types légers.
- **Prise par pince** : Fréquemment rencontré sur les installations de DIB, il permet de prendre des déchets lourds ou de grandes dimensions, comme des déchets inertes, du bois, ...

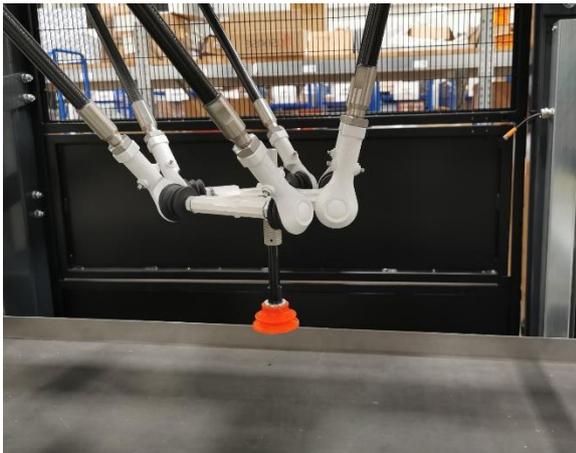


Figure 19 : Préhension par ventouse pneumatique (source Recycleye)

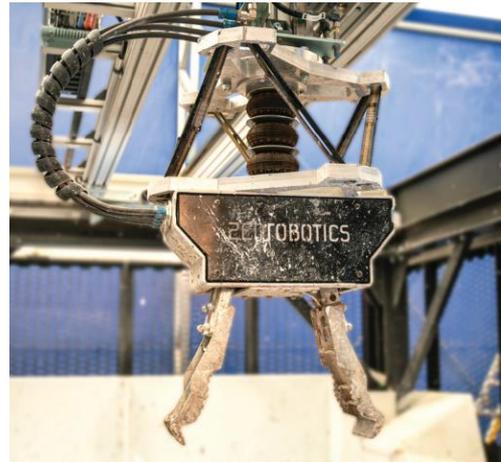


Figure 20: Préhension par pince (source ZenRobotics)

La majorité des préhenseurs sont "mono prise", c'est à dire qu'ils ne disposent que d'une fonction. Les constructeurs adaptent les préhensions en fonction de la nature des déchets à capter comme des électroaimants pour la prise de pièces métalliques. Depuis peu, certains constructeurs proposent une combinaison qui permettra d'entrevoir des préhenseurs multifonctions, permettant une prise efficace et la sécurisation du produit pour son transport, dans le cas de pièces lourdes et avec un temps de cycle élevé (prise et sécurité d'évacuation).

Enfin, pour améliorer la prise des déchets en volume, certains préhenseurs sont équipés d'un mécanisme de compliance ou amortisseur ou bien de capteurs complémentaires fixes ou embarqués. Ils sont régulièrement adaptés en fonction des contraintes liées aux objets à saisir.

L'outil de préhension influe sur le type de robot à mettre en œuvre (masse embarquée).

### 3.1.4. Interface Homme machine

Les systèmes automatisés sont commercialisés avec une interface IHM communicante et intuitive qui permet :

- Le pilotage des déchets à trier par type,
- L'interfaçage avec le process
- L'affichage de rapports d'exploitation ou la remontée d'informations de production

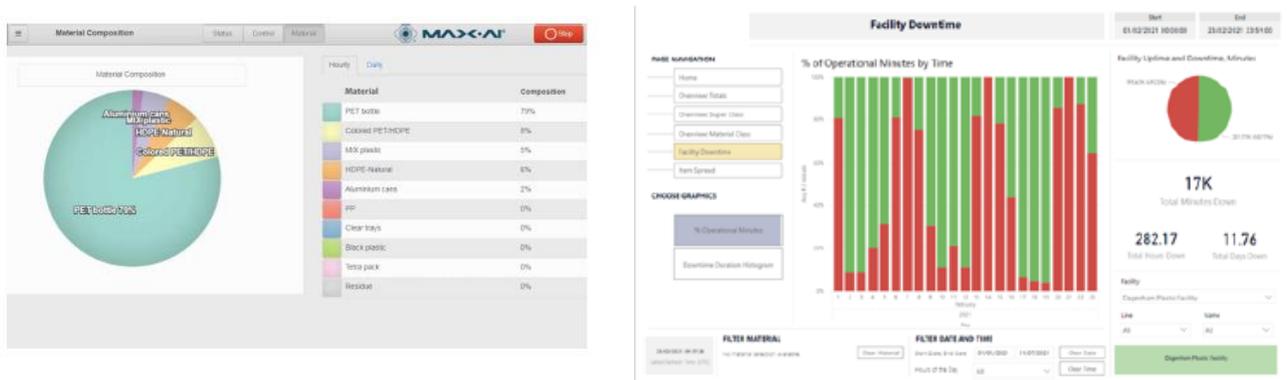
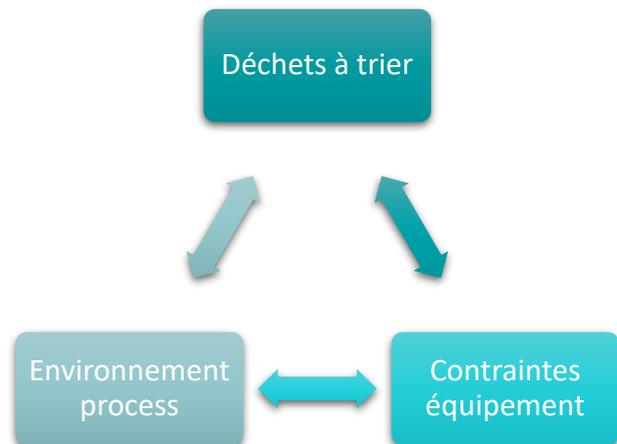


Figure 21: Rapports d'exploitation (source Recycleye et MAX AI)

### 3.2. INTEGRATION ET MAINTENANCE DU SYSTEME AUTOMATISE

Comme évoqué ci-dessus, la mise en œuvre de systèmes automatisés dépendent de :

- Contraintes en lien avec les déchets,
- L'environnement en lien avec l'implantation dans les installations de tri,
- Contraintes techniques inhérentes aux matériels. Nous ne reviendrons pas sur ce point qui a été détaillé dans le paragraphe précédent.



#### 3.2.1. Les contraintes en lien avec le déchet

Elles permettent de définir la solution technique à mettre en œuvre. Elles peuvent être appréhendées suivant le chronogramme ci-dessous :

D'autres données doivent également est prises en compte. Elles découlent de nos échanges avec les constructeurs d'équipement et sont dans le même esprit que le dimensionnement des machines de tri en général et les machines de tri optique en particulier.

- L'efficacité de tri dépend de la bonne acquisition des objets à capter : produits répartis sans recouvrement. Il faut noter également que, comme détaillé dans la détection des objets à trier, les déchets doivent être correctement répartis sur le convoyeur de transfert, sans recouvrement. Ainsi le débit et la typologie des déchets amèneront à adapter la largeur de ces convoyeurs.
- La typologie des déchets doit être étudiée avec soin. Sauf dans le cas du procédé VEOLIA ROB'INN, les flux doivent être homogènes en granulométrie. Un prétri des déchets en amont du système est nécessaire pour éliminer les éléments fin (granulométrie homogène).

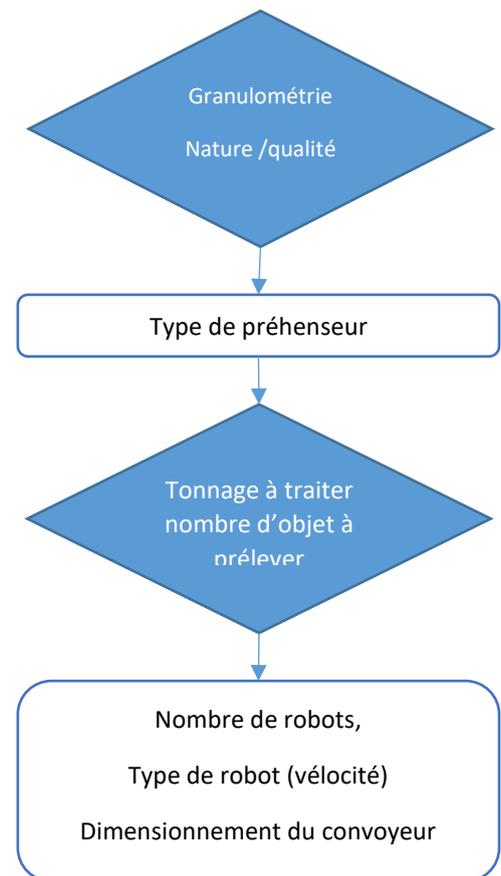
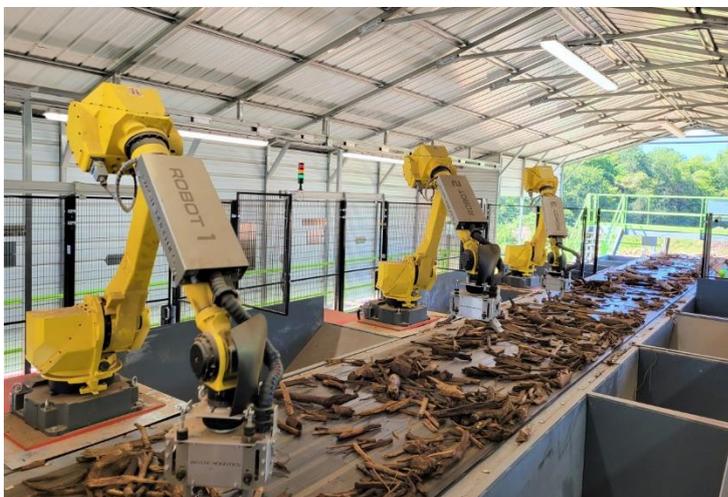


Figure 23: Dimensionnement de l'équipement de tri

Figure 22: Dimensionnement suivant le débit et le type de déchets (source Waste Robotics)

### 3.2.2. Implantation du système automatisé

La plupart des équipements proposés peuvent être implantés sur des sites déjà existant ou sur de nouvelles installations. C'est le cas pour les solutions intégrées décrites dans le paragraphe des solutions robotiques.

Les conditions préalables sont généralement peu contraignantes :

- Des zones de convoyages libres (surface de 30 à 50m<sup>2</sup> par équipement et environ 5 m de longueur de convoyeur),
- La puissance électrique disponible,
- La disponibilité d'un bus d'interfaçage de terrain, avec le process et une liaison informatique (assistance du constructeur).



Figure 25: Intégration d'un système AMP sur un convoyeur (Source AMP)



Figure 24: MAX AI dans une cabine de tri CS (source MAX AI)

Lors de nos échanges avec les exploitants d'unité de traitement de déchets, il s'est avéré que les équipements sont peu sensibles aux ambiances de température ou de poussière. Un bâtiment industriel non chauffé et correctement ventilé (dépeussière) est suffisant pour leur mise en œuvre.

Les équipements sont installés principalement dans le process, à l'extérieur des cabines de tri, du fait de la faible hauteur disponible dans ces dernières et du niveau sonore généré par le robot.

Les aménagements à prévoir dans le cadre d'une installation sur un site existant consiste à implanter les goulottes de réception des déchets triés et la transitique permettant l'acheminement des déchets captés vers leur zone de stockage.

Concernant les développements spécifiques ou des solutions de tri de D&C, comme par exemple les Heavy-Pickers de ZenRobotics, l'intégration de ces systèmes doit être prévu à l'origine du projet, afin d'en limiter le coût d'intégration.



Figure 26: Installation de tri de D&C (Source ZenRobotics)

### 3.2.3. Exploitation et maintenance

Les systèmes installés par les constructeurs nécessitent une maintenance de deux niveaux :

- Logicielle : Elle est opérée à distance par les services techniques du constructeur. Les systèmes sont équipés :
  - Une liaison Internet pour la mise à jour et l'intervention à distance,
  - Une caméra qui permet au technicien du constructeur de piloter à distance ou d'observer le fonctionnement de l'équipement.
- Matérielle : Ce sont les agents de maintenance de l'exploitant qui réalise le remplacement des pièces d'usures ou les maintenances mécaniques de premier niveau ou de nettoyage. Les personnels sont des électromécaniciens (techniciens supérieurs) qui sont formés lors de la mise en service des systèmes robotisés. La maintenance est réalisée suivant les notices du constructeur (plan d'entretien et de maintenance.

Les maintenances plus lourdes sont effectuées dans le cadre de la garantie ou d'un contrat de maintenance par le constructeur ou le fournisseur du robot.

Lors de nos visites, les exploitant ont mis en avant le respect des consignes d'utilisation et de maintenance qui permet de maintenir un taux de disponibilité élevé. La présence de pièces de rechanges, voire de préhensions complètes, renforce l'efficacité des interventions.

Task	Maintenance			
	Daily 10 hrs	Weekly 100hrs	Monthly 500 hr	Annual 5000 hrs
1.1 Check the working accuracy of the gripper in production	X			
1.2 Examining the system for air leaks	X			
1.3 Check for loose gripper components, cables, hoses during operation	X			
2.1 Gripper and gripper suspension for loose or damaged parts	X			
2.2 Measure the clearance of the connecting rod	X			
2.3 Examine pneumatic hoses and pneumatic cylinder sensor cable	X			
2.4 Measure and the electrical leads on the boom drive	X			
2.5 Visually examine sensor cabinet and robot for slack objects	X			
2.6 Inspect sensor and lamp shades	X			
2.7 Check for dust in the camera opening	X			
2.8 Linex guide (100%)	X			
2.9 Measure X-, Y- and Z-axis belt tightness - stretchness and movement	X			
2.10 Check air filter status in the ballroom unit	X			
2.11 Condition of S&B rollers	X			
2.12 Check the condition of check for O-ring in the second wheel	X			
2.13 Condition of 2x, 1x and 3x rollers	X			
2.14 Power guide roller condition	X			
2.15 Energy status and the water conditions	X			
2.16 Change timing belts, not belt rollers in S- and T-axis BDU's	X			
3.1 Bearings in the liner guide blocks	X			
3.2 Standard bearings	X			
4.1 Robot area	X			
4.2 Linex guide roller (X, Y & Z)	X			
4.3 Condition of the bearing unit	X			
4.4 Clean and service the gripper	X			
4.5 Compressed air service unit	X			
4.6 Sensor cabinet and lamp cabinet	X			
5.1 Calibrate gripper - examine gripper alignment	X			
5.2 All emergency alignment condition	X			

Figure 27: Liste des entretiens périodiques (Source BRALEY)

Il a été noté que les équipements proposés sont conçus pour faciliter l'entretien des équipements, à l'aide de trappes d'accès ou des panneaux démontables



Figure 28 : Panneau démontable (Source MAX AI)



Figure 29: Trappe de changement de ventouse (source MAX AI)

Centre de tri de **collecte sélective**, site de **Orléans Saran**

Exploitant : **VEOLIA**

Constructeur du Process : **NEOS**

Système automatisé : **MAX AI AQC-2**

Installation d'une capacité de 30.000 tonnes par an, les systèmes robotisés affinent des flux de plastiques préparés, après des trieurs optiques : PET clair pour un robot et PE/PP pour le second.

L'efficacité du tri en amont complétée par le tri du robot permet d'obtenir une pureté du flux PET de l'ordre de 98%. Une période de mise au point a été nécessaire pour :

- Utiliser les ventouses adaptées aux matières à capter,
- Affiner le réseau neurone et la stratégie de tri des indésirables.

**Maintenance** : Assurée par le personnel de maintenance du site, formé par le constructeur lors de la mise en service.



Centre de tri de **REP ameublement**, site de **Chermignac**

Exploitant : **VEOLIA**

Constructeur du Process : **ALFYMA**

Système automatisé : **ROB'INN /SILEANE**

Installation d'une capacité de 8 000 tonnes de déchets d'ameublement, soit 8 t/h sur un poste. Le robot trie les indésirables dans un flux de bois. Le poids maximum des objets à prendre par le robot est de 40 kg.

Le robot de tri développé par Véolia en collaboration avec Siléane, est de type 6 axes, doté d'une pince hydraulique lui permettant de séparer les différents flux de meuble sans aucune préparation. La séparation est télé-opérée par un agent, qui sélectionne les types de déchet et l'exutoire, sur une interface de type tablette.

**Maintenance** : Assurée par le personnel de maintenance du site, formé par le constructeur lors de la mise en service. L'exploitant dispose des pièces de rechange dont un préhenseur complet. Siléane intervient à distance pour les aspects logiciels.



Centre de tri de **DIB**, site de **Bozouls**

Exploitant : **BRALEY**

Constructeur du Process : **AKTID**

Système automatisé : **2 Heavy picker, de Zen Robotics**

Installation d'une capacité de 30.000 tonnes par an, permettant de séparer les objets très lourds notamment le bois, les gravats et les métaux non ferreux.

**Maintenance** : 90 % de la maintenance se fait en distanciel, le personnel présent sur le site a reçu une formation de 6 semaines par Zen Robotics lui permettant d'intervenir en cas d'incident.



## 4. PERSPECTIVES D'ÉVOLUTIONS TECHNIQUES DES INSTALLATIONS DE TRI

En fonction des systèmes automatisés proposés pour les process et en fonction des échanges avec les fournisseurs de ces solutions, on peut considérer les pistes d'améliorations des process comme suit :

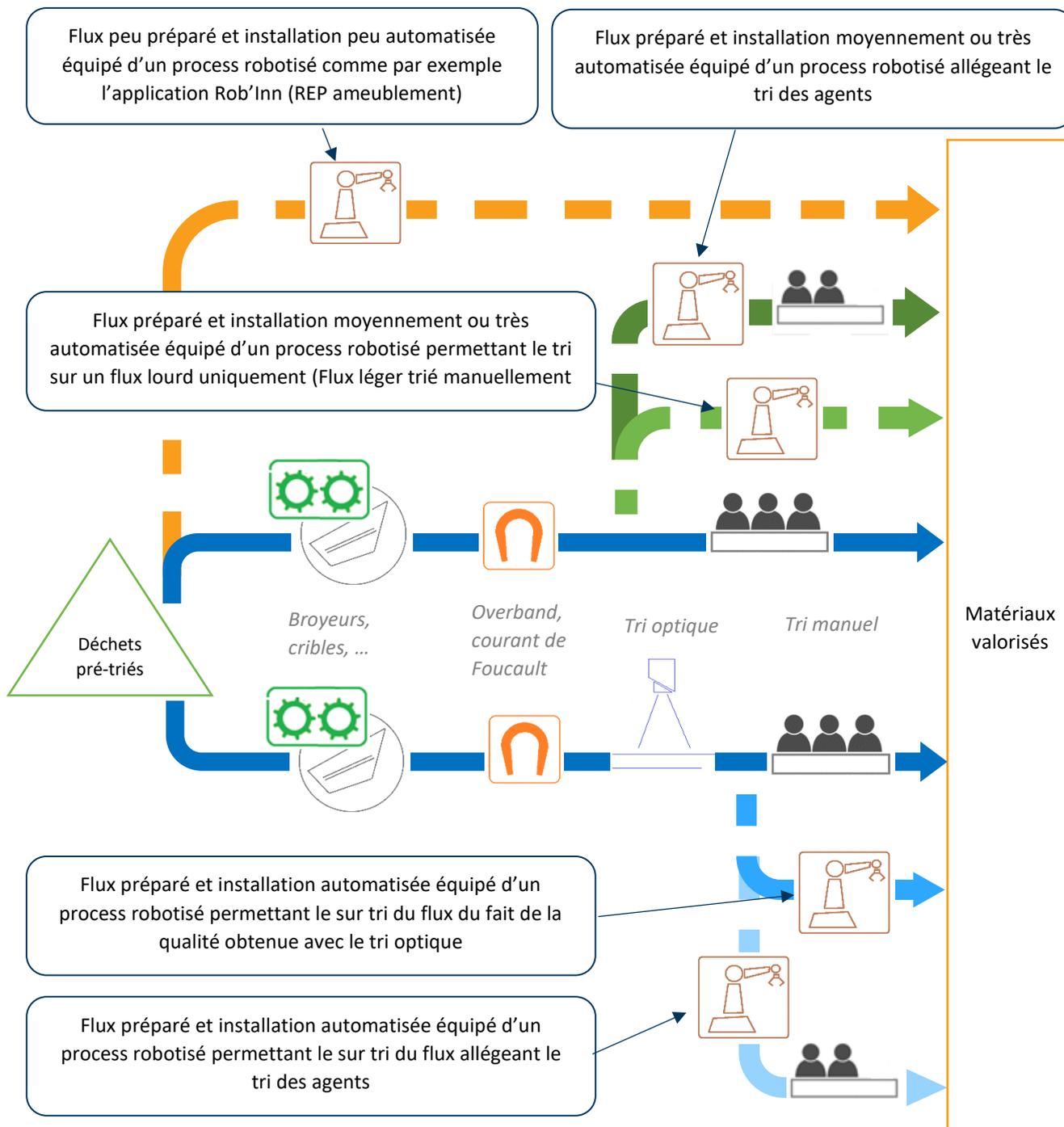


Figure 30 : Perspectives d'évolutions des process de tri

Il est à noter que, hormis pour le procédé VEOLIA ROB'Inn, les flux doivent être préparés pour que le système de tri robotisé puisse être efficace.

## 5. RETOUR SUR INVESTISSEMENT

### 5.1. DEFINITION

Le retour sur investissement (ROI) permet d'estimer le rapport entre le gain de l'investissement et le coût d'investissement et d'intégration, en tenant compte des débits ou tonnages traités, des dimensionnements des équipements et de leurs performances, leur taux de disponibilité mais également en fonction des types de flux traités.

Cet indicateur financier, qui permet de mesurer et de comparer le rendement d'un investissement, doit permettre de se positionner sur :

- La pertinence de l'investissement,
- Le temps nécessaire afin d'arriver à un seuil de rentabilité de l'opération (retour sur investissement égal à zéro).

### 5.2. CALCUL DE ROI

La formule générale du calcul du retour sur investissement est :

$$ROI = \frac{(Gain - Coût d'investissement)}{Coût d'investissement} \times 100$$

Le calcul du ROI implique la prise en compte de nombreux paramètres, dont les principaux sont :

- Les coûts : fixes ou variables,
- Le gain.

#### 5.2.1. Coûts

Les coûts sont divisés en deux grandes catégories:

##### 5.2.1.1. Coûts fixes:

- **CAPEX** : il s'agit du prix d'achat de la solution automatisée et de son intégration.
  - **Coût d'achat** : Comme décrit ci-dessus, les systèmes robotisés/automatisés doivent intégrer des paramètres qui vont déterminer le degré de mise en œuvre. Ils sont fonction des flux à trier et des limites des matériels de tri. Les contraintes sont classées en sous-catégorie, comme suit :
    - **Volumes à trier**. Le tonnage à traiter (débit horaire) ou la cadence maximum dimensionnera le nombre de manipulateur/préhenseur et/ou le dimensionnement du convoyeur de transfert,
    - **Le taux de disponibilité** du système
  - **Les coûts d'intégration du système, au seins :**
    - **Du process** : par exemple, l'aménagement de l'environnement sur une installation existante. Les systèmes robotisés/automatisés doivent intégrer des paramètres qui vont déterminer le degré d'intégration. Ils sont fonction des environnements d'exploitation

et des limites des matériels de tri. Les contraintes sont principalement la température, la luminosité, la poussière ou l'humidité. En fonction de ces données, l'équipement intégrera des niveaux d'exigences matérielles (kit hors gel, étanchéité IP, réchauffeur d'huile) mais également des contraintes organisationnelles (fréquences de nettoyage).

- De l'**usine** : cela comprend les frais d'installation du robot et les raccordements au service informatique.

A titre d'exemple, vous trouverez un comparatif des différentes solutions et leur CAPEX. Il permet de comparer le coût d'un aménagement des postes de tri (agent de tri), composé de l'aménagement du poste, avec son éclairage et sa ventilation de cabine, à deux solutions robotisées telles que celles proposées sur différentes installations de tri. Ce comparatif est basé sur une équivalence d'un opérateur pour un système robotisé.

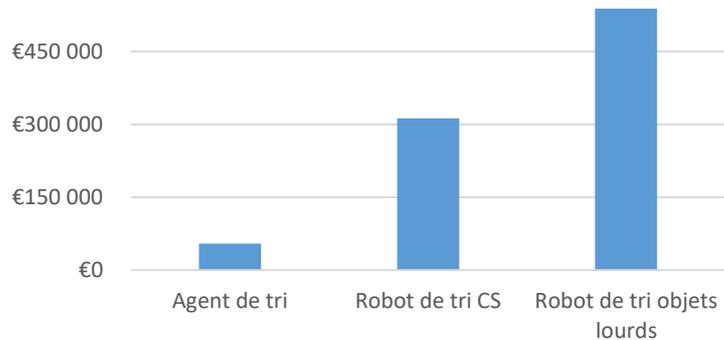


Figure 31: Comparatif d'investissements

- **OPEX** : cela correspond aux :
  - **Lots des pièces mécaniques et électriques** qui accompagnent la solution automatisée (première dotation).
  - **Les coûts de maintenance**: sont les coûts des interventions préventives nécessaires pour maintenir l'installation au niveaux de disponibilité et sécurité requis. Cela correspond à la maintenance journalière, mensuelle ou annuelle, tant en personnel qu'en matériel préconisé dans le plan de maintenance, comme le changement des joints rotules, des tuyauteries ou faisceaux robots, ...
  - **Les coûts annexes**, comme le renouvellement des abonnements de IA, des licences ou des mises à jours logicielles,

#### 5.2.1.2. Coûts variables :

- **Les coûts de maintenance** : sont les coûts des interventions correctives et liés à l'usure du matériel nécessaires pour maintenir l'installation au niveaux de disponibilité et sécurité requis. Cela correspond à la fourniture et le remplacement des pièces, réparties en deux sous catégories :
  - **L'usure du fait du fonctionnement**, proportionnel à son temps d'utilisation : Nettoyage de ventouse et de pince, Changement des ventouses, maintenance journalière, Changement des filtres, mensuelle ou annuelle, tant en personnel qu'en matériel (plan de maintenance),
  - **La casse de matériel** (Bris non prévu), comme la préhension, bras du robot, accessoire périphérique. En exploitation ce budget peut être assimilé à du Gros Entretien et au Renouvellement (GER). Ce coût peut être indexé en fonction de la période de fonctionnement du système.
- **Les frais de l'exploitation**, proportionnel à son temps d'utilisation : sont les coûts d'exploitation nécessaires à la production, comme :
  - Les frais de consommation d'électricité,
  - Les frais de production d'air comprimé.

## 5.2.2. Gains

Le gain dans notre cas correspond à l'investissement et à la charge d'exploitation d'un ou plusieurs postes de tri ; pour le déterminer nous intégrerons les données suivantes :

- **Investissement** : correspondant au(x) poste(s) de tri,
- **Personnel** : nombre d'agents au poste de tri,
- Diminution du degré **de pénibilité** : qui dépend de
  - **Types de produits à trier**, avec la prise en compte de la **granulométrie des déchets** à trier (dimension et poids), ou le **type de déchet** à trier, comme sa nature (plastique, bois, béton...), et sa qualité comme, par exemple, la présence d'huiles ou de graisses
  - **La fréquence** : correspondant au nombre des **actions techniques** nécessaire pour la préhension du matériau
- **Consommables** : correspondant aux équipements de protection individuels et aux vêtements des agents de tri (combinaison)
- **Exploitation annuel** : correspondant aux autres charges (éclairage, ventilation, ...)

La feuille de calcul associée permet d'établir le ROI en fonction de ces paramètres.

## 5.3. LES CENTRES DE TRI

Les installations de tri, en France, sont principalement la propriété des collectivités ou d'opérateurs privés.

- Les collectivités portent des investissements sur des périodes longues et qui répondent à des besoins spécifiques. Ils concernent par exemple les centres de tri de collectes sélectives dont l'investissement est amorti sur des périodes de 10 à 15 ans environ pour les process et entre 20 et 30 ans pour les bâtiments. Suivant les marchés qu'elles pilotent, elles peuvent porter l'investissement de la conception et la réalisation de l'installation puis exploiter, avec leurs équipes ou un délégataire, celui-ci ou bien déléguer l'ensemble au travers un marché de performance, on un groupement assurera la conception la réalisation puis l'exploitation et la maintenance.
- Les opérateurs privés réalisent des investissements sur des durées similaires. Néanmoins, ils se positionnent pour répondre à des marchés publics ou privés qui peuvent avoir des durées différentes. Soit sur des périodes de 5 à 7 ans, soit des périodes plus courtes (3 ans). Ainsi, une installation de tri peut être amenée à trier des flux dont la provenance peut être une collectivité et/ou un opérateur privé.

Le calcul de retour sur investissement doit donc prendre en compte ces paramètres.

Vous trouverez ci-dessous deux simulations de ROI, permettant d'intégrer ces différents investissements et coûts d'exploitation. Nous attirons votre attention sur l'évolution rapide des coûts en lien avec ces équipements qui évoluent avantageusement tant sur l'investissement que sur les coûts de consommables et de maintenance.

### 5.3.1. Robot de tri de type collecte sélective

Dans cette configuration, nous avons défini la mise en œuvre d'un système de tri robotisé, positionné en surtri sur un flux préparé. Le système robotisé se substitue à un opérateur pour capter des indésirables dans le flux trié. L'installation est conçue pour fonctionner en 2 équipes.

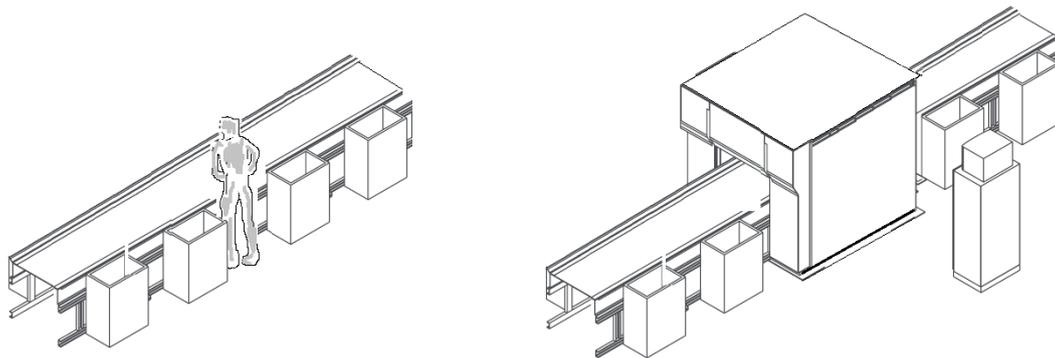


Figure 32 : Schémas retenus dans le calcul de ROI (installation de type CS)

- Un poste de tri, sur convoyeur 600mm,
- Podium et siège assis/debout,
- Ventilation suivant norme AFNOR X35-702,
- Un système robotisé de tri, sur convoyeur 600mm,
- Pas d'aménagement du poste pour un agent de tri.

Tableau 6 : Calcul de ROI (installation de type CS)

Periode	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
<b>Robots de tri CS</b> 311 960 €								
Investissement (1)	311 960 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €
Maintenance (2)	18 870 €	18 870 €	18 870 €	18 870 €	18 870 €	18 870 €	18 870 €	18 870 €
Exploitation (3)	7 000 €	7 000 €	7 000 €	7 000 €	7 000 €	7 000 €	7 000 €	7 000 €
Abonnement (4)	6 500 €	19 000 €	19 000 €	19 000 €	19 000 €	19 000 €	19 000 €	19 000 €
<b>total</b>	<b>344 330 €</b>	<b>44 870 €</b>						
<b>Gain</b>								
Investissement (5)	54 400 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €
Personnels (6)	70 000 €	70 000 €	70 000 €	70 000 €	70 000 €	70 000 €	70 000 €	70 000 €
Consommables (7)	11 100 €	11 100 €	11 100 €	11 100 €	11 100 €	11 100 €	11 100 €	11 100 €
<b>total</b>	<b>135 500 €</b>	<b>81 100 €</b>						
<b>Bénéfice</b>								
NET	-208 830 €	-172 601 €	-136 371 €	-100 142 €	-63 912 €	-27 682 €	8 547 €	44 777 €

A0 : Année de l'investissement et exploitation sur la base d'une année pleine, A1 : 2<sup>nd</sup> année d'exploitation, A2 : 3<sup>eme</sup> année d'exploitation, ...

- (1) L'investissement intègre le coût du système et son intégration dans le process. L'intégration dans un process existant devra être étudié au cas par cas en fonction de l'implantation possible et des travaux à réaliser (déplacement d'équipements existants, ajouts de structures portantes ou de passerelles d'accès, ...),
- (2) La maintenance est une part des équipes de maintenance de l'exploitant (équipes en charge de l'entretien préventif, remplacement des pièces d'usure) et de la télémaintenance assurée par le constructeur (suivi de production comme l'identification des pannes ou l'assistance dans le calibrage de l'équipement...),
- (3) Exploitation regroupe les consommations électriques et d'air comprimé,
- (4) L'abonnement est le contrat avec le constructeur pour les mises à jours logicielles et date,
- (5) L'investissement est la part liée à l'aménagement du ou des postes de travail (rehausse, goulotte, ventilation, éclairage)
- (6) Coûts des agents de tri, sur la base de 35k€/an par opérateur

Etat de l'art des solutions existantes et étude d'opportunité

ETUDE STRUCTURANTE SUR LES TECHNOLOGIES ROBOTIQUES ET NUMERIQUES POUR LES DECHETS

(7) Frais en lien avec la consommation électrique et les équipements des agents (proportion affectée à un poste de tri)

Suivant cet exemple de configuration, il apparaît que ces ensembles peuvent être rapidement amortis, dans le cadre de marchés relativement court sous réserve du respect de leurs performances et de réellement remplacer deux agents de tri.

### 5.3.2. Robot de tri de type encombrants ou déchet industriel

Dans cette configuration, nous avons défini la mise en œuvre d'un système de tri robotisé, positionné en tri sur un flux préparé. Le système robotisé se substitue à deux opérateurs, du fait du volume des déchets à trier et de la largeur du convoyeur, pour capter des indésirables dans le flux trié. L'installation est conçue pour fonctionner en deux équipes.

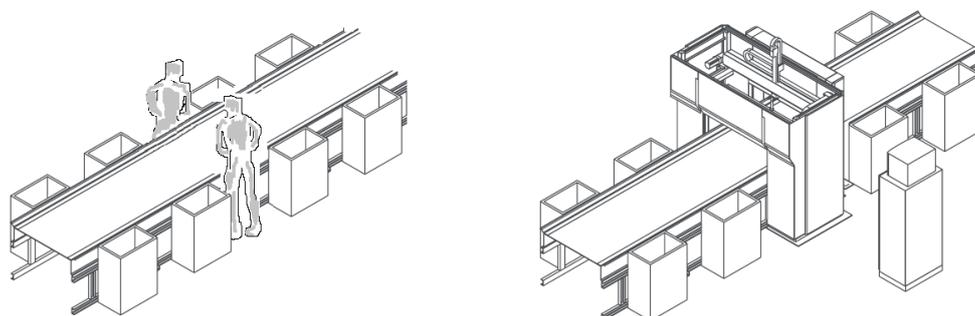


Figure 33 : Schémas retenus dans le calcul de ROI (installation de type encombrants)

- Deux poste de tri, sur convoyeur 1200mm,
- Podium et siège assis/debout,
- Ventilation suivant norme AFNOR X35-702,
- Un système robotisé de tri, sur convoyeur 1200mm,
- Pas d'aménagement du poste pour un agent de tri.

Tableau 7 : Calcul de ROI (installation de type Déchets industriels)

Periode	A0	A1	A2	A3	A4	A5
<b>Robot de tri Objets lourds</b>						
Investissement (1)	538 000,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Maintenance (2)	24 000,00 €	24 000,00 €	24 000,00 €	24 000,00 €	24 000,00 €	24 000,00 €
Exploitation (3)	7 790,00 €	7 790,00 €	7 790,00 €	7 790,00 €	7 790,00 €	7 790,00 €
Abonnement (4)	10 300,00 €	32 300,00 €	32 300,00 €	32 300,00 €	32 300,00 €	32 300,00 €
<b>total</b>	<b>580 090,00 €</b>	<b>64 090,00 €</b>	<b>64 090,00 €</b>	<b>64 090,00 €</b>	<b>64 090,00 €</b>	<b>64 090,00 €</b>
<b>Gain</b>						
Investissement (5)	108 800,00 €	- €	- €	- €	- €	- €
Personnels (6)	140 000,00 €	140 000,00 €	140 000,00 €	140 000,00 €	140 000,00 €	140 000,00 €
Consommables (7)	13 100,00 €	13 100,00 €	13 100,00 €	13 100,00 €	13 100,00 €	13 100,00 €
<b>total</b>	<b>261 900,00 €</b>	<b>153 100,00 €</b>				
<b>Bénéfice</b>						
NET	<b>-318 190 €</b>	<b>-229 180 €</b>	<b>-140 170 €</b>	<b>-51 160 €</b>	37 850 €	126 860 €

Etat de l'art des solutions existantes et étude d'opportunité

ETUDE STRUCTURANTE SUR LES TECHNOLOGIES ROBOTIQUES ET NUMERIQUES POUR LES DECHETS

A0 : Année de l'investissement et exploitation sur la base d'une année pleine, A1 : 2<sup>nd</sup> année d'exploitation, A2 : 3<sup>eme</sup> année d'exploitation, ...

- (1) L'investissement intègre le coût du système et son intégration dans le process. L'intégration dans un process existant devra être étudié au cas par cas en fonction de l'implantation possible et des travaux à réaliser (déplacement d'équipements existants, ajouts de structures portantes ou de passerelles d'accès, ...),
- (2) La maintenance est une part des équipes de maintenance de l'exploitant (équipes en charge de l'entretien préventif, remplacement des pièces d'usure) et de la télémaintenance assurée par le constructeur (suivi de production comme l'identification des pannes ou l'assistance dans le calibrage de l'équipement...),
- (3) Exploitation regroupe les consommations électriques et d'air comprimé,
- (4) L'abonnement est le contrat avec le constructeur pour les mises à jours logicielles et date,
- (5) L'investissement est la part liée à l'aménagement du ou des postes de travail (rehausse, goulotte, ventilation, éclairage)
- (6) Coûts des agents de tri, sur la base de 35k€/an par opérateur
- (7) Frais en lien avec la consommation électrique et les équipements des agents (proportion affectée à un poste de tri)

Suivant cet exemple de configuration, il apparaît que ces ensembles peuvent être amortis sur une période équivalente et l'investissement reste acceptable dans le cadre de la majorité des marchés malgré un coût de matériel plus lourd et sous réserve du respect de leurs performances et de remplacer les agents de tri (reconnaissance et préhension des déchets).

## 6. SYNTHÈSE

Les développements des systèmes robotisés sont encore en cours et de nombreuses solutions sont mise en œuvre sur la base de cahiers des charges spécifiques (séparations de sacs, « scrap metal » pour le compte d'industriels) ou le mise en œuvre d'ensembles intégrés (collecte sélective, déchets de chantiers ou encombrants). De ces faits, les coûts associés sont importants. La généralisation de ces systèmes devrait apporter un effet d'échelle et diminuer les coûts d'investissements dans les années à venir. Les investissements réalisés peuvent, s'ils permettent de remplacer des agents de tri, être amortis sur la durée de la plupart des marchés de traitement.

Au-delà des aspects purement économiques et du taux de recyclage et sans remplacer les opérateurs, la mise en œuvre de systèmes robotisés apportera de la souplesse dans la gestion des personnels de tri (emploi peu valorisant, déficit de personnels dans les zones de plein emploi, pénibilité des postes de tri, TMS...).

La mise en œuvre de machines de tri optique et un process adapté peut permettre de limiter le nombre d'agent de tri ou de solutions robotisées qui assureraient le surtri. A ce stade de développement les systèmes robotisés sont complémentaires des machines de tri optique. Elles ne peuvent remplacer ces équipements conçus pour traiter d'importants volumes de déchets. Concernant les installations déjà en service, les systèmes robotisés mis en œuvre l'ont été avec pour objectif, soit de remplacer un opérateur de tri (un pour un) avec le maintien d'un poste de tri manuel, en cas de dysfonctionnement de la machine, soit pour trier des flux présentant un risque pour les agents de tri (flux « sales » ou pénibilité des postes).

En fonction des différentes solutions proposées et des filières de valorisation, un premier constat permet les projections suivantes :

### Filière VHU

Au regard des performances de valorisation et des spécificités de cette filière, les systèmes robotisés présentent peu d'intérêts du fait des procédés mis en œuvre, visant à préparer et trier les différentes matières. En tonnage, les métaux ferreux et non ferreux sont majoritaires et les équipements dédiés à ces matières disposent de performances (captation et pureté) suffisantes pour répondre aux exigences des repreneurs.

## Filières Emballages et papiers graphiques

Du fait des tonnages traités et de la multitude de matières à trier (extensions des consignes de tri), les centres de tri de collectes sélectives sont très automatisés. L'organisation du tri en France (loi AGEC et la directive sur les plastiques à usages unique, la généralisation des extensions des consignes de tri sur l'ensemble du territoire, les appels à projets CITEO visant à massifier les collectes et concevoir des centres de tri de capacités importantes et la consigne des bouteilles) va conduire à une amélioration de la valorisation des déchets notamment pour les papiers/cartons et les plastiques.

Ces capacités vont permettre des investissements complémentaires avec ces nouvelles technologies pour compléter les technologies déjà utilisées. Dans un premier temps, ceux-ci ne seront pas exclusivement motivés par des gains économiques mais porteront plutôt sur des améliorations des conditions de travail des agents de tri, notamment dans le surtri des refus : complexité des déchets à capter, risques sanitaires dans le tri de flux « sales » notamment avec les DASRI, nombres de pics à réaliser. A terme, il pourrait être envisagé, comme constaté sur le site exploité par VEOLIA à Saran, de libérer un ou plusieurs agents de tri.

Par ailleurs, les performances des systèmes sur ce type de collecte, après préparation des flux, permettent d'obtenir des taux de prises importants laissant entrevoir le remplacement d'opérateur par des machines sur certains flux du fait de la qualité du tri des machines optiques, en amont. A ce stade, il semble néanmoins difficile d'envisager une installation de tri complètement automatisée, sans agent de tri, du fait de l'absence d'homogénéité des déchets qui nécessitent d'améliorer encore la reconnaissance et les prises d'objets.

Enfin, la mise en œuvre de ces machines sur une installation existante nécessitera une prédisposition du process, tant sur un niveau spatial (implantation des machines) que sur un niveau électrique (puissance consommée supplémentaire, échanges avec le contrôle commande du process).

## Filière DEEE

Comme déjà indiqué, plus de 90% des D3E collectés sont ménagers et la filière DEEE atteint 75% de valorisation matière (majoritairement des métaux ferreux (51 %) et les métaux non ferreux (7 %), de plastiques (19 %) et de verre (4 %)).

L'automatisation et la mécanisation de ces process est variable suivant les DEEE à traiter. Les moins mécanisés (GEM Froid) ou les plus automatisés n'auront pas recours à des systèmes robotisés du fait de process très spécifiques et qui en ferait des machines peu adaptées (rapidité et prise des objets) au regard des volumes à traiter.

## Filière Déchets d'Éléments d'Ameublement

Les DEA font l'objet d'un tri conventionnel sur un process similaire aux installations de déchets industriels ou des matériaux de construction du bâtiment. Dans ce cadre, les process de tri sont automatisés pour séparer les différentes matières à valoriser : trieurs optiques, séparateur de ferreux et non ferreux. Un surtri manuel des matériaux séparés permet d'affiner la qualité des matières triées.

Un gain de productivité et une augmentation du taux de valorisation peut être envisagé avec des systèmes robotisés. Il permettra également d'améliorer des conditions de travail des agents de tri. Néanmoins, l'investissement devra s'adosser à un marché pour lequel il sera nécessaire d'étudier la durée du marché, le coût de traitement et les recettes sur les MPS associées.

## Filière Textiles

Seul le tri industriel est éligible au soutien financier de la filière. Il consiste à classer chacune des pièces dans une. Ce type de tri est aujourd'hui réalisé dans 63 centres de tri (dont 14 hors France).

Les textiles collectés sont aujourd'hui triés manuellement, avec comme objectif premier la réutilisation. Pour mémoire, les 4 catégories des textiles sont la réutilisation ou friperie, les chiffons d'Essuyage, le recyclage par effilochage et le rebut à éliminer. La mise en œuvre d'application du tri optique des matières et des couleurs à la filière textiles est encore

Etat de l'art des solutions existantes et étude d'opportunité

ETUDE STRUCTURANTE SUR LES TECHNOLOGIES ROBOTIQUES ET NUMERIQUES POUR LES DECHETS

au stade développement en France. Les systèmes robotisés rencontrent des difficultés de reconnaissance et de prise des objets qui sont un frein à leur utilisation. Par ailleurs, sans massification des volumes à trier, le coût de tri risque, dans un premier temps, de limiter le développement de ces installations.

### **Filières PMCB (Produits et les Matériaux de Construction du secteur du Bâtiment) ou tri "Tri 5 flux / Tri 7 flux" des déchets des activités économiques et DIB**

Les installations permettant de trier ces différents flux sont modérément mécanisées. Les systèmes automatisés peuvent apporter de réels gains de productivité dans la valorisation des différentes matières (papier, métaux, plastiques, bois, verre, ...) et améliorer les conditions de tri des agents, du fait des volumes et des masses des déchets à trier.

Il sera néanmoins nécessaire de préparer les flux afin d'être criblés et séparés par des machines de tri optique. Les systèmes robotisés permettront un tri des flux les plus lourds et de maintenir un taux de valorisation constant. Ce dernier peut être affecté en fonction de temps de tri (masse des objets).

Néanmoins, l'investissement devra s'adosser à un marché pour lequel il sera nécessaire d'étudier la durée du marché, le coût de traitement et les recettes sur les MPS associées.



## C. LES SOLUTIONS ROBOTIQUES

## 7. NIVEAU DE MATURITE

Le niveau de maturité technologique, ou l'échelle TRL, est un système de mesure employé pour évaluer le niveau de maturité d'une technologie (matériel, composants, périphériques, etc.), notamment en vue de financer la recherche et son développement ou dans la perspective d'intégrer cette technologie dans un système ou un sous-système opérationnel. Son intérêt principal est de faciliter la prise de décision concernant le développement et le transfert d'une technologie.

Cette étude vise les technologies disposant un niveau de maturité compris entre 3 et 9.

Nous attirons votre attention sur le fait que les progrès technologiques sont très rapides et amèneront à faire évoluer les niveaux de TRL indiqués.

TRL 9	Système réel achevé et qualifié par des missions opérationnelles réussies
TRL 8	Système réel achevé et qualifié par des tests et des démonstrations
TRL 7	Démonstration d'un prototype du système dans un environnement opérationnel
TRL 6	Démonstration d'un prototype ou modèle de système/sous-système dans un environnement représentatif
TRL 5	Validation de composants et/ou de maquettes en environnement représentatif
TRL 4	Validation de composants et/ou de maquettes en laboratoire
TRL 3	Preuve analytique ou expérimentale des principales fonctions et/ou caractéristiques du concept
TRL 2	Concept technologique et/ou applications formulés
TRL 1	Principes de base observés ou décrits

Figure 34 : Les niveaux d'échelle TRL

## 8. SYNTHÈSE PAR CONSTRUCTEUR

Les industriels développent des solutions robotisées suivant deux axes :

- **Solution intégrée** : C'est un équipement qui peut aisément s'installer sur un process de tri existant ou une installation neuve. Elle intègre une protection périphérique et est équipé de dispositifs lui permettant d'être mis en œuvre sans difficultés vis-à-vis des personnels pouvant évoluer à proximité (protection périphérique intégrée).

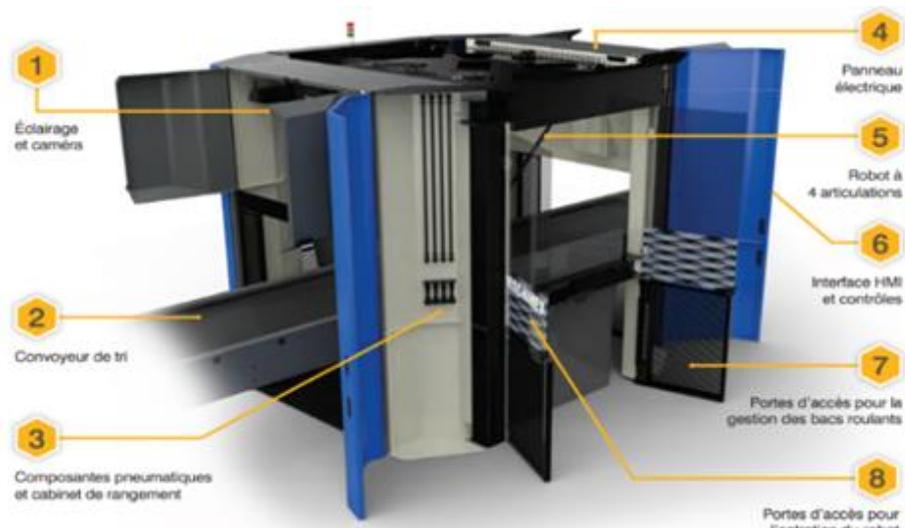


Figure 35 : Solution intégrée (source Machinex)

Les principaux fournisseurs sont : BHS, BOLLEGRAAF, MACHINEX, ...

- **Développement spécifique**: C'est un équipement développé sur la base d'un cahier des charges où le fournisseur intègre les technologies développées spécifiquement (environnement, capteurs, préhension, ...). Ce matériel peut être adapté sur un process de tri existant ou une installation neuve. Il intègre une protection périphérique « sur mesure ».



Figure 36: Application spécifique (source Energiepole Solution)

Les principaux fournisseurs sont : Waste Robotics, Recycleye, ...

Vous trouverez, ci-après, une liste non exhaustive des différents fournisseurs identifiés dans la fourniture

de solutions robotiques et numériques. Ces solutions sont, au minimum, au stade de l'essai industriel. Nous n'avons pas décrit les solutions avec des robots coopératifs dans la mesure où MAX-AI mettra en œuvre ces matériels sur un premier site à l'horizon 2022.

Cette activité est en plein essor et d'autres fournisseurs sont en cours de développement d'équipements nouveaux. De nombreuses entreprises expérimentent ces solutions en atelier ou sur des sites pilotes. Elles devraient, à terme, déboucher sur de nouvelles offres industrielles

## 8.1. RECAPITULATIF

Constructeur	AMP Robotics		BHS					Bollegraaf	Energie pole Solutions	Picvisa	ETIA	Green machine		Machinex	Recycleye		Véolia + Siléane	Steinert	TOMRA	WASORI A	Waste robotic			Zen robotics	
Référence produit	CORTE single-robot system	CORTE Tandem robot system	AQC-1	AQC-2	AQC-C	DUAL AQC-2	AQC_Flex	RoBB-AQC	WR-1	Ecopick 2.0	AIRSS	I-Bot RGB	I-Bot HYP	Samurai	Recycleye robot (6-axis)	Recycleye robot (Delta)	Rob'Inn	Unibot	CYBOT	WR-3	WR-1	WR-2	WR-3	Heavy picker	Fast Picker
TRL	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	3	n.c	n.c	9	9	8	9	n.c	n.c	9	9	9	9	9	9
Matières à trier	Plas - Fib - mét		Plas - Fib - mét - C&D					Plas - Fib - mét	BD - OMR - Plas - Fib - mét	Plas-Alu - Fib - txt- DD	DD - ferraille - bois	Plas - alu - fib		Fib - plas - Alu	Plas- Fib - Alu		DEA	Plas	Plas. - Fib.	Sacs - C&D - Plas - Fib - mét	Sacs de déchets organiques	C&D	Plas - Fib - mét	C&D	Plas - Fib - mét
Type de robot	Delta	Delta	Delta	2 X Delta	Cobot	4 X Delta	2 X 6axes	Delta	6 axes	Delta	6 Axes et 4 axes « SCARA »	n.c	n.c	Delta	6 axes	Delta	6 axes	Delta	Delta	6 axes, Cartésiens, Delta	6 axes	6 axes	6 axes	6 axes	portique
Nombre d'axes	4	2X4	3	6	2 bras	(3*4)	6	n.c	6	3	6	n.c	n.c	4	6	4	6	4	3	6	6	6	6	6	3
Type de préhension	Ventouse	Ventouse	Ventouse	Ventouse	Ventouse	Ventouse	Pince	Ventouse	Pince	Aimant Pince Ventouse	Aimant Pince Ventouse	Ventouse	Ventouse	Ventouse	Ventouse	Ventouse	Pince hydraulique	Ventouse	Ventouse	Pince et/ou Ventouse	Pince	Pince	Pince et/ou Ventouse	Pince	Ventouse
Type de caméra/détection	2D	2D	2D / 3D	2D / 3D	2D / 3D	2D / 3D	2D / 3D	NIR, RGB et Caméra	2D et 3D	2D	2,5 D	RGB	RGB, NIR	RGB, 2D	Camera RGB 2D + Camera IR 3D	Camera RGB 2D + Camera IR 3D	Caméra	NIR, RGB, 3D	NIR-VIS-EM3-GAIN	2D, 3D et NIR	2D et 3D	2D, 3D et NIR	2D, 3D et NIR	NIR, RGB, 3D, capteur d'imagerie métallique	RGB
Nombre de robots pilotables par unité de commande	1	2	1	1	4	4	2	2	6	3	3	3	3	4	3	3	n.c	n.c	1	6	6	6	6	3	1
Surface de débattement (mm)t	n.c	n.c	1600	2X1600	455	4 X 1600	n.c	1600	2200 X 1650	2 200 X 3 553,5 X 2 600	500 à 1 500	1828	1828	1 300	n.c	n.c	n.c	n.c	0.4 m²	1600 X 500	2200 X 1650	2200 X 1650	1600 X 500	2000 X 1800	1 200 X 600
Vitesse d'avance du convoyeur (m/s)	1,5	2	0,5 - 1	0,5 - 1	0,5 - 1	0,5 - 1	n.c	0,5 - 1	Adaptée selon le flux	0,5 - 1	0.3 - 0.4	n.c	n.c	0.7 - 0.9	0,1 - 0,8	0,1 - 0,8	varie	n.c	0.5	Adaptée selon le flux	Adaptée selon le flux	Adaptée selon le flux	Adaptée selon le flux	0,1 - 0,7	0,1 - 1
Niveau de précision de prise	n.c	n.c	>85%	>85%	>85%	>85%	n.c	n.c	10 mm	40 mm	n.c	n.c	n.c	20 mm	2 cm	2 cm	n.c	n.c	90%	5 mm	10 mm	10 mm	5 mm	n.c	n.c
nombre de geste/heure	4 800	9 600	4200	3600	2800	3600	n.c	4200	1500	3 600	1 000	6000	6000	3600 - 4200	3000	4 200	n.c	n.c	4200	1500	1500	1500	1500	2300	4000
limitation de charge (kg)	4,5	4,5	0,5	0,5	0,5	0,5	20	1,5	25	6	30	n.c	n.c	1.25	3	3	40	n.c	0.5	25	25	25	25	30	1
puissance (KW)	n.c	n.c	2.3	4.6	3.5	9.2	n.c	6	2.5	7,7	17	n.c	n.c	30	0,5	3	n.c	n.c	5	1	2.5	2.5	1	10	11
Prix catalogue (k€)	n.c	n.c	195	355	195	550	n.c	n.c	200 - 700	199	n.c	n.c	n.c	190	n.c	n.c	n.c	n.c	n.c	150 - 450	200 - 700	300 - 800	150 - 450	n.c	n.c

Abréviations utilisées dans le tableau ci-dessus : Plas ; Plastique, Fib : fibreux, Mét : métaux ferreux et/ou non ferreux, Alu : aluminium, BD : bio déchets, OMR : ordures ménagères, CS : collecte sélective, C&D : Construction et démolition, Txt : textiles, DD : déchets dangereux, DEA : déchets d'éléments d'ameublement

## 8.2. AMP

Constructeur	Pays d'origine	Type de flux
AMP		Plastiques, fibreux, métaux

AMP fabrique des systèmes de récupération des déchets en appliquant l'intelligence artificielle. Basé dans le Colorado, le constructeur américain propose des solutions robotiques pour trier les déchets de la collecte sélective, électroniques et de construction & démolition.

### 8.2.1. Présentation des équipements

Le constructeur a développé deux technologies afin d'automatiser la gestion des déchets :

- **CORTEX single-robot system** : le robot de tri de type Plug & Play facilite le tri, s'intègre facilement dans l'installation et permet une séparation deux fois plus rapide qu'un tri manuel
- **CORTEX Tandem robot system** : l'utilisation de deux bras robotisés permet d'augmenter la performance de tri de manière significative. Le robot de type Plug & Play, peut être intégré dans la ligne de tri existante



### 8.2.2. Caractéristiques

Ci-après un récapitulatif des caractéristiques des équipements proposés :

Tableau 8: Caractéristiques des robots AMP

Référence produit	CORTEX single-robot system	CORTEX Tandem robot system
TRL	9	9
Nombre de machines installées	+ 175	
Type de robot	Delta	Delta
Nombre d'axes	4	2X4
Type de préhension	Ventouse	Ventouse
Type de caméra/détection	2D	2D
Nombre de robots pilotables par unité de commande	1	2
Surface de débattement	n.c	n.c
Vitesse d'avance du convoyeur	1,5 m/s	2 m/s
Niveau de précision de prise	4 800	9 600
nombre de geste/heure	4 800	9 600
limitation de charge (kg)	4,5	4,5
puissance (KW)	n.c	n.c

Prix catalogue	n.c	n.c
----------------	-----	-----

Liens URL :

- <https://www.amrobotics.com/>
- <https://vimeo.com/624601381>

### 8.2.3. Implantations des sites équipés de matériels AMP

Les solutions robotisées sont majoritairement installées aux états unis, quelques-unes en Europe.

- RecyCo en Northern Irlande,
- Agrex-Eco en Pologne.
- Sonoco,
- Rumpke,
- Waste Connections,
- Republic Services,
- ERI,
- RDS,
- Greenbridge,

### 8.3. BHS

Constructeur	Pays d'origine	Type de flux
NRT, distribué en Europe par BHS		Plastiques, fibreux, matériaux de construction & démolition

BHS conçoit, fabrique et installe des systèmes de traitement adaptés à l'extraction des matières recyclables issus des déchets. Elle intègre la technologie de détection infrarouge du tri optique de NRT dans ses robots de tri.

#### 8.3.1. Présentation des équipements

Le constructeur propose des solutions différentes :

- **Max AI AQC** : Les trieuses Max-AI AQC sont des systèmes intégrés regroupant les systèmes de vision, module de commande et la captation des éléments détectés. Ils peuvent être implantés dans des process de tri déjà existants ou sur de nouvelles installation. Le module de détection est en capacité de piloter un ou plusieurs robots (AQC-1 ou AQC-2)



Figure 37: Max AI AQC-1 (source : Max AI)



Figure 38 : Max AI AQC - 2 (Source : Max AI)

- **Max AI AQC-C** : Contrairement à l'AQC, qui a besoin de structure pour soutenir le robot et de son enveloppe pour répondre aux exigences des normes et directives, l'AQC-C est un robot coopératif qui peut être installé dans des cabines de tri, sur des passerelles étroites et dans d'autres zones dans lesquels un MAX AI AQC ne pourrait être implanté.



Figure 39 : Max AI AQC-Q (Source : Max- AI)

- **Max-AI AQC-Flex** Composé de Max-AI VIS et de deux trieurs robotisés, de type 6 axes, le nouveau Max-AI AQC-Flex est capable d'identifier et de trier des objets volumineux. Ce trieur robotisé est conçu pour des flux où des objets lourds et/ ou non uniformes sont présents, tels que les zones de pré-tri et de post-tri dans une grande variété d'applications, comme par exemple les matériaux de construction et de démolition.

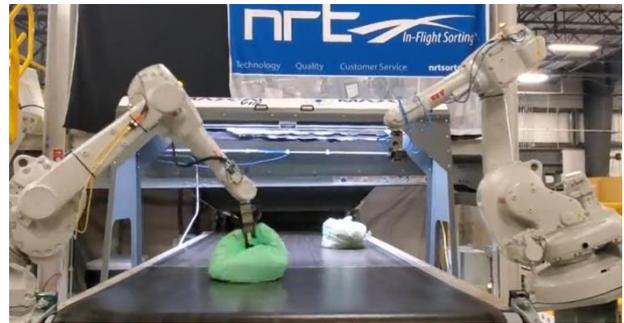
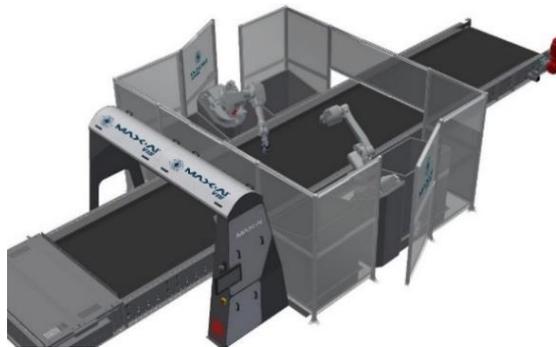


Figure 40: Max AI AQC - Flex (Source : Max-AI)

Un client aux États-Unis met en œuvre AQC-Flex afin de trier des sacs biodégradables dans un flux de déchets (Installation au premier trimestre 2022).

- **Max – VIS** : un système d'identification visuelle, sert à identifier les matériaux valorisables en temps réel Grâce à la plate-forme d'intelligence totale de BHS, les opérateurs peuvent accéder à des données en temps réel et de tendance. *Cet équipement ne fait pas partie de l'étude (reconnaissance sans tri).*

### 8.3.2. Caractéristiques

Ci-après un récapitulatif des caractéristiques des équipements proposés :

Tableau 9 : Caractéristiques des robots BHS

Référence produit	AQC-1	AQC -2	AQC -C	DUAL AQC -2	AQC_Flex
TRL	9	9	9	9	9
Nombre de machines installées	>150 (total)		n.c	n.c	1
Type de robot	Delta	2 X Delta	Cobot	4 X Delta	2 X 6axes
Nombre d'axes	3	6	2 bras	12 (3*4)	6
Type de préhension	Ventouse	Ventouse	Ventouse	Ventouse	Pince
Type de caméra/détection	2D / 3D	2D / 3D	2D / 3D	2D / 3D	2D / 3D
Nombre de robots pilotables par unité de commande	1	1	4 cobots = 8 bras	4	2
Surface de débattement	1600mm	2X1600mm	455 mm	4 X 1600 mm (en parallèle)	n.c
Vitesse d'avance du convoyeur	0,5 – 1 m/s	0,5 – 1 m/s	0,5 – 1 m/s	0,5 – 1 m/s	n.c
Niveau de précision de prise	>85%	>85%	>85%	>85%	n.c
nombre de geste/heure	4200	3600	2800	3600	n.c
limitation de charge (kg)	0,5	0,5	0,5	0,5	20
puissance (KW)	2.3	4.6	3.5	9.2	n.c
Prix catalogue	194 900 €	355 000 €	194 900 €	550 000 €	n.c

Etat de l'art des solutions existantes et étude d'opportunité

ETUDE STRUCTURANTE SUR LES TECHNOLOGIES ROBOTIQUES ET NUMERIQUES POUR LES DECHETS

Liens URL :

- <https://www.max-ai.com/>
- <https://www.bulkhandlingsystems.com/>
- <https://nihot.nl/products/max-ai-robotic-sorters/>
- <https://youtu.be/7ba-SkwDTXA>
- <https://youtu.be/z8MSky5Q-AM>
- [https://youtu.be/l\\_IDvbPeAXE](https://youtu.be/l_IDvbPeAXE)

### 8.3.3. Implantations des sites équipés de matériels BHS

Les solutions robotisées sont majoritairement installées en Amérique du nord et en Europe. Quelques installations de tri équipées de robots existent également en Asie et en Australie.

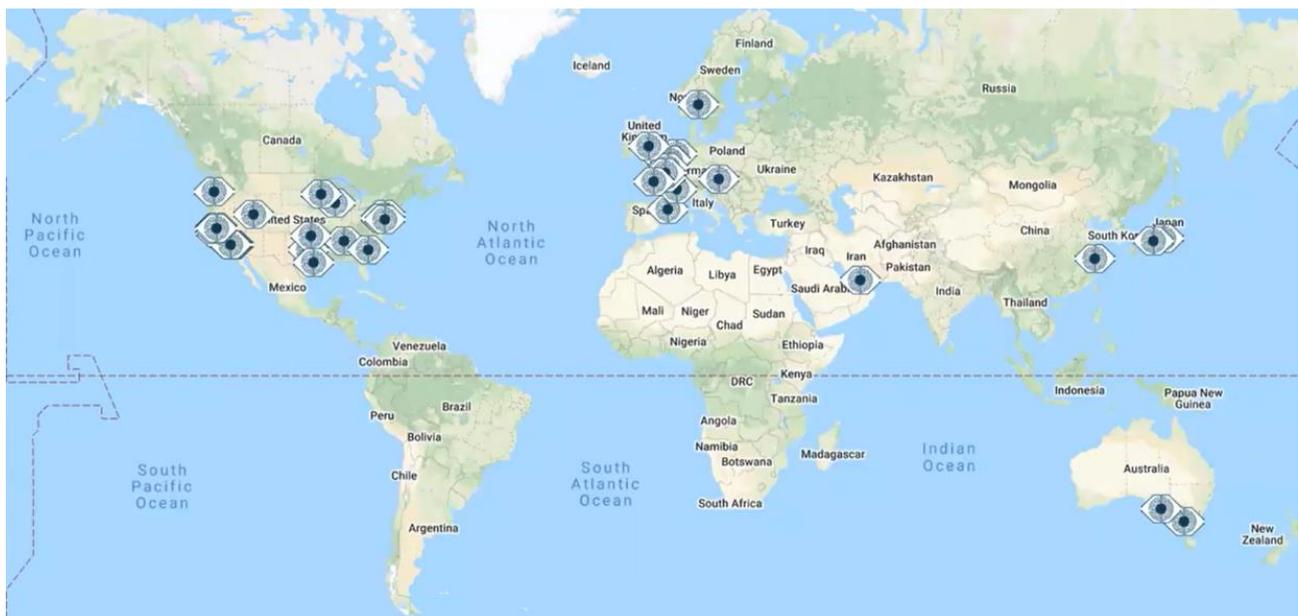


Figure 41 : Carte de installation de BHS dans le monde (Source : Max-AI)

## 8.4. BOLLEGRAAF

Constructeur	Pays d'origine	Type de flux
<b>BOLLEGRAAF</b>		Papier, carton, plastique, métaux, cartons, résidus

D'une expérience de plus de 50 ans, la société néerlandaise est réputée dans la fabrication d'équipements de recyclage et de traitement des déchets, avec une expérience reconnue dans la création d'installations de recyclage complètes. Dès 2005, BOLLEGRAAF a proposé et déposé un brevet concernant un système automatisé avec des bras permettant de trier les déchets tels que le PET, le PE et le PS, mais également le papier et le carton, issus de la collecte sélective.

RoBB a été soumis à un programme de tests dans une usine de tri en Angleterre, au milieu des années 2010.



Figure 42 : RoBB QC (source Bollegraaf)

### 8.4.1. Présentation des équipements :

Le constructeur propose maintenant un modèle dédié, à ce jour, aux flux des fibreux ou plastiques issus d'une collecte sélective :

- **RoB-AQC** le robot de tri est entièrement automatisé, il est conçu pour la séparation des plastiques, cartons et métaux.

L'équipement peut être intégré aisément sur un site du fait de la mise en place d'une protection périphérique et une interface IHM. Le système de vision peut piloter jusqu'à 3 bras.

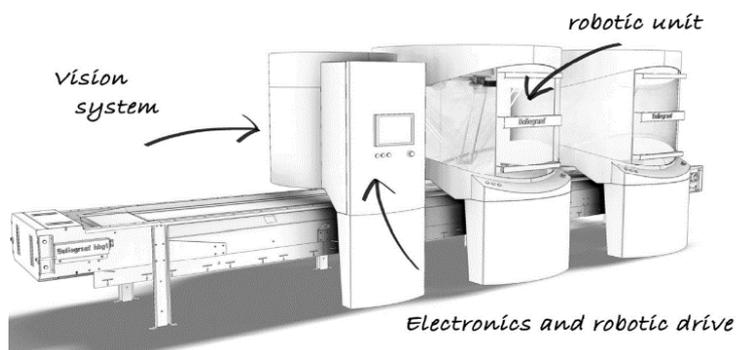


Figure 43 : RoBB- AQC (source : brochure Bollegraaf)

## 8.4.2. Caractéristiques

Ci-après un récapitulatif des caractéristiques des équipements proposés :

Tableau 10 : Caractéristiques du robot Bollegraaf

Référence produit	RoBB-AQC
TRL	9
Nombre de machines installées	6
Type de robot	Delta
Nombre d'axes	n.c
Type de préhension	Ventouse
Type de caméra/détection	NIR, RGB et Caméra
Nombre de robots pilotables par unité de commande	2
Surface de débattement	1600mm
Vitesse d'avance du convoyeur	0,5 - 1 m/sec
Niveau de précision de prise	n.c
nombre de geste/heure	4200
limitation de charge (kg)	1,5 kg
puissance (KW)	6
Prix catalogue	n.c

Liens URL :

- <https://vdrs.com/single-stream-robotic-sorting-system/>

## 8.4.3. Implantations des sites équipés de matériels Bollegraaf

- 5 sites disposant d'un équipement RoBB, aux Pays Bas, aux Etats Unis, en Allemagne.
- BOLLEGRAAF dispose également d'un équipement sur son centre de test.

## 8.5. ENERGIEPOLE SOLUTIONS

Constructeur	Pays d'origine	Type de flux
Energipole Solutions		Biodéchets, OMR, CS

Energipole Solutions propose une solution de collecte intégrée & tri robotisé des sacs en plastiques. En intégrant l'IA pour capter en positif un flux parmi plusieurs, sur un même convoyeur.

### 8.5.1. Présentation des équipements :

La société française propose des robots sur-mesure, il s'agit de :

- **WR-1** qui trie automatiquement les sacs de déchets organiques sur une station de transfert, afin de les récupérer pour le compostage ou le biogaz,



### 8.5.2. Caractéristiques

Ci-après un récapitulatif des caractéristiques des équipements proposés :

Tableau 11 : Caractéristiques du robot Energiepole Solutions

Référence produit	WR – 1
TRL	9
Nombre de machines installées	8
Type de robot	6 axes
Nombre d'axes	6
Type de préhension	Pince
Type de caméra/détection	2D et 3D
Nombre de robots pilotables par unité de commande	6
Surface de débattement	2200 X 1650 mm
Vitesse d'avance du convoyeur	Adaptée selon le flux
Niveau de précision de prise	10 mm
nombre de geste/heure	1500
limitation de charge (kg)	25 kg
Densité (nombre d'objets à prendre/heure)	1500
puissance (KW)	2.5 kW
Prix catalogue	200 000 € (1 bras) – 700 000 € (6 bras)

Liens URL :

- <https://energipole-solutions.fr/>

### 8.5.3. Implantations des sites équipés de matériel Energiepole Solutions

Coordonnées client	Lieu	Descriptif succinct des prestations réalisées
<b>BIOGIE</b>	CVE – CVO de Dunkerque	Installation de tri en positif des sacs de CS et de biodéchets dans un flux d'OMr <b>Mise en service en décembre 2021</b>
<b>Multi-clients SEMARDEL</b>	(Installation déplaçable) Vert-le-Grand	Installation de tri en positif des sacs de biodéchets dans un flux d'OMr. <b>Mise en service en novembre 2021</b>
<b>Multi-clients BIOGIE</b>	(Installation déplaçable)	Installation de tri en positif des sacs de CS dans un flux d'OMr. <b>Mise en service en novembre 2020</b>

Coordonnées client	Lieu	Descriptif succinct des prestations réalisées
	CVE – CVO de Dunkerque	

## 8.6. ETIA

Constructeur	Pays d'origine	Type de flux
PicVisa		Plastiques, Aluminium, Fibreux ; textiles, déchets dangereux
ETIA		Déchets dangereux, ferraille, bois ..

### 8.6.1. Présentation des équipements

Le groupe français ETIA et espagnol PICVISA présentent deux types de robots, pour traiter différents flux de déchets :

- Ecopick 2.0** : est une solution complète de tri robotisée avec une intelligence artificielle destiné à la « collecte sélective » de chez PICVISA, commercialisé par ETIA/VOW en France.



Figure 44 : Robot EcoPick (source: PICVISA)

**AIRSS** : est une solution 100% française de tri robotisée avec une intelligence artificielle destiné aux marchés du recyclage des « déchets industriels » VHU, DIB, C&D (Bois-bétons), DASRI, et autres de chez ETIA/VOW. Ce robot fonctionne avec des systèmes de préhensions magnétique/mécanique en fonction des demandes clients adaptés aux demandes.



Figure 45 : Robot AIRSS (source : ETIA)

### 8.6.2. Caractéristiques

Ci-après un récapitulatif des caractéristiques des équipements proposés:

Tableau 12 : Caractéristiques des robots ETIA

Référence produit	Ecopick 2.0	AIRSS
TRL	9	3
Nombre de machines installées	5	1
Type de robot	Delta	6 Axes et 4 axes « SCARA »
Nombre d'axes	3	6

Référence produit	Ecopick 2.0	AIRSS
Type de préhension	Aimant , Pince , Ventouses , (développement sur commande)	Aimant , Pince , Ventouses , (développement sur commande)
Type de caméra/détection	2D	2,5 D
Nombre de robots pilotables par unité de commande	3	1 - 3
Surface de débattement	2 200 X 3 553,5 X 2 600 mm	500 à 1 500 mm
Vitesse d'avance du convoyeur	0,5 – 1 m/s	0.3 – 0.4 m/s
Niveau de précision de prise	40 mm	
nombre de geste/heure	3 600	1 000
limitation de charge (kg)	6	30
puissance (KW)	7,7	17 KVA
Prix catalogue	199 290 €	n.c

Liens URL :

- <https://picvisa.com/wp-content/uploads/2021/09/ecopick-eng.pdf>
- [https://picvisa.com/wp-content/uploads/2020/08/Ecopick\\_EN\\_.pdf](https://picvisa.com/wp-content/uploads/2020/08/Ecopick_EN_.pdf)
- <https://etia-group.com/wp-content/uploads/2021/08/RECYCLAGE-RECUPERATION-english-version-July-2021-1.pdf>
- <https://etia-group.com/recycling-and-robotics/>

### 8.6.3. Implantation des sites équipés de matériels PICVISA

Les robots sont installés en Amérique du nord, Amérique Latine, en Europe et peu en Asie



Figure 46 : Carte des installations de PICVISA dans le monde (Source : PICVISA)

## 8.7. GREEN MACHINE

Constructeur	Pays d'origine	Type de flux
Green Machine		Plastiques, Aluminium, Fibreux

Green Machine est un fabricant américain d'équipements et de systèmes de recyclage et de traitement des déchets solides.

### 8.7.1. Présentation des équipements

Green Machine propose deux types de robots :

- **I-Bot RGB Model** : avec ses deux bras sa caméra RVB détecte les PET et les HDPE
- **I-Bot HYP Model** : détecte plutôt tout type de plastique, Aluminium et les fibres à l'aide à sa reconnaissance hyper-spectrale.



### 8.7.2. Caractéristiques

Ci-après un récapitulatif des caractéristiques des équipements :

Tableau 13 : Caractéristiques des robots Green Machine

Référence produit	I-Bot RGB Model	I-Bot HYP Model
TRL		
Nombre de machines installées	n.c	n.c
Type de robot	n.c	n.c
Nombre d'axes	n.c	n.c
Type de préhension	Ventouse	Ventouse
Type de caméra/détection	RGB	RGB, NIR
Nombre de robots pilotables par unité de commande	3	3
Surface de débattement	1828 mm	1828 mm
Vitesse d'avance du convoyeur	n.c	n.c
Niveau de précision de prise	n.c	n.c
nombre de geste/heure	6000	6000
limitation de charge (kg)	n.c	n.c
puissance (KW)	n.c	n.c
Prix catalogue	n.c	n.c

## 8.8. MACHINEX

Constructeur	Pays d'origine	Type de flux
--------------	----------------	--------------

MACHINEX		Plastiques, fibreux, Aluminium.
----------	---	---------------------------------

Depuis les années 80, Machinex conçoit des équipements destinés aux centres de tri, en développant des technologies de tri, de gestion des déchets et de recyclage.

### 8.8.1. Présentation des équipements

Machinex commercialise SamurAI, le robot trieur utilisant l'intelligence artificielle capable d'identifier les matériaux pour une récupération précise et un contrôle qualité.

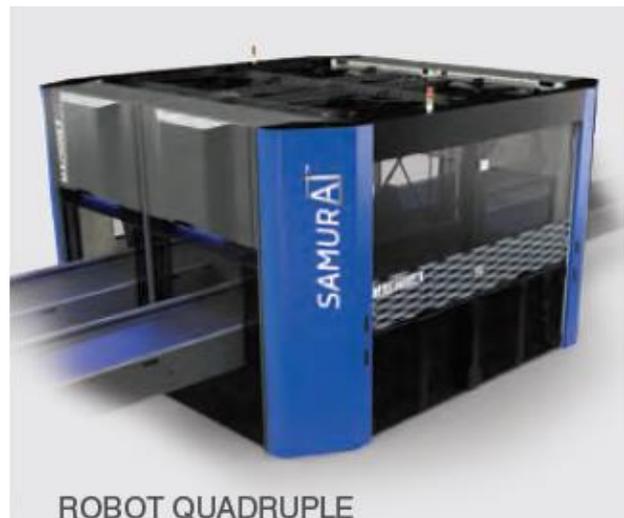


Figure 47 : SamurAI (source Machinex)

### 8.8.2. Caractéristiques

Ci-après un récapitulatif des caractéristiques des équipements :

Tableau 14 : Caractéristiques du robot MachinEX

Référence produit	SamurAI
TRL	14 Centres de tri équipés et 8 autres à venir en 2022 et 2023.
Nombre de machines installées	18 Robots à Simple bras et 5 Robots à Double bras.
Nombre de machines à installer	13 Robots à Simple bras et 8 Robots à Double bras.
Type de robot	Delta
Nombre d'axes	4 motorisations
Type de préhension	Ventouse de 50mm avec cyclone interne ou externe selon le besoin. Permet l'absorption des films souples et des items plus petits que 50mm.
Type de caméra/détection	Caméra visuelle de type RGB (Red Green Blue) 2D
Nombre de robots pilotables par unité de commande	4 robots
Surface de débattement	2 Modèles: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rayon d'action de 1300mm pour le SamurAI équipé du Robot Omron Quattro 650,</li> <li>• Rayon d'action de 1600mm pour le SamurAI équipé du Robot Omron Quattro 800</li> </ul>
Vitesse d'avance du convoyeur	Plage de vitesse optimale : 0.762 m/sec (150 pied/min) à 0.9144 m/sec (180 pied/min)

<b>Niveau de précision de prise</b>	Détection d'objet d'une dimension de 20mm et plus. Cependant, en mode de fonctionnement normale, nous ne visons pas ces petits objets, nous priorisons les objets de plus de 50mm. La dimension de la ventouse est de 50mm de diamètre.
<b>Nombre de geste/heure</b>	Théorique 4200 gestes par heure ; Garantie possible jusqu'à 3600 gestes par heure
<b>Limitation de charge (kg)</b>	1.25 kg
<b>Puissance (KW) par bras robotisé</b>	30 kW (40 Ampères /400 Volts /3 Phases + GND)"
<b>Prix catalogue</b>	190 000 €

URL :

- <https://www.machinexrecycling.com/fr/produits/robot-trieur/>

### 8.8.3. Implantations des sites équipés de matériels Machinex

Machinex conçoit et installe des procédés de tri clé en main au Canada, aux États-Unis, en Europe, en Asie et en Australie. Ci-après quelques références récentes du robot SamurAI.

CLIENT	ADRESSE	QUANTITÉ	APPLICATION	ANNÉE D'INSTALLATION
<b>Pure Cycle Technologies</b>	Ironton, OH	(4) Robots simple	PP QC Residue QC PET QC HDPE QC	En cours - installation Janvier 2023
<b>Republic Services</b>	Scottsdale, Arizona	(1) Robot double	Contrôle Qualité HDPE Extraction positive HDPE	En cours - installation Novembre 2022
<b>Casella Recycling LLC</b>	Charlestown, MA	(1) Robot simple	Extraction positive PET Extraction positive HDPE naturel Extraction positive HDPE coloré	En cours - Installation Été 2022
<b>Trifyl (Ebhys)</b>	Labruguière, France	(1) Robot simple	Contrôle Qualité Flux Développement & Récupération ligne de rejets	En cours - Installation Été 2022
<b>Sherbourne Recycling Ltd.</b>	Coventry, UK	(1) Robot simple (7) Robots doubles	Contrôle Qualité sur : Journaux, revus & magazines (4) Papier mixte (4) Ferreux et non-ferreux, PET Clair, HDPE naturel et Plastiques mixtes Récupération ligne de rejets	En cours - installation Été 2022
<b>Rumpke Recycling</b>	Cincinnati, Ohio	(1) Robot simple	Extraction positive HDPE naturel Extraction positive aluminium Contrôle Qualité HDPE couleur	En cours – installation février 2022
<b>Recycling Design &amp; Technologies</b>	SRWRA, Adelaide, AU	(2) Robots simples	Contrôle Qualité PET Clair Contrôle Qualité HDPE/PP	En cours – livraison février 2022
<b>Veolia</b>	Bègles, Bordeaux, France	(3) Robots simples	Contrôle Qualité PET Clair Contrôle Qualité HDPE/PP Récupération ligne de rejets	En cours - démarrage à l'automne 2022
<b>Rumpke Recycling</b>	Cincinnati, Ohio	(1) Robot simple	Extraction positive HDPE naturel Contrôle Qualité HDPE couleur	Installé en septembre 2021
<b>Western Washtenaw</b>	Chelsea, Michigan	(1) Robot simple	Extraction positive HDPE naturel Extraction positive HDPE couleur	Installé en septembre 2021

<b>Recycling Authority (WWRA)</b>				
<b>Rumpke Recycling</b>	Cincinnati, Ohio	(1) Robot simple (1) Robot double	Récupération PP et PET	Installé en juillet 2021
<b>Veolia</b>	Portes-lès-Valence, France	(1) Robot simple (1) Robot double	Contrôle Qualité PET Clair Contrôle Qualité HDPE/PP Récupération ligne de rejets	Installé au printemps 2021
<b>Bluewater Recycling Association</b>	Huron Park, Ontario	(6) Robots simples	(4) nettoyant le papier en retirant le carton, sacs, plastiques, métaux (1) CQ plastiques mixtes (1) extraction positive de plastique sur courroie de rejets	Installé en janvier 2021
<b>Marquette County Solid Waste authority</b>	Marquette, Michigan	(1) Robot simple	Extraction positive HDPE naturel Extraction positive PET	Installé à l'automne 2020
<b>Atal Engineering Group</b>	Hong Kong	(1) Robot double	Extraction positive papier Extraction positive PET Extraction positive HDPE Extraction positive aluminium Extraction positive ferreux Extraction positive bouteille verre	Installé à l'automne 2020
<b>Pratt Recycling</b>	Conyers, Georgia	(1) Robot simple	Contrôle Qualité canettes alu. Extraction positive papier alu. Extraction positive autres objets	Installé au printemps 2020
<b>WWRA</b>	Chelsea, Michigan	(1) Robot simple	Extraction positive HDPE naturel Extraction positive HDPE couleur	Installé au printemps 2020
<b>GFL Environmental</b>	Winnipeg, Manitoba	(1) Robot simple	Contrôle Qualité HDPE	Installé à l'automne 2019
<b>GFL Environmental</b>	Toronto, Ontario	(3) Robots simples	(1) CQ HDPE (1) CQ contenant multicouche (1) CQ plastique mixte	Installé à l'été 2019
<b>Chatham-Kent Recycling Inc.</b>	Merlin, Ontario	(1) Robot double	Extraction positive HDPE naturel Extraction positive HDPE couleur Extraction positive plastique #2,4,5&7	Installé au printemps 2019
<b>Sani-Éco</b>	Granby, Québec	(1) Robot double	Extraction positive HDPE Extraction positive contenant multicouche	Installé à l'automne 2018
<b>Lakeshore Recycling Systems LLC</b>	Forest View, Illinois	(1) Robot simple	Extraction positive HDPE naturel Extraction positive HDPE couleur Extraction positive papier alu. Extraction positive contenant multicouche	Installé au printemps 2018

Soit un total de 31 robots simples et 13 robots doubles vendus.

## 8.9. RECYCLEYE

Constructeur	Pays d'origine	Type de flux
Recycleye / FANUC		Plastiques, Fibreux et aluminium

Recycleye propose le machine learning avancé, la reconnaissance d'image (Recycleye Vision) et l'automatisation pour révolutionner le tri des déchets.

Développé en partenariat avec Fanuc, un des plus gros fabricants de systèmes robotique mondiale, Recycleye Robotics est conçu pour la manipulation de matières recyclables mélangées sèches, avec la modularité à l'esprit. Les installations européennes de Recycleye Robotics sont maintenu en direct et sur mesure par l'équipe ingénieur experte de Fanuc.

### 8.9.1. Présentation des équipements

Rapidement et facilement installé au-dessus des convoyeurs existants ou pour de nouvelles installations, Recycleye Robotics met en œuvre des systèmes 6 axes est 75% plus léger que les robots de tri standard (250kg). Le mécanisme d'éjection du robot 6 axes capte efficacement les produits. Le capteur de pression empêche les mouvements à vides et gère le chemin de prélèvement optimal.

Avec une méthode de d'installation rapide, et des couts de modernisation faibles, Recycleye Robotics et FANUC ont lancé deux robots de tri alimentés par Recycleye Vision, il s'agit de :

- Recycleye robot 6 axis



Figure 48: Robot 6 - Axes (source : Recycleye)

- Recycleye robot delta

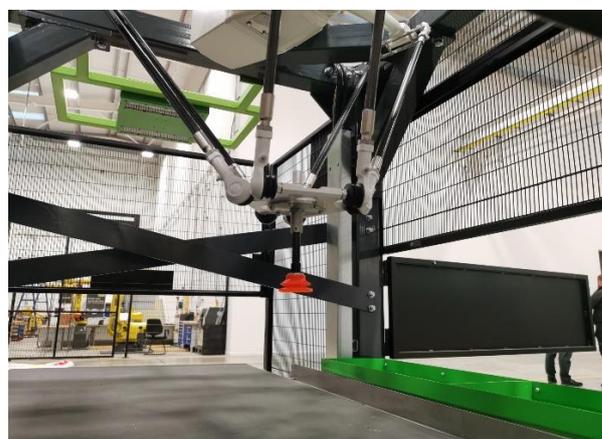


Figure 49: Robot Delta (Source : Recycleye)

### 8.9.2. Caractéristiques

Ci-après un récapitulatif des caractéristiques des robots Recycleye

Tableau 15 : Caractéristiques des robots Recycleye

Référence produit	Recycleye robot (6-axis)	Recycleye robot (Delta)
TRL	9	8
Nombre de machines installées	6	1
Type de robot	6 axes	Delta
Nombre d'axes	6	4
Type de préhension	Ventouse	Ventouse
Type de caméra/détection	Camera RGB 2D + Camera IR 3D	Camera RGB 2D + Camera IR 3D
Nombre de robots pilotables par unité de commande	3 robot / unité	3 robot / unité
Surface de débattement	n.c	n.c

Vitesse d'avance du convoyeur	0,1 – 0,8 m/s	0,1 – 0,8 m/s
Niveau de précision de prise	Jusqu'à 2 cm	Jusqu'à 2 cm
nombre de geste/heure	3000	4 200
limitation de charge (kg)	3 kg	3 kg
Densité (nombre d'objets à prendre/heure)	40 000	40 000
puissance (KW)	0,5 kW	3 kW

Lien URL :

- [www.recycleye.com](http://www.recycleye.com)

### 8.9.3. Implantations

Les robots sont majoritairement installés au Royaume-Uni, avec quelques installations en France et en Italie.



Figure 50 : Répartition des installations de Recycleye Robotics (source : Recycleye)

### 8.10. SILEANE

Constructeur	Pays d'origine	Type de flux
SILEANE		DEA

Fondée en 2002, la société française propose des solutions permettant aux robots de comprendre toute la finesse d'un espace 3D en temps réel et d'y adapter automatiquement leurs trajectoires

#### 8.10.1. Présentation de l'équipement

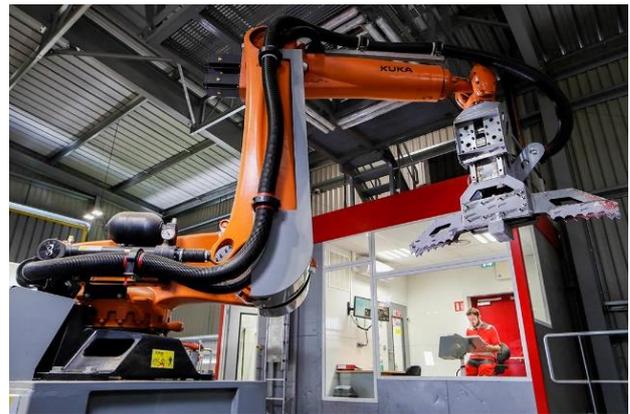
- **Kamido** : un robot auto-adaptatif pour les opérations de dévissage, tri de déchets et picking/kitting. Pour des questions de confidentialité, SILEANE n'a pas souhaité communiquer d'informations sur ses produits.

- **ROBB'INN** : Cette solution a été développée sous la direction de VEOLIA

VEOLIA a mis en œuvre sur le centre de tri de *Chermignac* un robot destiné au tri des déchets d'éléments d'ameublement, C'est un robot 6 axes équipé d'une pince adaptée à ce type de déchets. Rob'Inn permet le tri et la valorisation du bois, des plastiques, des éléments rembourrés et de la ferraille.

Rob'inn multiplie par 3 le débit de tri des DEA par rapport au tri à la pelle mécanique habituellement utilisée, grâce à la performance des fonctionnalités du logiciel et des installations techniques.

Le robot assure également la sécurité des agents qui supervisent et désignent, à l'aide d'un système télé-opéré, les déchets à séparer.



### 8.10.2. Implantation des sites équipés des technologies ROBB'IN

VEOLIA a déployé cette technologie sur plusieurs sites en France

## 8.11. STEINERT

Constructeur	Pays d'origine	Type de flux
STEINERT		Tri des plastiques et emballages légers

Fondée en 1889, STEINERT la société allemande fournit des solutions de séparation magnétique et du tri par des capteurs. Depuis quelques années, elle distribue également des équipements de tri optique et des solutions robotisées de tri.

### 8.11.1. Présentation des équipements

- **UniSort Unibot** s'appuie sur une technologie éprouvée : la combinaison de capteurs de NIR hyperspectral haute résolution et de caméra couleur. Il se compose d'un robot delta avec son propre accessoire d'outil, et d'une cellule robotisée adaptée individuellement selon le besoin, et complétée en option par un deuxième sélecteur pour des débits plus élevés.

Pour des raisons de confidentialité, STEINERT n'a pas souhaité communiquer d'informations complémentaires sur sa gamme et les installations équipées d'Unibot.



Figure 51: Unisort Unibot (source Steinert)

### 8.11.2. Caractéristiques

Tableau 16 : Caractéristiques du robot STEINERT

Référence produit	Unibot
TRL	n.c
Nombre de machines installées	n.c
Type de robot	Delta
Nombre d'axes	4
Type de préhension	Ventouse
Type de caméra/détection	Caméra NIR, caméra couleur, 3D
Nombre de robots pilotables par unité de commande	n.c
Surface de débattement	n.c
Vitesse d'avance du convoyeur	n.c
Niveau de précision de prise	n.c
nombre de geste/heure	n.c
limitation de charge (kg)	n.c
Densité (nombre d'objets à prendre/heure)	n.c
puissance (KW)	n.c
Prix catalogue	n.c

## 8.12. TOMRA

Constructeur	Pays d'origine	Type de flux
TOMRA		Plastiques, fibreux

### 8.12.1. Présentation des équipements

**AUTOSORT CYBOT** combine quatre technologies essentielles à la fois. Interagissant de manière transparente avec l'AUTOSORT, il atteint les niveaux de précision et de pureté de tri les plus élevés en deux étapes: les premiers objets sont d'abord détectés par les capteurs AUTOSORT, puis triés dans l'une des quatre fractions cibles distinctes par le bras du robot de prélèvement rapide.



## 8.12.2. Caractéristiques

Tableau 17 : Caractéristiques du robot TOMRA

Référence produit	CYBOT
TRL	-
Nombre de machines installées	3
Type de robot	Delta
Nombre d'axes	3
Type de préhension	Ventouse
Type de caméra/détection	NIR-VIS-EM3-GAIN
Nombre de robots pilotables par unité de commande	1
Surface de débattement	0.4 m <sup>2</sup>
Vitesse d'avance du convoyeur	30 m/min
Niveau de précision de prise	90%
nombre de geste/heure	70 pics/min
limitation de charge (kg)	0.5 (selon la forme de l'objet)
Densité (nombre d'objets à prendre/heure)	N.C.
puissance (KW)	5 (hors convoyeurs)
Prix catalogue	N.C.

## 8.12.3. Implantation des sites équipés de matériels TOMRA

- 3 sites de traitement allemands sont équipés en phase d'essais industriels d'un Autosort CYBOT.

## 8.13. WASORIA

Constructeur	Pays d'origine	Type de flux
WASORIA		Tri en sacs , Matériaux de construction et démolition et collecte sélective

WASORIA est une filiale de Néos, en activité depuis 2020. Elle est spécialisée dans la réalisation et la mise en service de robots de tri et de gestion des données.

La société propose des solutions sur mesure, en collaborant avec Waste Robotics.

### 8.13.1. Présentation des équipements



Figure 52 : Robot de tri WASORIA - Waste Robotic (centre de tri Semardel, Vert-le-Grand)

### 8.13.2. Caractéristiques

Ci-après un récapitulatif des caractéristiques des robots de WASORIA :

Tableau 18 :Caractéristiques du robot WASORIA

Référence produit	WR3-
TRL	8
Nombre de machines installées	1
Type de robot	6 axes, Cartésiens, Delta
Nombre d'axes	4
Type de préhension	Pince et /ou ventouse
Type de caméra/détection	RGB, 2D, 3D, Hyperspectrale
Nombre de robots pilotables par unité de commande	2
Surface de débattement	1600 X 500
Vitesse d'avance du convoyeur	n.c
Niveau de précision de prise	5 mm
nombre de geste/heure	4 000
limitation de charge (kg)	n.c
Densité (nombre d'objets à prendre/heure)	n.c
puissance (KW)	1
Prix catalogue	A partir de 250 k€

### 8.13.3. Implantation des sites équipés de matériels WASORIA

- Centre de tri de collecte sélective de Vert le Grand (91)

## 8.14. WASTE ROBOTICS

Constructeur	Pays d'origine	Type de flux
Waste Robotics		Tri en sacs , Matériaux de C&D et collecte sélective

Fondée en 2016, Waste Robotics fournit des solutions robotiques de l'industrie 4.0 au secteur du recyclage des déchets. Elle a noué des partenariats avec des entreprises françaises pour la fourniture de solutions complètes (WASORIA, ENERGIPOLE).

### 8.14.1. Présentation des équipements

La société canadienne propose trois types de robot sur mesure, il s'agit de :

- **WR-1** qui trie automatiquement les sacs de déchets organiques sur une station de transfert, afin de les récupérer pour le compostage ou le biogaz,
- **WR-2** qui trie et prépare des matériaux recyclés C&D



- **WR-3** qui est destiné à trier les déchets de la collecte sélective.
- **WR-X** : solution développée sur mesure selon le besoin du client. Exemple d'une installation récente : Tri de polystyrène



### 8.14.2. Caractéristiques

Ci-après un récapitulatif des caractéristiques des robots WR

Tableau 19 :Caractéristiques des robots Waste Robotics

Référence produit	WR – 1	WR – 2	WR – 3
TRL	9	9	9
Nombre de machines installées	8	3	2

Etat de l'art des solutions existantes et étude d'opportunité  
**ETUDE STRUCTURANTE SUR LES TECHNOLOGIES ROBOTIQUES ET NUMERIQUES POUR LES DECHETS**

Référence produit	WR – 1	WR – 2	WR – 3
Type de robot	6 axes	6 axes	6 axes
Nombre d'axes	6	6	6
Type de préhension	Pince	Pince	Pince et/ou Ventouse
Type de caméra/détection	2D et 3D	2D, 3D et hyperspectral	2D, 3D et hyperspectral
Nombre de robots pilotables par unité de commande	6	6	6
Surface de débattement	2200 X 1650 mm	2200 X 1650 mm	1600 X 500 mm
Vitesse d'avance du convoyeur	Adaptée selon le flux	Adaptée selon le flux	Adaptée selon le flux
Niveau de précision de prise	10 mm	10 mm	5 mm
nombre de geste/heure	1500	1500	1500
limitation de charge (kg)	25 kg	25 kg	25 kg
Densité (nombre d'objets à prendre/heure)	1500	1500	1500
puissance (KW)	2.5 kW	2.5	1
Prix catalogue	200 000 € (1 bras) – 700 000 € (6 bras)	300 000€ (1 bras) – 800 000 € (6 bras)	150 000€ (1 bras) – 450 000 € (6 bras)

URL :

- <https://wasterobotic.com/fr/robots-tri-en-sacs>
- <https://wasterobotic.com/fr/robots-construction-demolition/>
- <https://wasterobotic.com/fr/robots-recyclage/>

### 8.14.3. Implantations des sites équipés par Waste Robotics

Site	Type de tri
Dunkerque, France (ENERGIPOLE)	tri d'organiques en sacs
Vert-le-grand, France (WASORIA)	Tri des plastiques
Delano, Minnesota	tri d'organiques en sac
Cartersville, Georgie	Tri matériaux construction/démolition
Prévost, Québec	tri de polystyrène

### 8.15. ZEN ROBOTICS

Constructeur	Pays d'origine	Type de flux
Zen Robotics		Déchets C&D et industriels (C&I) les plastiques, métaux, bois, inertes, sacs

		plastiques, Collecte Sélective, Ordures ménagères
--	--	---

Zen Robotics est la première entreprise à appliquer des robots de tri basés sur l'IA à un environnement complexe de tri des déchets.

### 8.15.1. Présentation des équipements

La société finlandaise propose :

- **Le Heavy Picker** : est conçu pour séparer les objets volumineux et encombrants, c'est un robot de tri polyvalent qui s'adapte à un large éventail de besoins de tri.
- **Le Fast Picker** : sa conception robuste et compacte est optimale pour les environnements de traitement des déchets exigeants, il s'adapte à la plupart des stations de prélèvement sans modifications supplémentaires.



Figure 54 : Pince du robot Heavy Picker (source: ZenRobotics)



Figure 53 : robot Fast Picker (source: ZenRobotics)

### 8.15.2. Caractéristiques

Ci-après un récapitulatif des caractéristiques des robots ZenRobotics

Tableau 20 : Caractéristiques des robots Zen Robotics

Référence produit	Heavy picker	Fast Picker
TRL	9	9
Nombre de machines installées	>25 (total)	
Type de robot	6 axes	portique
Nombre d'axes	6	3
Type de préhension	Pince	Ventouse
Type de caméra/détection	NIR, RGB, 3D, capteur d'imagerie métallique, capteur de spectre lumineux visuel	RGB
Nombre de robots pilotables par unité de commande	1 – 3	1
Surface de débattement	2000 X 1800 mm	1 200 X 600 mm

Référence produit	Heavy picker	Fast Picker
Vitesse d'avance du convoyeur	0,1 - 0,7 m/s	0,1 - 1 m/s
Niveau de précision de prise	n.c	n.c
nombre de geste/heure	2300	4000
limitation de charge (kg)	30 kg	1 kg
Densité (nombre d'objets à prendre/heure)	2000	>3000
puissance (KW)	10 kW	11 kW
Prix catalogue	n.c	n.c

Lien URL:

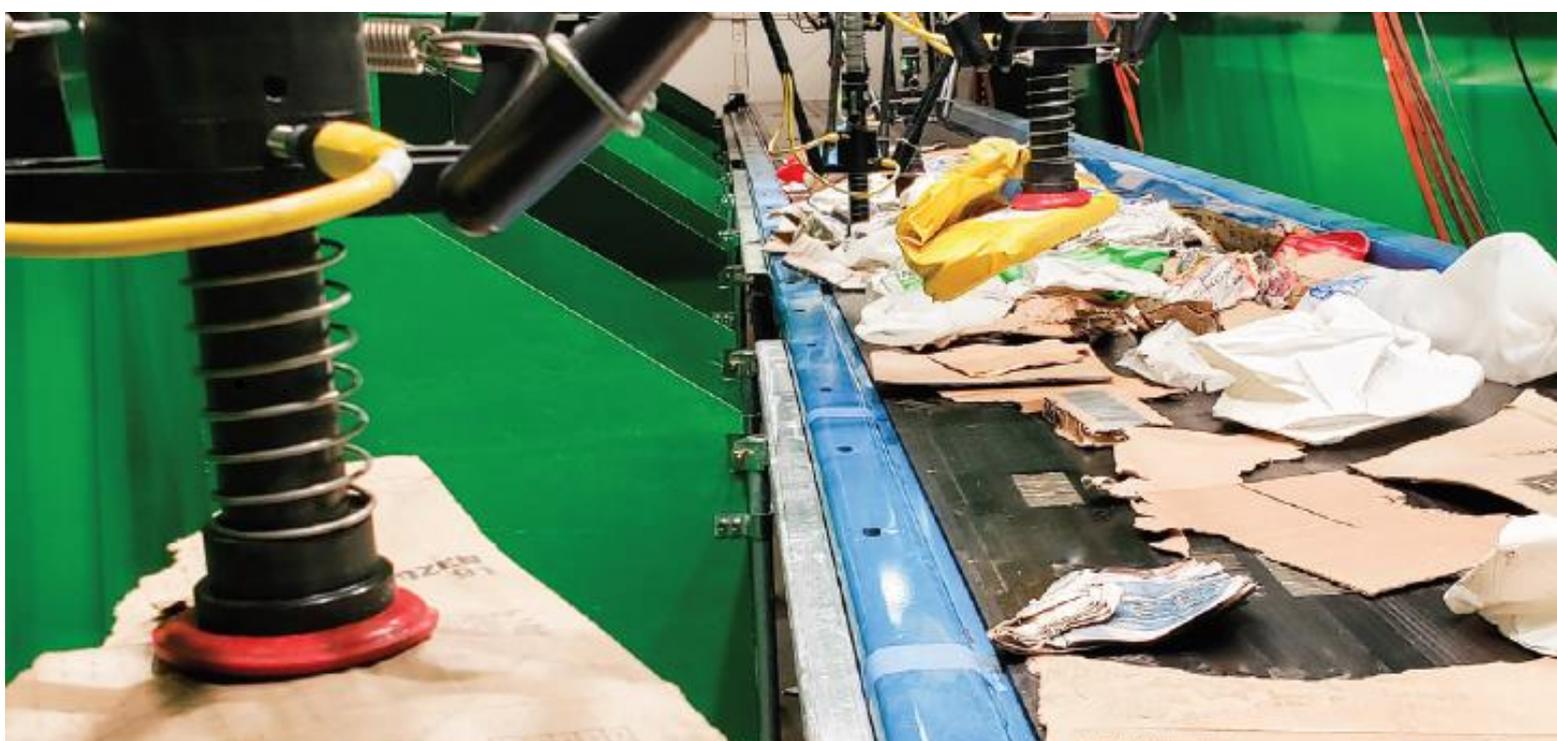
- <https://zenrobotics.com/solutions/fast-picker/>
- <https://zenrobotics.com/solutions/heavy-picker/>

### 8.15.3. Implantations des sites équipés de matériels ZenRobotics

Les robots sont majoritairement installés en Europe et quelques installations en Asie et en Amérique du nord.



Figure 55 : Carte des installations de ZenRobotics (Source : Site officiel de ZenRobotics)



## D. ANNEXES



## ANNEXE 1

# FILIERES A RESPONSABILITE ELARGIE DES PRODUCTEURS (REP)

## 1. DEFINITION ET OBJECTIFS

Les filières à Responsabilité Elargie des Producteurs (REP) sont des dispositifs particuliers d'organisation de la prévention et de la gestion de déchets, qui concernent plusieurs types de produits.

Le principe est le suivant « toute personne physique ou morale qui élabore, fabrique, manipule, traite, vend ou importe des produits générateurs de déchets ou des éléments et matériaux entrant dans leur fabrication, dite producteur au sens de la présente sous-section, de pourvoir ou de contribuer à la prévention et à la gestion des déchets qui en proviennent celui qui fabrique, qui distribue un produit ou qui importe un produit doit pourvoir ou contribuer à l'élimination des déchets qui en proviennent(...) » (art.L541.10 code env.). Le producteur et le distributeur doivent ainsi financer, organiser et mettre en place les solutions de collecte, de réutilisation ou de recyclage appropriées pour son produit en fin de vie.

Un tel dispositif permet l'intégration par le producteur du coût de gestion des déchets dans le coût du produit, sur le concept du pollueur payeur : plus un produit est polluant, plus les coûts pour sa fin de vie sont importants pour le producteur.

**Le but de la mise en place des REP est donc la valorisation des déchets, en respectant la hiérarchie des modes de traitement et donc en priorisant la réutilisation et la valorisation matière. Les metteurs sur le marché sont incités à augmenter les performances de recyclage des déchets produits.**

**Cela passe notamment par la mise en place d'un tri poussé des matériaux composant le produit en fin de vie de manière à permettre une valorisation matière maximale. Selon le type de flux, le recours aux technologies robotisées et numériques peut s'avérer intéressant.**

## 2. CONTEXTE REGLEMENTAIRE

En France, le principe de la REP existe dans la loi depuis 1975 et est codifié **dans l'article L. 541-10 du code de l'environnement.**

Le dispositif des filières REP a véritablement pris son essor en France, avec le **décret du 1<sup>er</sup> avril 1992 sur les emballages ménagers**. Des dispositifs similaires ont été ensuite instaurés pour d'autres produits usagés tels que les piles et accumulateurs, les papiers, les équipements électriques et électroniques (EEE), etc.

Depuis sous l'impulsion de réglementations nationales et européennes, ce dispositif a été élargi, à la fois sur la nature des produits concernés, mais également sur le champ couvert par celle-ci (prévention, réemploi, réparation...).

**Récemment, la Loi Anti Gaspillage Economie Circulaire (AGEC) du 10 février 2020 a transformé en profondeur le système d'organisation des filières REP.** L'objectif aujourd'hui n'est plus seulement de traiter les déchets produits, mais aussi de les prévenir. Pour cela, elle renforce l'usage de la modulation des éco-contributions. La Loi AGEC harmonise par ailleurs le fonctionnement de ces filières, que ce soit sur l'organisation interne des Eco-organismes, les obligations des parties prenantes, le suivi de ces filières ou la mise à disposition de données.

**La loi AGEC prévoit également la mise en place d'une dizaine de filières supplémentaires entre 2021 et 2025.**

## 3. ECO-ORGANISMES

Les producteurs soumis à la REP ont généralement le choix de mettre en place des structures collectives (éco-organismes) ou un système individuel. Ils passent le plus souvent par la solution collective en se regroupant pour constituer une structure à but non lucratif, à laquelle ils versent une éco-contribution.

Les éco-organismes sont agréés par l'Etat pour 6 ans maximum, soumis au code de l'environnement et à un cahier des charges défini par l'Etat.

Le montant de l'éco-contribution est déterminé par un barème fixé par chaque éco-organisme. **Il varie en fonction du coût de traitement du déchet.** Grâce à la loi AGEC, ce montant sera réduit si le produit intègre des critères environnementaux ou augmenté si le produit est très polluant : c'est l'éco-modulation.

## 4. CHRONOLOGIE DE LA MISE EN PLACE DES FILIERES REP

On compte aujourd'hui en France une vingtaine de filières REP dont la mise en œuvre s'est effectuée progressivement.

La timeline ci-dessous illustre la chronologie de la mise en place des différentes filières REP.

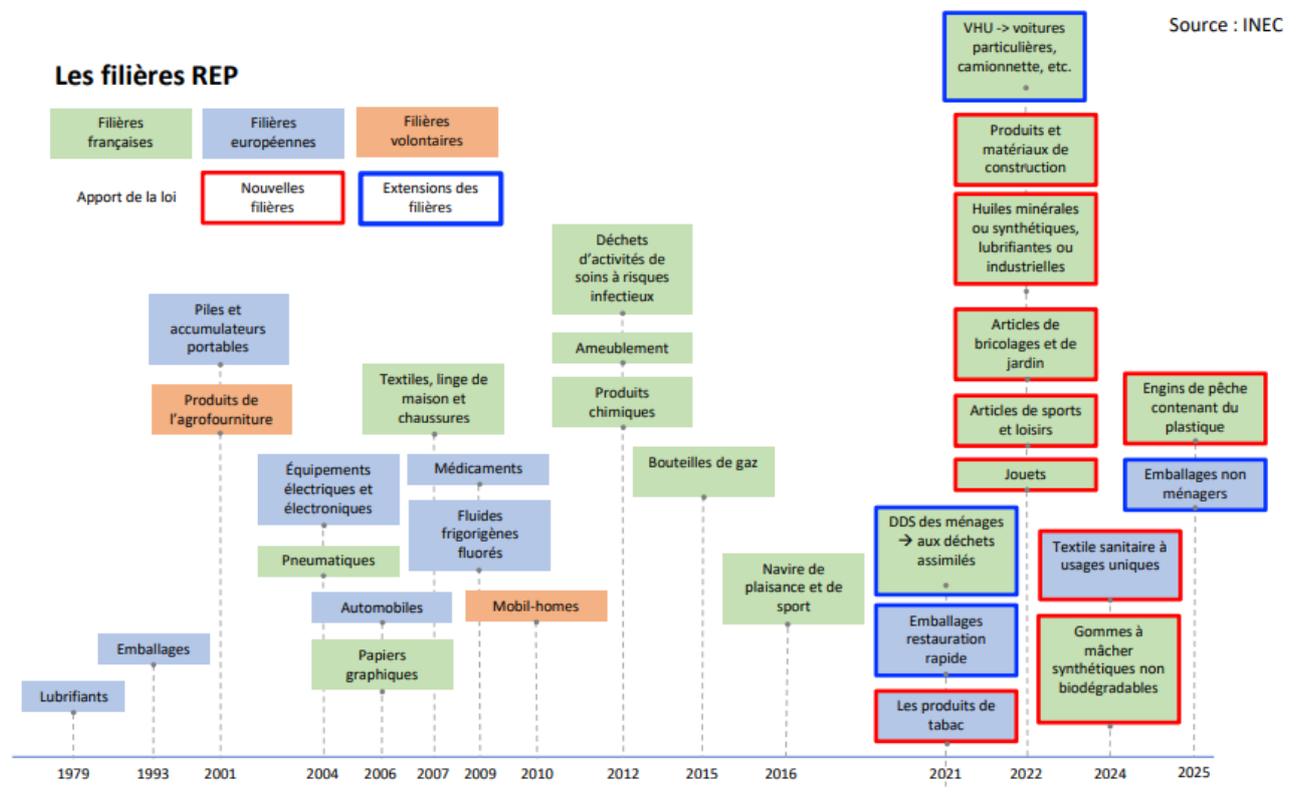


Figure 56 : Chronologie de mise en place des filières REP (source : INEC)

Nota : les filières volontaires correspondent aux filières dont l'adhésion des producteurs n'est pas obligatoire.

## 5. FOCUS SUR LES FILIERES REP EN LIEN AVEC NOTRE ETUDE

Nous présentons ici les REP en lien avec la présente étude, à savoir les filières faisant appel à des opérations de tri poussées en vue du recyclage des matériaux composant le flux de déchets.

Pour chaque filière REP, nous présenterons de façon succincte :

- Evolution de la réglementation et organisation de la filière
- Matériaux – composition

- Etapes de traitement
- Performances de valorisation

## REP VHU

### Evolution de la réglementation

La filière VHU fonctionne sous le principe de la REP depuis 2006 et concerne uniquement les véhicules des particuliers et les véhicules utilitaires des professionnels d'un PTAC inférieur à 3,5 tonnes. La loi AGEC prévoit plusieurs évolutions concernant la filière et de son fonctionnement :

- Elargissement de la filière aux autres engins motorisés (voitures particulières, camionnettes ou véhicules à moteurs à deux ou trois roues et quadricycles à moteur) à compter du 1er janvier 2021.
- Mise en place d'un éco-organisme au 1er janvier 2022. En effet, aujourd'hui, contrairement à la filière des pneumatiques, des ampoules ou encore des batteries, la filière VHU s'autogère et s'autofinance, sans dépendre d'un organisme central. L'objectif de cette mise en place est de renforcer la lutte contre les filières illégales de traitement des VHU.

### Matériaux – composition

Dans le cadre de notre étude, il est intéressant de connaître la nature des matières composant un VHU et leur proportion. Cette donnée est illustrée par le graphique ci-dessous.

**Sur un VHU, le flux métallique est largement majoritaire.** En tonnage, les métaux ferreux représentent 70% des matières valorisées sur un VHU, et les métaux non ferreux 4%.

Composition moyenne d'un VHU (2018)

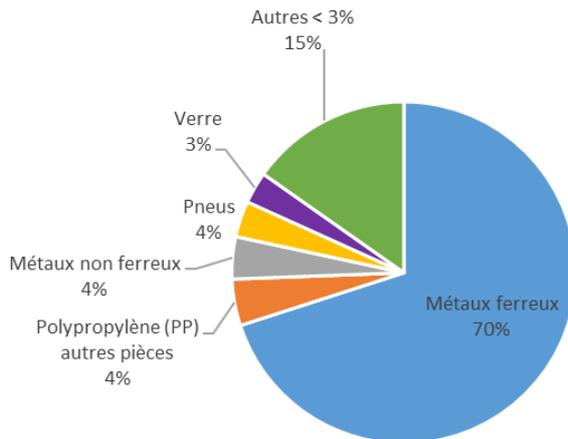
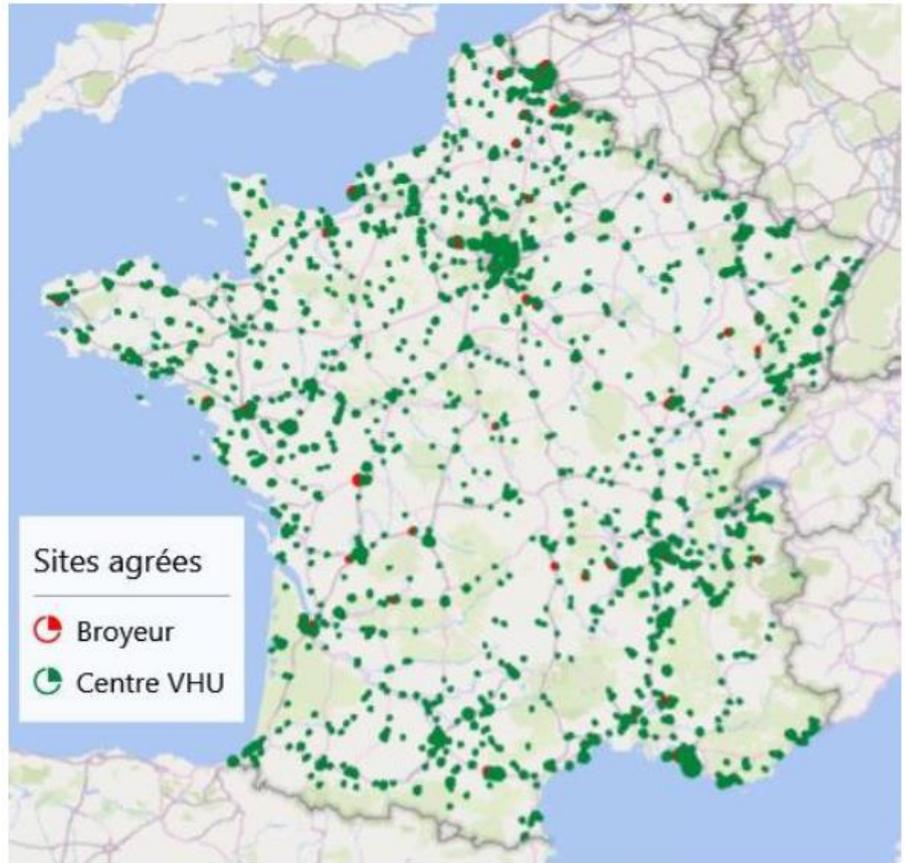


Figure 57 : Composition VHU (2018, source : ADEME)

### Etapes de traitement

La France compte 1647 centres VHU agréés pour la collecte de VHU, répartis sur l'ensemble du territoire et 57 broyeurs agréés, qui collecte environ 1,5 millions de Véhicules Hors d'Usage (1,7 Mt) soumis à REP, ce à quoi il faut ajouter la collecte des véhicules légers et poids lourds.

Les carcasses sont transférées aux broyeurs par les centres VHU agréés qui ont préalablement effectué les opérations obligatoires de dépollution, d'enlèvement des pneus et de démontage de pièces et matières pour répondre à leurs obligations de performance sur la fraction non métallique des VHU. Les broyeurs finalisent la prise en charge des VHU en traitant les carcasses de VHU pour en extraire les matières restantes.



Source – data.ademe.fr

Le schéma ci-dessous illustre de manière simplifiée les étapes de traitement subi par un VHU.

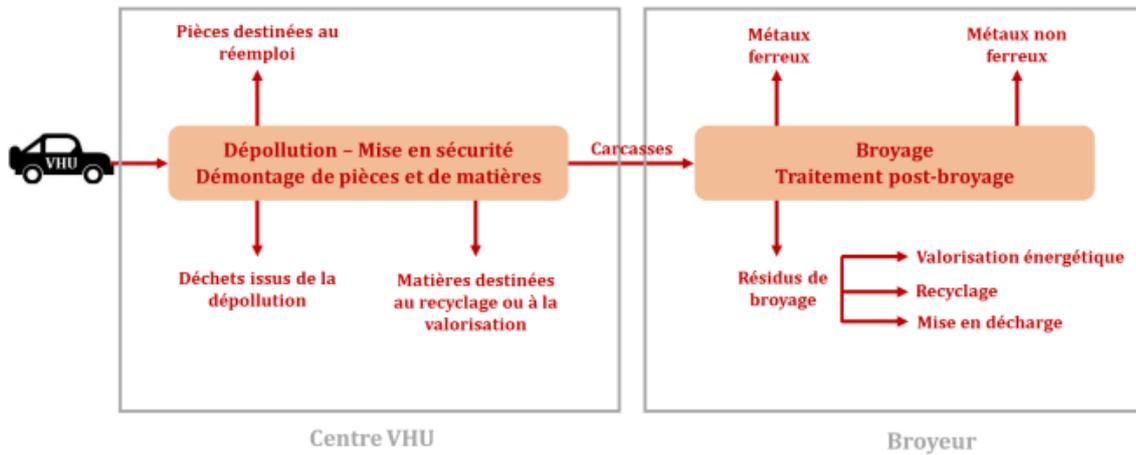


Figure 58 : Schéma simplifié étapes de traitement d'un VHU (source : ADEME)

Au-delà des centres VHU qui ont vocation séparer les éléments destinés au réemploi des pièces, les installations de broyage de traitement post-broyages sont mécanisés pour extraire les valorisables. Les équipements de tri sont principalement des séparateurs de flux lourds/légers, des séparateurs de ferreux et non ferreux. Un surtri manuel permet d'apurer les flux.

### Performances de valorisation

Le graphique ci-dessous détaille les types de traitement réalisés sur chaque matière constituant un VHU.

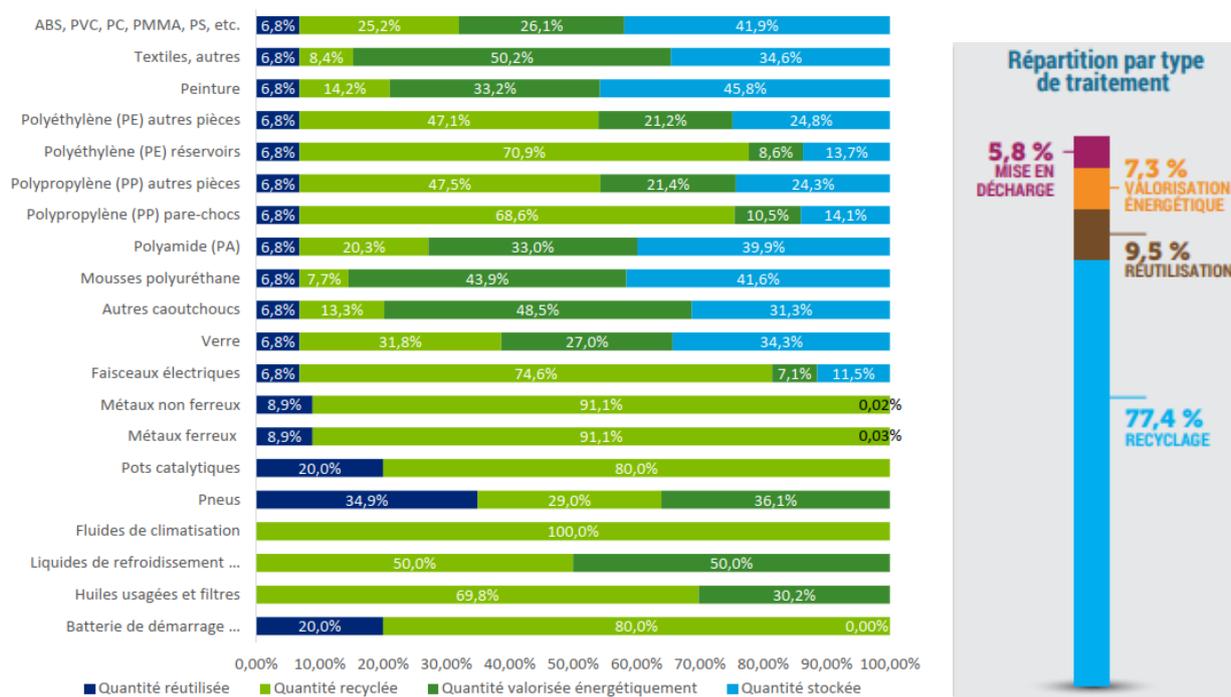


Figure 59 : Répartition par type de traitement de chaque matière constituant un VHU (2018, source : ADEME)

On observe que **100% du flux métaux est valorisé en réutilisation ou recyclage**. 17,2% des métaux ferreux et 35,5% des métaux non ferreux sont extraits par les centres VHU. Les fractions restantes sont valorisées par les broyeurs, à quasi 100% en recyclage.

Les matières non métalliques sont réutilisées à 12,5 %, recyclées à 38,6 %, valorisées énergétiquement à 27,1 % et mises en décharge à 21,8 %.

En considérant les matières métalliques, on atteint 94% de valorisation en 2019 (y compris valorisation énergétique), avec une proportion de 77,4% dirigée vers les filières de recyclage.

## REP EMBALLAGES

Les flux issus des centres de collecte sélective entrent dans le cadre de cette REP.

### Evolution de la réglementation et organisation de la filière

La REP pour les emballages ménagers est inscrite dans le code de l'environnement depuis 1992. Elle concerne initialement toute entreprise qui met sur le marché français des produits emballés consommés ou utilisés par les ménages.

La loi AGEC étend le cadre originel de cette filière aux emballages consommés ou utilisés par les professionnels à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2025, sauf pour les entreprises de la restauration rapide pour lesquelles l'extension de la filière est entrée en vigueur le 1<sup>er</sup> janvier 2021.

### Matériaux - Composition

Le graphique ci-contre illustre la répartition des types de matériaux d’emballages mis sur le marché en 2019. On constate que :

- La moitié des tonnages d’emballages mis sur le marché sont en verre.
- Les flux papiers et plastiques sont dans des proportions équivalentes (~ 22%)
- Les métaux ferreux et non ferreux représentent 6% des matériaux mis sur le marché.

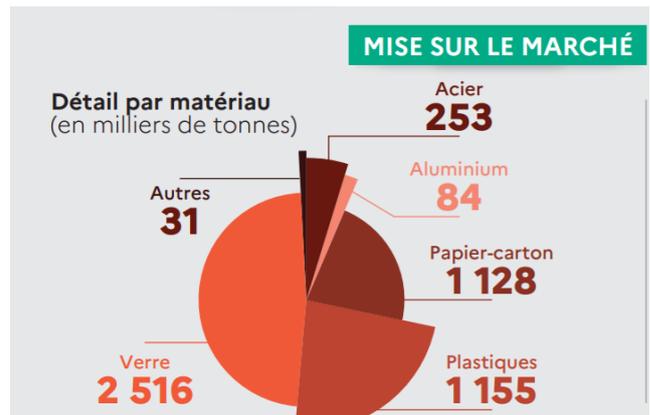


Figure 60 : Matériaux mis sur le marché REP Emballages (2019, source : ADEME)

### Performances de valorisation

En 2019, 5 167 millions de tonnes d’emballages ménagers ont été mises sur le marché, dont 3 631 millions de tonnes ont été recyclées et soutenues, soit un **taux de 70,3 % de recyclage** (contre 66,7% en 2015). L’objectif national de recyclage est d’atteindre 75% de recyclage en 2022.

Ramené à l’habitant, cela correspond à 55 kg/hab d’emballages collectés et triés en 2019.

Les flux actuellement les mieux recyclées sont l’acier (100%), le verre (85%) et le papier-carton (70%). **La filière Plastiques dispose d’une marge de progrès importante, avec seulement 29% de taux de recyclage.** Enfin, l’aluminium est recyclé à hauteur de 48%.

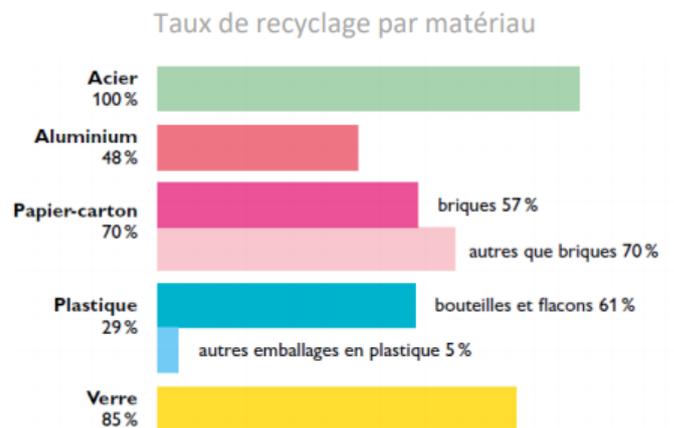


Figure 61 : Taux de recyclage par matériau - REP Emballages (source : CITEO)

Les centres de tri de collecte sélective sont très automatisés. Quel que soit le tonnage traité et du fait de l’application des extensions des consignes de tri à l’ensemble des collectes, les installations sont organisées suivant un schéma similaire avec plusieurs ateliers :



Figure 62: Ateliers de préparation d'un process de tri de collecte sélective

- La préparation permet de préparer les flux en granulométrie et en type de volumétrie (fibreuse/non fibreuse).
- La séparation des matières est ensuite réalisée avec des machines de tri optique ou des séparateurs de ferreux/non ferreux.
- L'affinage permet d'assurer le contrôle qualité manuel par des agents de tri. Les valorisables perdus dans le flux des refus de tri sont quelques fois sur-triés afin d'améliorer le taux de captation des matières triées.



Figure 63: Machines de tri optique sur le site de SERIVEL

## REP PAPIERS GRAPHIQUES

### Evolution de la réglementation et organisation de la filière

La REP Papiers Graphiques est née en 2006. Son périmètre s'est élargi progressivement :

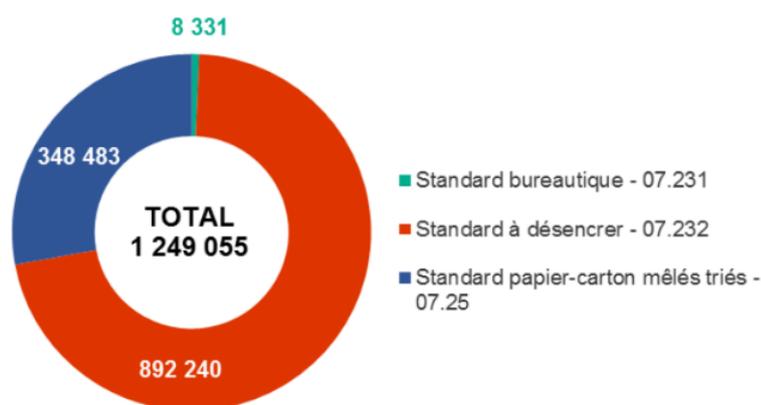
- 2006 : imprimés papiers non sollicités (annuaires, prospectus, dépliants publicitaires, presse gratuite d'annonces...)
- 2008 : extension notamment aux éditions d'entreprises et publipostages
- 2010 : enveloppes, pochettes postales, papiers à usage graphique conditionnés en ramettes et catalogues de vente et envois par correspondance
- 2017 : publications de presse, affiches, notices d'utilisation et modes d'emploi, papiers décoratifs, papiers fiduciaires et billetterie, publications des collectivités territoriales et des services de l'état.

**CITEO est le seul éco-organisme agréé sur cette filière.** L'agrément en cours se termine en 2022, et sera renouvelé pour la période 2023-2028. En 2019, 703 collectivités étaient sous contrat.

### Composition – matériaux

Les standards de la filière Papiers Graphiques, définis dans le cahier des charges CITEO, sont les suivants :

- « Standard bureautique » : lots de papiers graphiques récupérés utilisés principalement dans le cadre du travail de bureau, en cohérence avec la définition de la sorte 2.06 de la norme EN643
- « Standard à désencreur » : lots de papiers graphiques récupérés issus du tri de collectes sélectives des ménages et assimilés, en cohérence avec la définition de la sorte 1.11 de la norme EN643
- « Standard papier-carton mêlés triés » : déchets de papier-carton mêlés à d'autres catégories de déchets d'emballages ménagers en papier-carton (emballages papier-carton non complexés)



Le graphique ci-dessous donne la répartition des tonnages recyclés et soutenus selon ces 3 standards :

L'essentiel des volumes concerne le standard à désencrer issu des déchets ménagers, soit 71 % des tonnages. Le standard « papier-carton mêlés triés » reste très minoritaire dans les flux (0,6%).

Figure 64 : Répartition des tonnages recyclés et soutenus - REP Papiers Graphiques (2018, source ADEME)

### Etapes de traitement

Dans le circuit de traitement, les flux de déchets collectés sont :

- Soit envoyés vers les centres de tri de collecte sélective avant d'être achetés par des conditionneurs, recycleurs et des repreneurs. En 2019, la part dirigée vers les centres de tri correspond à environ 27% des tonnages collectés.
- Soit directement achetés par des repreneurs et/ou recycleurs finaux, sans surtri.

### Performances de valorisation

La performance moyenne de collecte et de tri des déchets de papiers graphiques est d'environ 19 kg/hab/an.

Le taux de recyclage est de 57%, soit 1,2 millions de tonnes de papiers recyclés. L'objectif national est d'atteindre 65% en 2022.

On constate une baisse continue du gisement de papiers graphiques depuis 2014, principalement dû à l'évolution des consommations et aux politiques de prévention.

## REP DEEE

### Evolution de la réglementation et organisation de la filière

La REP D3E est apparue en 2006, sous l'impulsion européenne.

Sur la REP D3E, la loi AGEC n'introduit pas de modification de périmètre. Elle vise principalement à améliorer l'information des consommateurs (indice de réparabilité, information sur la disponibilité des pièces détachées...). Par ailleurs, elle étend la REP à la réparation, la réutilisation et au réemploi et renforce ainsi la mission de prévention des déchets des éco-organismes, qui devront par exemple contribuer aux fonds de réparation d'une part, et de réemploi et de réutilisation d'autre part.

L'évolution majeure connue par cette REP date de 2018 avec la transposition en droit français de la directive européenne D3E II (introduction de nouvelles familles d'équipements ; refonte des catégories...).

Ainsi, depuis 2018, les D3E sont classés selon 7 catégories :

A noter que la REP distingue les D3E ménagers des D3E professionnels. Plus de 90% des D3E collectés sont ménagers.

Enfin, on dénombre actuellement 4 éco-organismes :

- Ecologic : tous D3E excepté les catégories 3 et 7
- Ecosystem : fusion avec Recylum en 2018 ; ne prend pas la catégorie 7
- PVCycle : pour les panneaux photovoltaïques uniquement
- Screlec : pour les piles et accumulateurs ainsi que les cartouches d'impression professionnelles

LES 7 CATEGORIES D'EQUIPEMENTS MENAGERS VALABLES DEPUIS LE 15 AOUT 2018	
1	Équipements d'échange thermique
2	Écrans, moniteurs et équipements comprenant des écrans d'une surface supérieure à 100 cm <sup>2</sup>
3	Lampes
4	Gros équipements
5	Petits équipements
6	Petits équipements informatiques et de télécommunications
7	Panneaux photovoltaïques

Figure 65: Classement des DEEE

### Matériaux - composition

Dans le cadre de notre étude, il est intéressant de connaître la composition des D3E collectés et traités. Elle est illustrée par le graphique ci-dessous.

**Les DEEE ménagers sont composés en majorité de métaux :** les métaux ferreux (acier) représentent 51 % de la composition globale des D3E et les métaux non ferreux (cuivre, cobalt, indium, tantale, etc.) sont présents à hauteur de 7 %. Suivent ensuite les plastiques (19 %) et le verre (4 %).

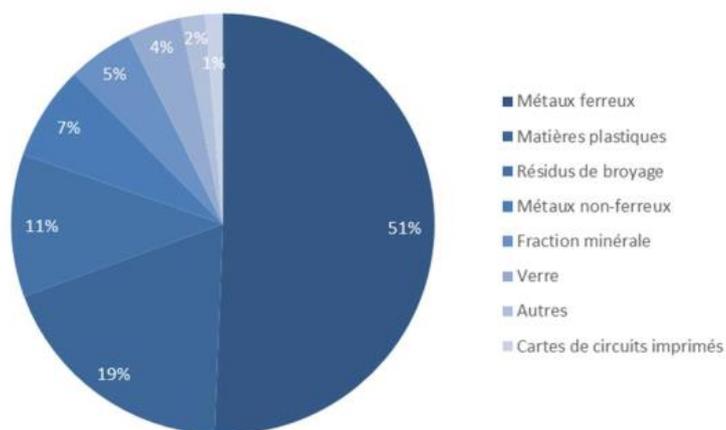
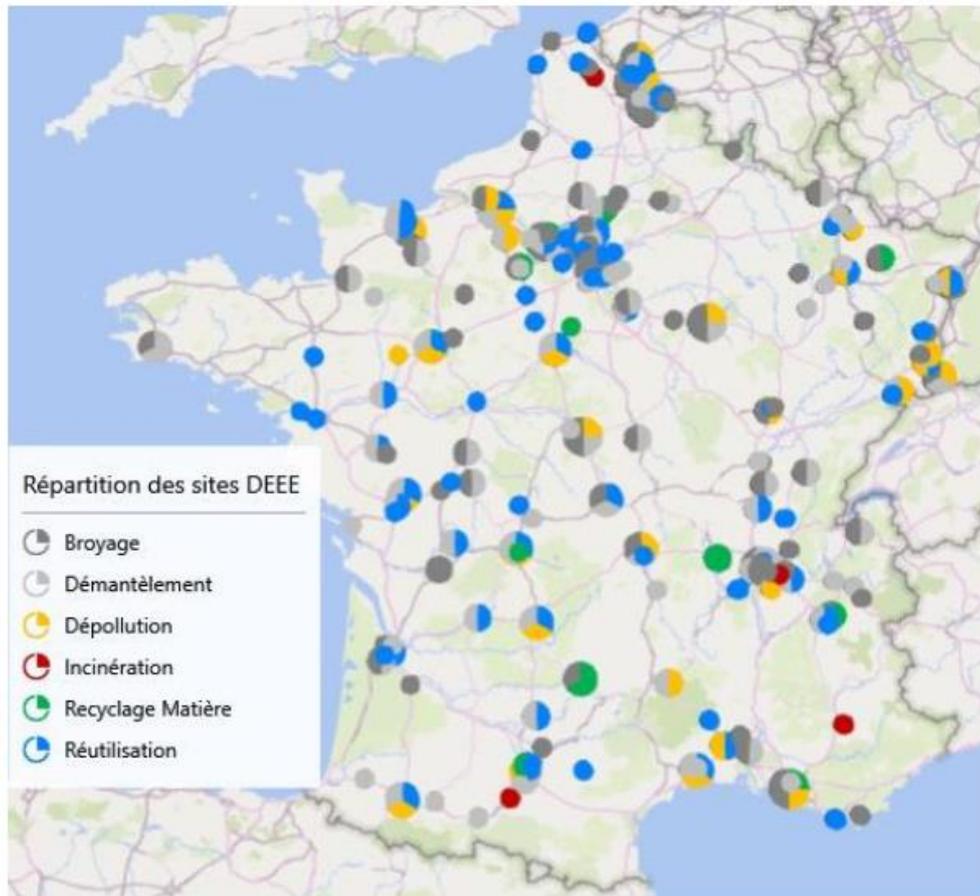


Figure 66: Composition des D3E ménagers (données caractérisations 2019 – source : ADEME)

### Etapas de traitement

Le nombre de points d'apport volontaire de DEEE est de 4 529 en 2020. La France compte par ailleurs 624 sites de collecte et traitement de DEEE, parmi lequel 77 sites disposant de moyens industriels mécanisés et 11 sites traitant exclusivement des fractions ou composants issus de DEEE.



Source - SINOE Déchets

En centre de traitement, les DEEE subissent **différentes opérations de tri**. L'automatisation et la mécanisation de ces process est variable suivant les DEEE à traiter. Ces étapes varient en fonction des flux à traiter et des procédés de recyclage mis en place par les opérateurs.

On retrouve généralement 6 grandes étapes, décrites et illustrées ci-dessous :

- Le démantèlement (séparation de différents composants) et la dépollution (extraction des substances polluantes)
- Le broyage des équipements en morceaux de faible taille
- Une séparation électromagnétique des éléments ferreux à l'aide d'aimants
- Un tri optique qui permet de séparer les cartes électroniques, qui sont valorisées ultérieurement via un autre procédé de recyclage pour récupérer les métaux stratégiques contenus dans ces fractions
- Une séparation des éléments métalliques non ferreux grâce à des courants de Foucault
- Une séparation des plastiques par flottaison ou tri optique

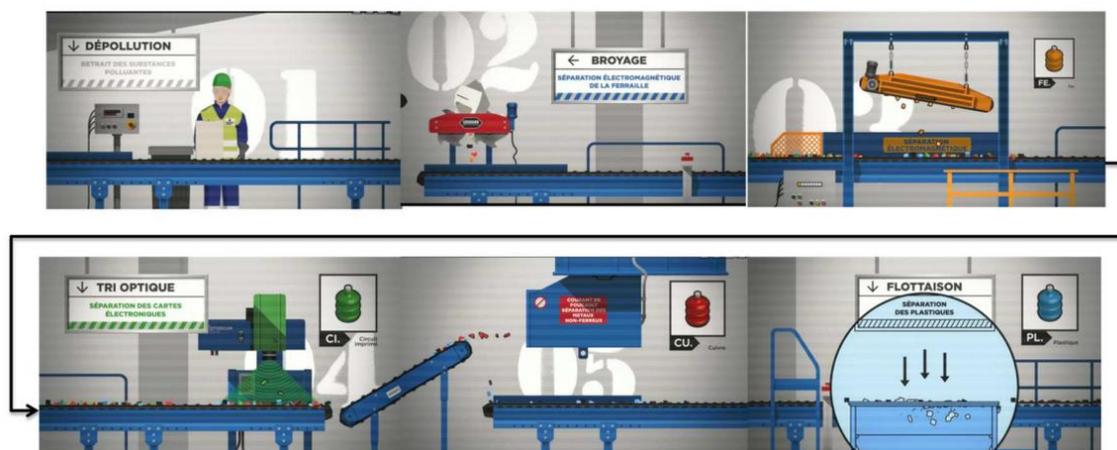


Figure 67 : Schématisation des étapes du traitement des DEEE (source Ecologic)

Ces différentes opérations A noter que le traitement des gros D3E professionnels est plus complexe et ne suit pas ces étapes de traitement. De certains D3E spécifiques subissent des traitements différents (GEM Froid, lampes...).

### Performances de valorisation

Les DEEE, qu'ils soient ménagers ou professionnels doivent être valorisés en fin de vie selon des objectifs minimaux réglementaires définis selon les catégories de l'équipement. Ils sont indiqués dans le tableau ci-dessous.

CATEGORIES D'EQUIPEMENT		OBJECTIFS MINIMAUX VALABLES A PARTIR DE 2019	
		Réutilisation et recyclage	Valorisation <sup>18</sup>
1	Équipements d'échange thermique	80 %	85 %
2	Écrans, moniteurs et équipements comprenant des écrans d'une surface supérieure à 100 cm <sup>2</sup>	70 %	80 %
3	Lampes	80 %	-
4	Gros équipements	80 %	85 %
5	Petits équipements	55 %	75 %
6	Petits équipements informatiques et de télécommunications	70 %	80 %
7	Panneaux photovoltaïques	80 %	85 %

Figure 68 : Objectifs minimaux de valorisation filière D3E

Selon le dernier rapport de l'ADEME, plus de 1,2 milliard d'équipements électriques et électroniques ont été mis sur le marché en 2019, représentant 2,1 millions de tonnes. 846 229 tonnes de DEEE ont été traitées en 2019, pour un taux de valorisation à 86%. Le graphique ci-dessous illustre la répartition des modes de traitement en 2019. **La filière atteint 75% de valorisation matière.**

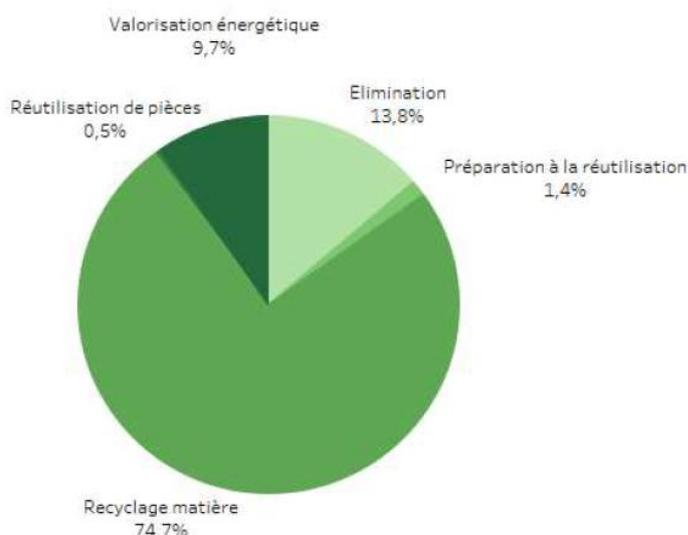


Figure 69 : Répartition des modes de traitement filière D3E (2019, source : ADEME)

## REP DECHETS D'ELEMENTS D'AMEUBLEMENT

### Evolution de la réglementation et organisation de la filière

La filière REP DEA est opérationnelle depuis début 2013. On entend par « éléments d'ameublement » les biens meubles et leurs composants dont la fonction principale est de contribuer à l'aménagement d'un lieu d'habitation, de commerce ou d'accueil du public en offrant une assise, un couchage, du rangement, un plan de pose ou de travail.

Les DEA sont répartis en 11 catégories, listés dans le tableau ci-après.

CATEGORIE	DESCRIPTION
1	Meubles de salon, séjour, salle à manger
2	Meubles d'appoint
3	Meubles de chambre à coucher
4	Literie
5	Meubles de bureau
6	Meubles de cuisine
7	Meubles de salle de bains
8	Meubles de jardin
9	Sièges
10	Meubles techniques, commerciaux et de collectivités
11	Produits rembourrés d'assise ou de couchage (depuis le 1 <sup>er</sup> octobre 2018)

Figure 70 : Catégories filière DEA

La loi AGEC prévoit l'élargissement du périmètre de la REP aux éléments de décoration textile au 1<sup>er</sup> janvier 2022.

La filière DEA est aujourd'hui structurée autour de 2 éco-organismes, agréés pour la période 2018-2023 : Eco-mobilier et Valdelia.

### Matériaux – composition

Dans le cadre de notre étude, il est intéressant de connaître quels types de matériaux composent les déchets d'éléments d'ameublement.

D'après les caractérisations effectuées en 2018 par les 2 éco-organismes, **le bois est le matériau majoritaire sur les DEA collectés (66%)**. Les matelas et rembourrés d'assises ou de couchage représentent également une part importante des tonnages collectés.

Composition des DEA (caractérisations 2019)

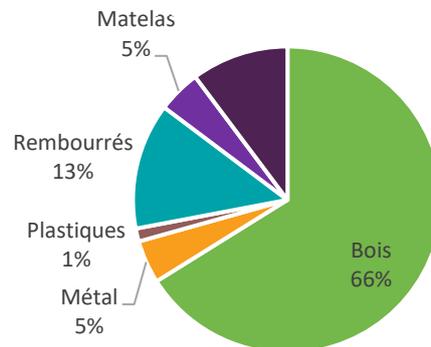


Figure 71 : Composition DEA (2019, source : ADEME)

### Etapas de traitement

Une fois collectés, les DEA sont envoyés dans des installations de tri et de traitement sous contrat avec les éco-organismes.

Les opérations de tri/préparation des matériaux diffèrent selon l'éco-organisme :

- **Eco-mobilier** : réalise un tri conventionnel, les matières sont séparées par matériaux en vue du recyclage ou de la valorisation énergétique.
- **Valdelia** : réalise un tri par fonction en distinguant les assises (10%) et les non-assises (85%)

Les DEA font l'objet d'un tri conventionnel sur un process similaire aux installations de déchets industriels ou des matériaux de construction du bâtiment. Dans ce cadre, les process de tri sont automatisés pour séparer les différentes matières à valoriser : trieurs optiques, séparateur de ferreux et non ferreux. Un surtri manuel des matériaux séparés permet d'affiner la qualité des matières triées.



Figure 72: Tri sur le process du CTHP VEOLIA de Ludres

### Performances de valorisation

1 210 milliers de tonnes de DEA ont été traitées par la filière en 2018. Le graphique ci-dessous illustre la répartition des modes de traitement en 2019.

Le taux de valorisation globale est de 81%. **La filière atteint 51,5% de valorisation matière (réutilisation + recyclage)**. L'objectif national est donc atteint (50% de taux de réutilisation et de recyclage d'ici 2022).

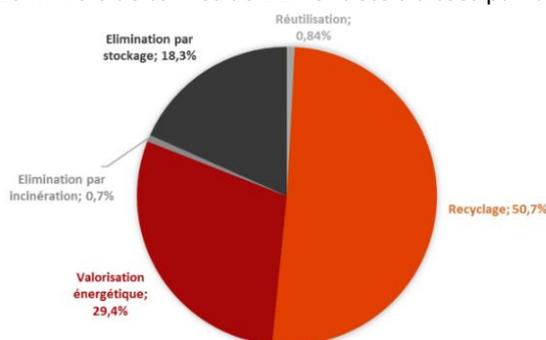


Figure 73 : Modes de valorisation DEA (2018, source ADEME)

## REP TEXTILES

### *Evolution de la réglementation – organisation de la filière*

La REP Textiles, linge de maison et chaussures (TLC) est née en 2007.

Dans la catégorie « linge de maison » entrent les textiles d'usage courant de la literie (taies, draps, couvertures), de la cuisine (nappes, serviettes, torchons) ou de la salle de bains (serviettes, gants, draps de bain). En sont exclus les produits textiles d'ameublement (rideaux, coussins, housses) ou de camping (duvets, sacs de couchage).

Un seul éco-organisme est agréé pour cette REP : ReFashion (anciennement Eco TLC), dont l'agrément actuel vaut pour la période 2019-2022.

Cette REP n'inclut pas les textiles sanitaires à usage unique, ce flux fera l'objet d'une filière REP spécifique à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2024.

### *Opérations de tri*

Seul le tri industriel est éligible au soutien financier de la filière. Il consiste à classer chacune des pièces dans une des 4 catégories suivantes :

- Réutilisation (ou friperie)
- Chiffons d'Essuyage
- Recyclage (par effilochage)
- Rebut à éliminer.

Ce type de tri est aujourd'hui réalisé dans 63 centres de tri (dont 14 hors France).

Les textiles collectés sont aujourd'hui **triés manuellement**, avec comme objectif premier la réutilisation. Toutefois, cela limite leur recyclage car 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, mais également couleur, des textiles est donc une brique indispensable de la chaîne de recyclage et de la valorisation matière.**

**L'application du tri optique des matières et des couleurs à la filière textiles est encore au stade développement en France.** Il existe déjà des unités de tri matière des textiles à l'échelle pilote en Europe.

La technologie de reconnaissance matière la plus adaptée aux matières textiles dans l'optique d'un tri, semble être la **spectroscopie proche infrarouge (NIR)**. En effet, selon une étude réalisée par Terra pour le compte de l'éco-organisme, cette technologie est 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, notamment les emballages plastiques.

### *Performances de valorisation*

En 2019, 249 000 tonnes de TLC ont été collectées en France, affichant une progression nette de 10 000 tonnes (+ 4%) par rapport aux tonnages collectés en 2018. Cela représente 3,7 kg/hab de TLC usagés par an.

Le tri a progressé de +4,6 % en 2019 par rapport à 2018, avec 196 000 tonnes triés.

Près de 58% des TLC triés ont fait l'objet d'une réutilisation et 33,5% des TLC triés ont fait l'objet d'une valorisation matière. La part restante est envoyée en installations CSR et de valorisation énergétique.

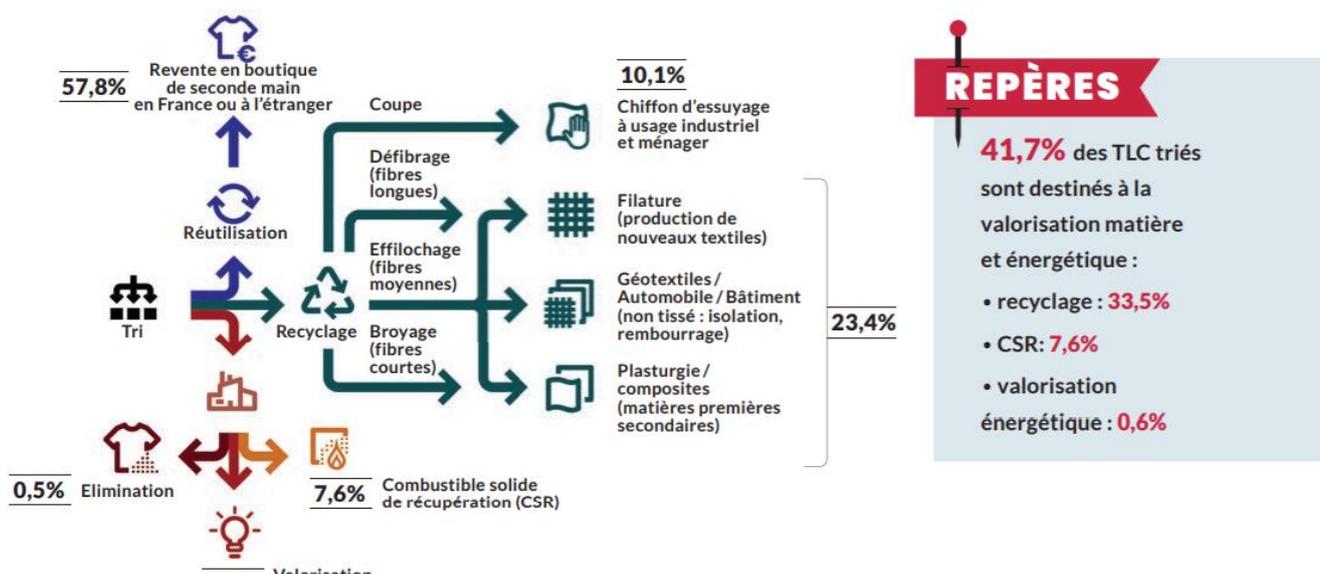


Figure 74 : Modes de valorisation des TLC (source : rapport annuel 2019 ReFashion)

## FUTURE REP PMCB (PRODUITS ET LES MATERIAUX DE CONSTRUCTION DU SECTEUR DU BATIMENT)

En application de la loi AGEC, un projet de décret a été mis en consultation jusqu'au 26 juillet 2021 pour la mise en place d'une filière REP pour les déchets du bâtiment à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2022 : **REP PMCB (Produits et les Matériaux de Construction du secteur du Bâtiment)**.

**L'objectif de la REP est notamment d'améliorer le tri des matériaux en vue de leur recyclage.**

### Périmètre envisagé

La nouvelle REP PMCB concernera tous « les matériaux et les produits, y compris de décoration, fabriqués en vue d'être incorporés, assemblés, utilisés ou installés dans des bâtiments ou sur les parcelles sur lesquelles ils sont construits ». Seuls les produits utilisés temporairement pour la durée du chantier ne sont pas concernés.

Plus précisément, le texte classe ces produits et matériaux en deux grandes :

- Produits de construction constitués majoritairement de minéraux et les équipements sanitaires et de salle d'eau, ne contenant pas de verre. Ce périmètre recoupe ainsi les produits à l'origine des déchets inertes qui représentent environ 75 % des déchets du bâtiment.
- Produits et matériaux du second œuvre, représentant 23 % des déchets du bâtiment et classés en 9 familles :
  - Les métaux
  - Le bois
  - Les produits dangereux
  - Les menuiseries
  - Le plâtre

- Le plastique
- Le bitume
- Les laines minérales
- Autres (les PMCB d'origine végétale, animale, ou à base de textile...)

La REP concerne tous les PMCB à l'exception des terres excavées et des déchets issus des installations techniques industrielles, des installations nucléaires de base et des monuments funéraires.

### *Conditions de tri*

Selon la AGECE, la reprise des déchets de PMCB doit être gratuite « lorsqu'ils font l'objet d'une collecte séparée ».

Le projet de décret précise que la collecte est considérée comme séparée si les déchets sont triés :

- En « cinq flux » : papier, métaux, plastiques, bois, verre (application de l'article D543-281 du Code de l'environnement)
- Selon le découpage en deux catégories (« inertes hors verre » et « autres ») et neuf familles (pour la catégorie « autres ») – voir plus haut

La collecte en mélange (tri simplifié) est également autorisée dans certaines conditions, notamment pour les déchets de PMCB collecté par le service public (bennes tout-venant en déchèterie).



# ANNEXE 2

## FICHES TECHNIQUES ET COMMERCIALES CONSTRUCTEURS

# AMP Cortex™ Single-Robot System

## Product Datasheet

The AMP Cortex intelligent robotics system dramatically lowers labor costs, while increasing the value of material recovered, with 24/7 coverage and consistent productivity. AMP's groundbreaking artificial intelligence (AI) technology enables the robotic sorting of material as granular as a type of plastic at a pick rate of upwards of 80 items per minute—twice as fast as manual sorting, and with greater accuracy and consistency.



AMP's industry-leading AI platform, unmatched in depth and breadth, helps facilities quickly adapt to tonnage increases and changes to the material stream without sacrificing quality. With Cortex, facilities can capture more in-demand commodities, increase uptime, and reduce variable costs to improve profitability.

## Creating solutions to the industry's most pressing issues:

### Labor



Reduce time and money spent on high turnover positions.

### Safety



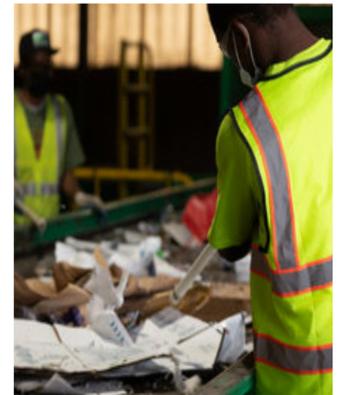
Increase facility safety and reduce training overhead.

### Material Recovery



Quickly pivot and capture high value materials.

### Contamination

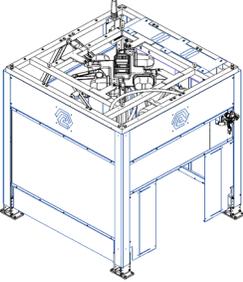


Decrease bale contamination.



# AMP Cortex™ Single-Robot System

## Technical Specifications

Dimensions & Weight		Performance Specifications	
	<p><b>Installed height:</b> 111" (282cm) from ground to the top of the system</p> <p><b>Control cabinet dimensions:</b> 40"x21"x78" (101cm x 53cm x 198cm)</p> <p><b>System weight:</b> 2600lbs (1180kg)</p> <p><b>Frame Composition:</b> Steel tubing / Top Frame 3" x 3" (7.62cm x 7.62cm) / Frame Legs 4" x 4" (10.16cm x 10.16cm)</p>	<p><b>Pick rate:</b> Up to 80ppm</p> <p><b>Number of discrete sorting placements:</b> Up to 4</p> <p><b>Maximum object weight:</b> 10lbs (4.5kg) per Robot</p> <p><b>Burden depth:</b> 1 object</p>	
Conveyor Specifications	Environmental	Electrical & Air	Connectivity
<p><b>Maximum conveyor belt speed:</b> 300 feet/minute (91 meters/min)</p> <p><b>Minimum conveyor visibility:</b> 80% covered, 20% visible</p> <p><b>Optimum conveyor belt width:</b> Less than 36" (91 cm)</p> <p><b>Maximum conveyor belt width:</b> 42" (107 cm)</p>	<p><b>Operating temperature range:</b> 33°F (1°C) to 105°F (40°C) at up to 95% ambient humidity</p> <p><b>Noise emission:</b> 89.5 dB (max)</p>	<p><b>Electrical Supply:</b> 208-220V AC / 1 Ph / 50-60 Hz, 20A Service</p> <p><b>Air Supply:</b> 60 CFM @ 120 psi [1700 l/min @ 8.3 Bar] (ISO 4.4.4)</p>	<p><b>Internet:</b> Wired Ethernet 10 Mbps+ (IEEE 802.3, CAT5 or better)</p>
User Interfaces	Other AMP Systems		
<p>Control cabinet (14.5" x 17.5") touch-screen display</p> <p>(Optional) AMP Clarity™ web based data portal for desktop</p>	<p>AMP Cortex Tandem System</p> <p>AMP Vision™ System</p> <p>AMP Dual Gripper</p>		

## Unmatched AI Technology with the Broadest Array of Material Types



Fiber



Plastics



UBC & Metals



Commingled & Residue



1500 Cherry Street, Suite A • Louisville, CO 80027  
[amprobotics.com](http://amprobotics.com)

### LEGAL COMPLIANCE

This product is CE and UL marked in accordance with the following directives:

The control panel is UL508A listed as an enclosed industrial control panel for installation in the United States



# AMP Cortex™ Tandem Robot System

## Product Datasheet

The AMP Cortex™ tandem robot system automates the sorting and picking of material out of the waste stream. Cortex's precise, high-speed performance significantly increases throughput using two robotic arms. Cortex can be dropped into a line without a costly retrofit or change to operations. With 24/7 coverage and consistent productivity, Cortex dramatically lowers labor costs, while increasing the value of material recovered.



AMP's industry-leading AI platform, unmatched in depth and breadth, helps facilities quickly adapt to tonnage increases and changes to the material stream without sacrificing quality. With Cortex, facilities can capture more in-demand commodities, increase uptime, and reduce variable costs to improve profitability.

## Creating solutions to the industry's most pressing issues:

### Labor



Reduce time and money spent on high turnover positions.

### Safety



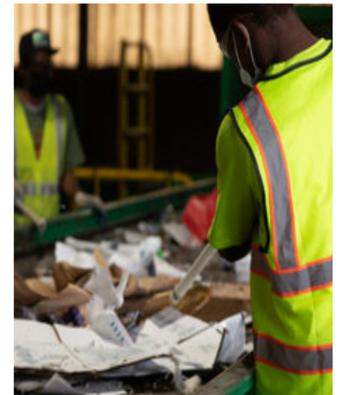
Increase facility safety and reduce training overhead.

### Material Recovery



Quickly pivot and capture high value materials.

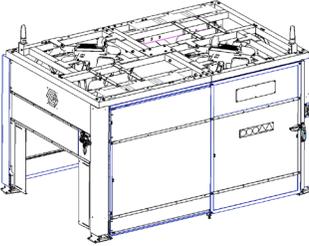
### Contamination



Decrease bale contamination.

# AMP Cortex™ Tandem Robot System

## Technical Specifications

Dimensions & Weight		Performance Specifications	
 <p><b>Installed height:</b> 111" (282cm) from ground to the top of the system</p> <p><b>Control cabinet dimensions:</b> 40"x21"x78" (101cm x 53cm x 198cm)</p> <p><b>System weight:</b> 4650lbs (2109kg)</p> <p><b>Frame composition:</b> Steel tubing/ Top Frame 4" x 4" (10.16cm x 10.16cm)/ Frame Legs 6" x 6" (15.24cm x 15.24cm)</p>		<p><b>Pick rate:</b> Up to 160ppm per System (80ppm per robot)</p> <p><b>Number of discrete sorting placements:</b> Up to 3</p> <p><b>Maximum object weight:</b> 10lbs (4.5kg) per Robot</p> <p><b>Burden depth:</b> 1 object</p>	
Conveyor Specifications	Environmental	Electrical & Air	Connectivity
<p><b>Maximum conveyor belt speed:</b> 300 feet/minute (91 meters/min)</p> <p><b>Minimum conveyor visibility:</b> 80% covered, 20% visible</p> <p><b>Optimum conveyor belt width:</b> Between 43"-60" (109cm-152 cm)</p> <p><b>Maximum conveyor belt width:</b> 72" (183 cm)</p>	<p><b>Operating temperature range:</b> 33°F (1°C) to 105°F (40°C) at up to 95% ambient humidity</p> <p><b>Noise emission:</b> 89.5 dB (max)</p>	<p><b>Electrical Supply:</b> 208-220V AC / 1 Ph / 50-60 Hz, 30A Service</p> <p><b>Air Supply:</b> 120 CFM @ 120 psi [3400 l/min @ 8.3 Bar] (ISO 4.4.4)</p>	<p><b>Internet:</b> Wired Ethernet 10 Mbps+ (IEEE 802.3, CAT5 or better)</p>
User Interfaces		Other AMP Systems	
<p>Control cabinet (14.5" x 17.5") touch-screen display</p> <p>(Optional) AMP Clarity™ web based data portal for desktop</p>		<p>AMP Cortex Single Cell System</p> <p>AMP Vision™ System</p> <p>AMP Dual Gripper</p>	

## Unmatched AI Technology with the Broadest Array of Material Types



Fiber



Plastics



UBC & Metals



Commingled & Residue

### LEGAL COMPLIANCE

This product is CE and UL marked in accordance with the following directives:

The control panel is UL508A listed as an enclosed industrial control panel for installation in the United States



## AQC-2



**MAX-AI®**  
**AQC**

Max-AI® AQC (Autonomous Quality Control) are the ultimate in post-sort automation. When combined with NRT optical sorters, the paper and container sorting process is 100% autonomous and the need for human contact with waste is eliminated.

**The AQC-2** makes multiple sorting decisions autonomously; for example, separating plastic film, small cardboard, containers and residue from a stream of newspaper. All of this is done at rates exceeding human capabilities and each pick is prioritized for profitability.

This advanced technology uses a machine vision system to see the material, specialized artificial intelligence to think and identify each item, and robotic sorters to pick targeted items or contamination. Max-AI AQC provide MRF operators with sustained and consistent sorting performance while improving safety, recovery, product quality and operational expenses.

**An autonomous high-volume sorting solution.**

**Exceeds human capabilities in every metric including pick rate, accuracy, and uptime; and sustains those capabilities every minute of the day.**

**Up to three separate sorts.**

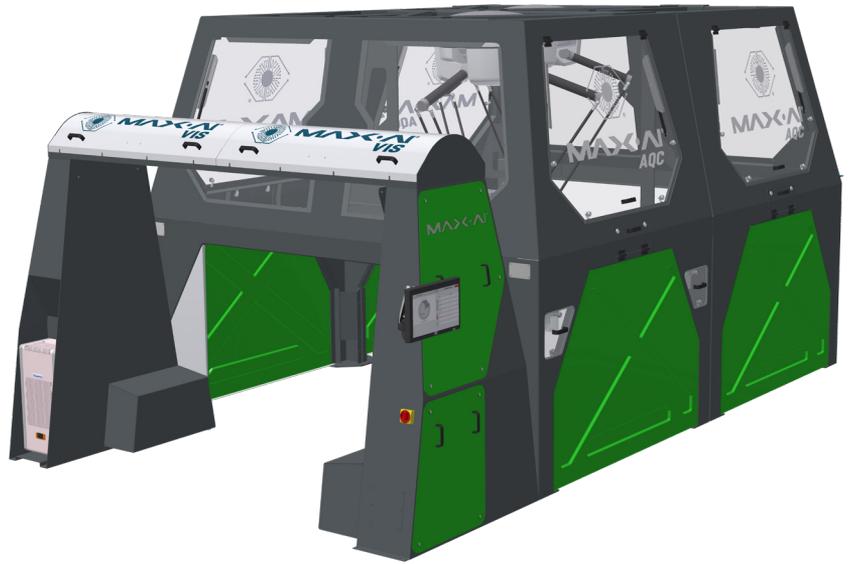
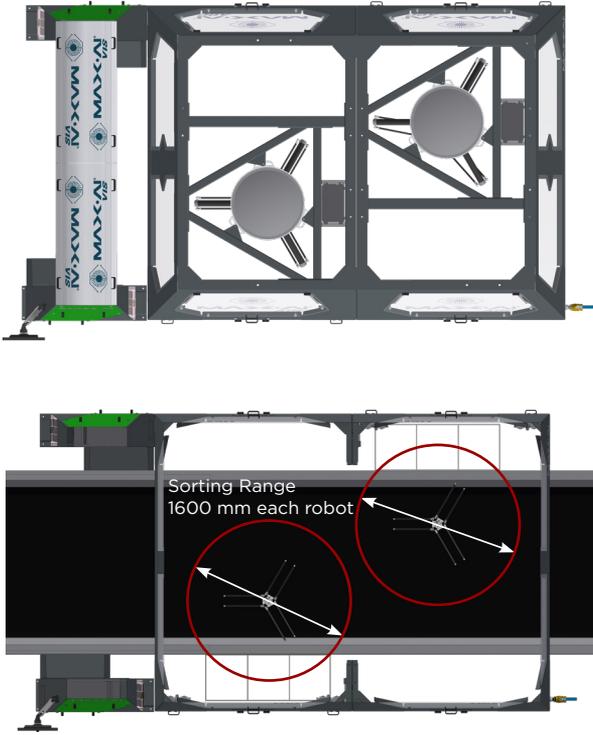
**Picks are prioritized by value, weight, or other operator specifications. Priorities are easily adjusted when market conditions change.**

**Advanced neural networks can be retrained to identify new materials as waste streams change.**

**Can be installed in existing MRFs with no down time.**

**Improves plant safety by eliminating human contact with waste.**

[max-ai.com](http://max-ai.com)



**STANDARD STRUCTURE**  
 Installed Length: 5.131 mm  
 Installed Width: 2.947 mm  
 Installed Height: 2.550 mm  
 Installed weight: 2.040 kg (approx)

## Technical Specifications

<b>Model</b>	AQC-2
<b>Configuration</b>	Dual robot-central sort conveyor, picking to chutes on both sides of conveyor
<b>Identifiable Materials</b>	Paper, cardboard, plastic & metal containers, cartons, residue
<b>Sorting Speed</b>	Up to 60 picks/min. per robot
<b>Number of Sorts</b>	Up to 3 separate sorts per robot
<b>Air Consumption</b>	2,3 m <sup>3</sup> /min @ 6,9 BAR
<b>Required Air Supply</b>	Filtered and Dry Air, Pressure: 6,9 BAR, ISO 8573.1 Class 1.4.2
<b>Voltage, VAC 50/60 Hz, Single Phase</b>	230V
<b>Main Circuit Breaker</b>	25A
<b>Full Load Amperage (FLA)</b>	20A
<b>Power Consumption @ FLA</b>	4,6 kW
<b>Maximum Object Weight</b>	0,5 kg
<b>Maximum Object Size</b>	250 mm
<b>Sorting Conveyor Speed</b>	0,5 - 1,0 m/sec.
<b>Suitable Operating Environment</b>	Indoors only; 2-37°C

**AQC-C**



**MAX-AI®**  
**AQC-C**

Max-AI® AQC (for Autonomous Quality Control) are the ultimate in post-sort automation. When combined with NRT optical sorters, the paper and container sorting process is 100% autonomous and the need for human contact with waste is eliminated.

**The AQC-C** is a solution that is comprised of Max-AI VIS (for Visual Identification System) and at least one collaborative robot (CoBot). CoBots can work alongside people, minimizing structural requirements and footprint while improving maintenance access. The AQC-C can be quickly and easily placed into existing Material Recovery Facilities (MRFs) with no down time.

This advanced technology uses a machine vision system to see the material, specialized artificial intelligence to think and identify each item, and robotic sorters to pick targeted items or contamination. Max-AI AQC provide MRF operators with sustained and consistent sorting performance while improving safety, recovery, product quality and operational expenses.

Can be installed in sort cabins, on narrow walkways and in other tight locations

Works alongside people

Easily scalable; up to four robotic sorters can be added behind each Max-VIS system

Up to four separate sorts from a single unit

Consistent and predictable pick rates

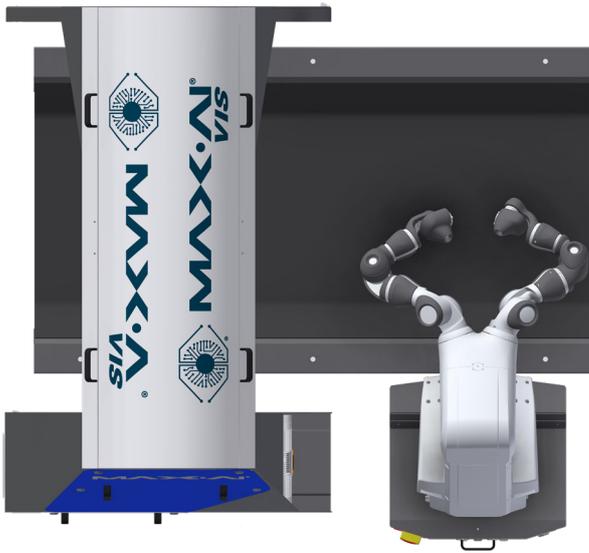
Dependable & able to work multiple shifts

Advanced neural networks can be retrained to identify new materials as waste streams change

Captures valuable material composition data with machine vision & artificial intelligence

Minimal structural requirements & footprint for easy installation

[max-ai.com](http://max-ai.com)



Maximum Conveyor Frame Width 1.066 mm  
 Maximum Sorting Belt Width 800 mm  
 Sorting Range 457 mm each robot



STANDARD STRUCTURE  
 Installed Length: 2.845 mm  
 Installed Width: 2.362 mm  
 Installed Height: 2.032 mm  
 Installed weight: 546 kg (approx)

## Technical Specifications

Model	AQC-C
Identifiable Materials	Plastics & metal containers, paper, cardboard, cartons, residue
Sorting Speed	Up to 40 picks/min per robotic unit (2 arms)
Number of Sorts	Up to 4 separate sorts per unit
Air Consumption	2,3 m <sup>3</sup> /min @ 6,9 BAR
Required Air Supply	Filtered and Dry Air, Pressure: 6,9 BAR, ISO 8573.1 Class 1.4.2
Voltage, VAC 50/60 Hz, Single Phase	230V
Main Circuit Breaker	20A
Full Load Amperage (FLA)	15A
Power consumption @ FLA	3,5 kW
Maximum Object Weight	250 g
Maximum Object Size	250 mm
Maximum Object Height	150 mm
Sorting Conveyor Speed	0,5 - 1,0 m/sec.
Suitable Operating Environment	Indoors only; 32-37°C

**AQC-1**



**MAX-AI**  
**AQC**

Max-AI® AQC (Autonomous Quality Control) are the ultimate in post-sort automation. When combined with NRT optical sorters, the paper and container sorting process is 100% autonomous and the need for human contact with waste is eliminated.

**The AQC-1** makes multiple sorting decisions autonomously; for example, separating thermoform trays, aluminum, 3D fiber and residue from a stream of optically-sorted PET bottles. All of this is done at rates exceeding human capabilities and each pick is prioritized for profitability.

This advanced technology uses a machine vision system to see the material, specialized artificial intelligence to think and identify each item, and robotic sorters to pick targeted items or contamination. Max-AI AQC provide MRF operators with sustained and consistent sorting performance while improving safety, recovery, product quality and operational expenses.

A completely autonomous high-volume recovery solution when paired with NRT optical sorters.

Exceeds human capabilities in every metric including pick rate, accuracy, and uptime; and sustains those capabilities every minute of the day.

Up to six separate sorts from a single unit.

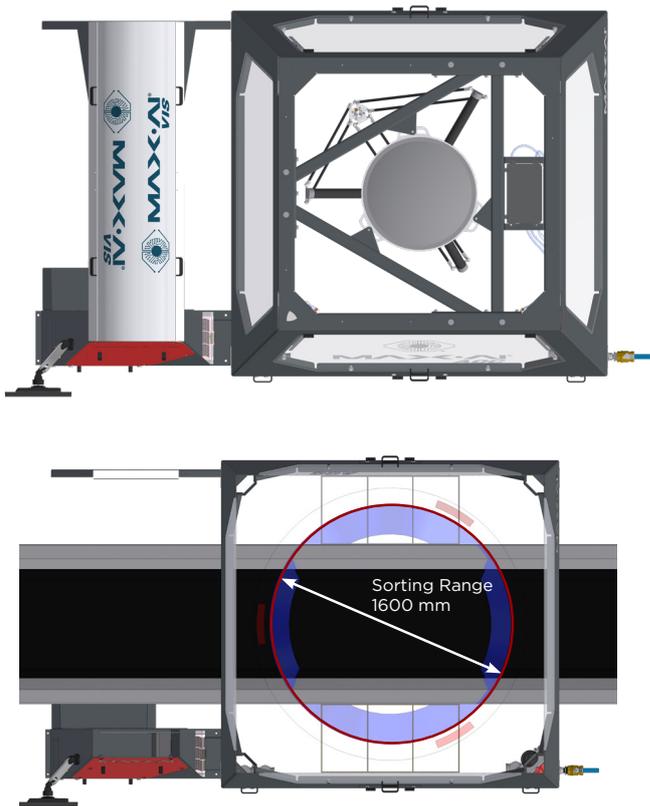
Picks are prioritized by value, weight, or other operator specifications. Priorities are easily adjusted when market conditions change.

Advanced neural networks can be retrained to identify new materials as waste streams change.

Can be installed in existing MRFs with no down time.

Improves plant safety by eliminating human contact with waste.

[max-ai.com](http://max-ai.com)



Maximum Conveyor Frame Width 1.066 mm  
 Maximum Sorting Belt Width 800 mm

**STANDARD STRUCTURE**

Installed Length: 3.429 mm  
 Installed Width: 2.185 mm  
 Installed Height: 2.550 mm  
 Installed weight: 1.360 kg (approx)

**Technical Specifications**

<b>Model</b>	AQC-1
<b>Identifiable Materials</b>	Plastics & metal containers, paper, cardboard, cartons, residue
<b>Sorting Speed</b>	Up to 70 picks/min.
<b>Number of Sorts</b>	Up to 6 separate sorts
<b>Air Consumption</b>	1,12 m <sup>3</sup> /min @ 6,9 BAR
<b>Required Air Supply</b>	Filtered and Dry Air, Pressure: 6,9 BAR, ISO 8573.1 Class 1.4.2
<b>Voltage, VAC 50/60 Hz, Single Phase</b>	230V
<b>Main Circuit Breaker</b>	20A
<b>Full Load Amperage (FLA)</b>	15A
<b>Power Consumption @ FLA</b>	3,5 kW
<b>Maximum Object Weight</b>	0,5 kg
<b>Maximum Object Size</b>	250 mm
<b>Sorting Conveyor Speed</b>	0,5 - 1,0 m/sec.
<b>Suitable Operating Environment</b>	Indoors only; 2-37°C



# RoBB-AQC TRIEUSE ROBOTISÉE

## TRI ROBOTISÉ PAR BOLLEGRAAF.

**LA SOLUTION DE TRI ROBOTISÉ DES DÉCHETS LA PLUS RAPIDE, LA PLUS PRÉCISE ET LA PLUS FIABLE DISPONIBLE SUR LE MARCHÉ.**

Le nouveau RoBB-AQC de Bollegraaf est un robot de tri entièrement automatisé, capable de trier et de séparer les objets de valeur tels que les plastiques lors des étapes finales d'un processus de tri de déchets. Ce nouveau robot RoBB-AQC, utilisant des technologies de pointe et une intelligence artificielle plus sophistiquée, est une innovation révolutionnaire développée par le centre de recherche et de solutions novatrices de Bollegraaf, avec des perspectives de croissance significatives.

Bollegraaf met à votre disposition son centre d'essais pour vérifier avec votre propre matériel le tri nécessaire à votre installation.

Le système robotisé RoBB est placé sur des chaînes de tri existantes avec des coûts de modernisation extrêmement bas et une perte de temps limitée pour l'installation. Grâce à la toute dernière technologie NIR et à la détection de hauteur, un module de détection peut faire fonctionner jusqu'à dix modules de tri de façon intermittente ou continue, indépendamment des conditions de travail sur site, avec peu de supervision et de maintenance.

Le nouveau RoBB-AQC avec intelligence artificielle de Bollegraaf est la plus rapide, la plus précise et la plus fiable des solutions de tri robotisé des déchets disponibles sur le marché. Une installation typique avec quatre bras robotisés peut produire jusqu'à 12 000 ramassages par heure.

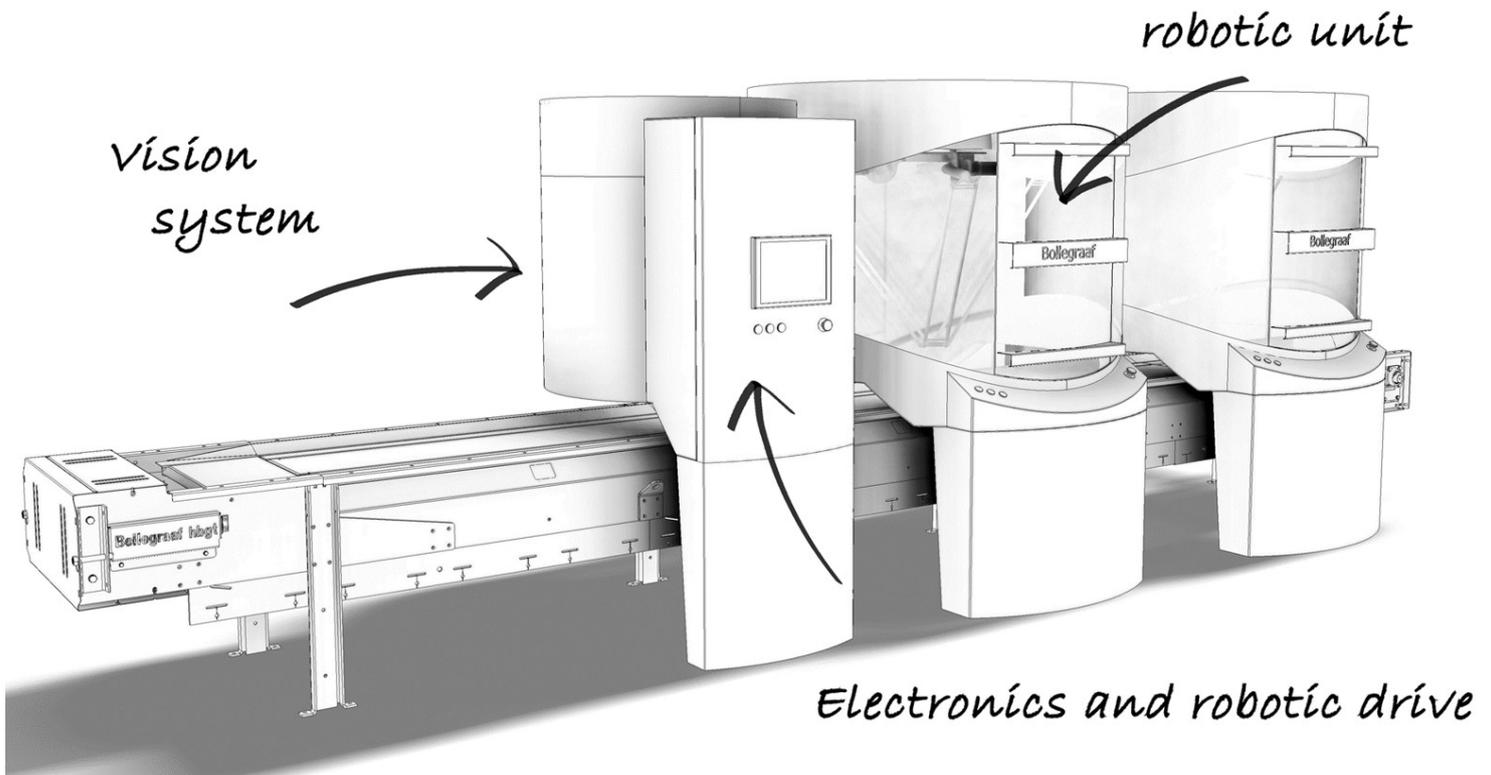
## SOLUTIONS DE

### RECYCLAGE BOLLEGRAAF

S'appuyant sur une stratégie d'investissement continue et intensive, Bollegraaf Recycling Solutions s'est imposé comme leader du marché des technologies de recyclage des déchets ménagers et de plastique. Nous figurons parmi les pionniers dans le domaine de la technologie des procédés, de l'automatisation et de la robotique. Solidité à toute épreuve et fiabilité inégalée : telles sont les marques de fabrique de Bollegraaf. Grâce à notre savoir-faire, à notre envergure et à notre capacité organisationnelle, nous sommes l'interlocuteur privilégié des grands acteurs du marché en matière d'installations de tri intégrées clés en main.

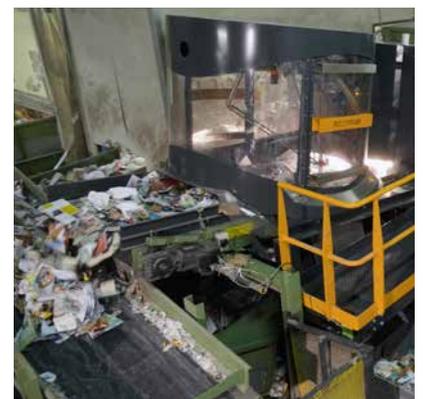
« Creating a World of Difference » est le message que nous adressons à la société dans son ensemble et aux entités chargées du recyclage plus particulièrement. Ensemble, nous faisons la différence sur le marché. Nos technologies décisives nous permettent de relever des défis fondamentaux aux côtés de nos clients. C'est ainsi que nous construisons un avenir véritablement durable pour le monde.

Bollegraaf joue un rôle essentiel tout au long de la chaîne de recyclage en tant qu'autorité en matière de recyclage. Nous sommes capables d'assurer le suivi à distance d'installations de tri complexes, de les gérer et de les optimiser de concert avec l'opérateur. En nouant des partenariats étroits, nous portons la responsabilité conjointe d'une fraction de séparation maximale et d'un coût minimum par kilo de déchets traités. Accompagnées d'un excellent service et de contrats de maintenance à long terme, nos solutions génèrent le retour sur investissement le plus élevé qui soit.



## CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

Modèle	RoBB-AQC
Configuration	du modèle RoBB_AQC Convoyeur de tri central robotisé double, ramassage vers des goulottes des deux côtés du convoyeur
Matériaux identifiables	Récipients en papier, carton, plastique, cartons, résidus
Vitesse de tri	Jusqu'à 90 ramassages/minute par robot
Nombre de tris	Jusqu'à 4 tris séparés par robot
Consommation d'air	<0,1 m3/min @ 7,0 BAR
Alimentation en air requise	Air filtré et sec, pression : 7,0 BAR, Classe ISO 8573.1
Consommation d'air	< 0,1 m3/minute à 7 bar
Alimentation en air requise	Air filtré et sec, pression : 7 bar, classe ISO 8573.1
Disjoncteur principal	25 A
Ampérage à pleine charge	10 A
Consommation électrique avec ampérage à pleine charge	6 kW
Poids maximal de l'objet	2 kg
Taille maximale de l'objet	250 mm
Vitesse du convoyeur de tri	0,5 - 1 m/seconde
Environnement d'exploitation adapté	À utiliser uniquement à l'intérieur, 2 - 37 °C



## CONTACT

Tweede Industrieweg 1 - 9900 AM Appingedam  
Tél. : +31 (0) 596 654 333 - Fax : +31 (0) 596 625 390  
info@bollegraaf.com - www.bollegraaf.com

Bollegraaf Recycling Solutions et Lubo Recycling Solutions font partie du Groupe Bollegraaf.

# ECOPICK

TRANSFORMANT L'INDUSTRIE DU RECYCLAGE



Augmente la **PRODUCTIVITÉ** et permet un tri de **HAUTE PRÉCISION**



Meilleure **QUALITÉ DU PRODUIT**, moins de refus



**ÉVOLUTIF** et **ADAPTABLE** à tout matériau



**PLUG AND PLAY:** Notre service technique répond avec la solution opérationnelle dès le premier jour

## CARACTERISTIQUES

\*convient à différentes applications

Modèle	Ecopick 2.0
Système de vision	RGB et/ou NIR, 3D
Bras robotique	1
Système de préhension	Par ventouse, système mixte d'aspiration et d'aimantation, revolver à double ventouse
Picking	1 pick/seconde
Dimensions	2200x 3553,5 x 2600 mm
Largeur de travail maximale	1200
Taille maximale de l'objet	A3
Poids maximum de l'objet	4 kg
Trémie maximum n°	8
Vitesse convoyeur	0,5 - 1m/s
Consommation d'air	64 l/min
Disponibilité	> 95%



## INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Par moyen d'apprentissage artificiel et d'Algorithmes d'apprentissage par renforcement.



## VISION ARTIFICIELLE

RGB  
Infrarouge  
3D



## ROBOT

Système d'accrochage par ventouse, pince, griffe...

# ADAPTABLE À DIFFÉRENTES APPLICATIONS

## RÉCUPÉRATION ET RECYCLAGE:

Le robot **ECOPICK** peut être adapté pour identifier et séparer tout matériau recyclable



### DÉCHETS DANGEREUX

Séparation des:

Thermomètres  
Aérosols  
Injectables  
Piles  
Pots



### VALORIZABLES

Récupération des:

Bouteille PET  
Bouteille HDPE  
Plateau  
Film  
Canettes  
Tetrabrik  
Papier  
Carton  
Verre  
Textile



### PET

Séparation des:

Bouteilles PET vs.  
plateaux  
vs. impropre



### PEAD

Séparation des:

Bouteilles HDPE vs.  
tubes en silicone vs.  
film vs. impropre



### ALUMINIO

Séparation des:

Canettes en aluminium  
vs. autres métaux vs.  
impropre



### TETRABRIK

Séparation des:

Tetrabrik vs. impropre



### PAPEL CARTÓN

Séparation des:

Carton vs. emballage  
vs. impropre



### FILM

Séparation des:

Film vs. bouteilles  
vs. impropre



1

### CONTACTE

Contact commercial :  
Silvia Gregorini

✉ [sgregorini@picvisa.com](mailto:sgregorini@picvisa.com)

☎ +34 623 192 931

2

### NOTRE RÉFÉRENCES

Demande une visite  
a un de nos clientes  
que on déjà installé un  
ECOPICK

3

### TEST CENTRE

Avant de acheter,  
teste ton matériau  
dans notre centre  
des épreuves

4

### CONFIGURE TON ROBOT

On est flexible,  
on s'adapte a ta  
usine

[www.picvisa.com](http://www.picvisa.com)

suivez-nous  

# LE TRI ROBOTIQUE DES DECHETS PAR L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

## Le tri automatique des déchets se fait désormais par le biais de l'intelligence artificielle (IA + vision et robotique) et de l'apprentissage automatique des données

En raison des préoccupations environnementales de décarbonisation et de la volonté de recycler des matières premières précieuses et rares, les demandes d'amélioration de l'efficacité du recyclage ne cessent d'augmenter.

Afin d'optimiser nos équipements et d'offrir la meilleure solution possible à nos clients, nous coopérons avec des leaders mondiaux pour que nos équipements de tri des déchets soient le plus efficace possible.

Le matériel que nous utilisons pour nos solutions est fourni par ETIA.

Le logiciel, utilisé pour le cerveau du système (Intelligence Artificielle), est fourni par PICVISA, un fabricant spécialisé dans les logiciels de contrôle des systèmes robotiques et d'apprentissage automatique avancé.



### MATÉRIAU RECONNU

- Acier / Ferraille, Cuivre/méta
- DASRI- Déchets d'activités de soins à risques infectieux
- Plastiques PET & PEHD ...
- Aluminium
- TETRA BRIK
- Papier carton
- Bois & Pierre, DIB

### CARACTÉRISTIQUES

- Identification du matériau avec la mémoire visuelle
- Multiples systèmes de préhension, aspiration, pince et magnétique
- Analyse en temps réel des flux de déchets
- Connectivité et exploration des données
- Les algorithmes peuvent être utilisés dans n'importe quelle industrie
- Installation rapide, facile et économique

# COMMENT FONCTIONNENT NOS SOLUTIONS

## VISION



Afin de détecter différents matériaux, le système utilise une caméra Vision 2D Solution linéaire ou matricielle.



## ROBOT

Différents types de robots peuvent être utilisés afin d'adapter le système aux besoins du client.



## IA

Pour reconnaître les différents matériaux, l'IA et l'apprentissage automatique des données sont utilisés lorsque les flux de déchets sont analysés.



## PREHENSION

Le robot peut être équipé avec des systèmes de prehension simples ou multiples tels que l'aspiration, une pince ou un système magnétique pour répondre aux besoins du client.

Les systèmes de tri automatiques des déchets, avec leurs solutions de prehension sur mesure / bras robotiques, utilisent l'Intelligence Artificielle et la Vision pour automatiser des tâches de tri manuel dans les usines de recyclage des déchets.

## ECOPICK

Vow est le distributeur exclusif de l'ECOPICK de Picvisa. L'ECOPICK est utilisé pour le tri automatisé des emballages légers et chaque bras robotique peut attraper jusqu'à 60 objets par minute.

**PICVISA**



## AIRSS

L'AIRSS est un robot (6 axes) de tri des déchets métalliques, conçu en partenariat au sein de notre groupe. Le système de prehension est magnétique/mécanique. Ce robot est utilisé pour les déchets industriels. Une des applications type est le tri du cuivre/métal.

**AIRSS**



**LES ROBOTS QUI UTILISENT L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE ET LA VISION TRANSFORMENT L'INDUSTRIE DU RECYCLAGE**

# ARTIFICIAL INTELLIGENCE

# GREEN MACHINE®

## ROBOTICS AT AN UNBEATABLE PRICE

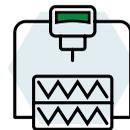
Green Machine's i-BOT™ Robotic Sorter offers the industry's most economically effective design, with two vision system options available depending on your needs. Each robotic sorter is provided with twin high speed sorting arms exceeding 100 picks per minute. Install up to 6 robotic arms in a row utilizing one cost saving PLC and Artificially Intelligent software system. Each robot can be trained to pick four separate commodities at the same time, while covering a belt that's up to 72" wide.



## I-BOT™ ROBOTIC SORTER ADVANTAGES



A human can sort approximately 30-40 picks per minute, whereas our i-BOT™ can achieve 100+ picks per minute.



Each dual arm i-BOT unit can be deployed in-line over a 36" wide conveyor or parallel over a 72" wide conveyor system.



Up to 3 sets of robots totaling 6 arms can be operated with one PLC Computer and Software program offering multiple unit deployment savings.



Two material grades can be sorted with each individual arm reaching designated deposit chutes.

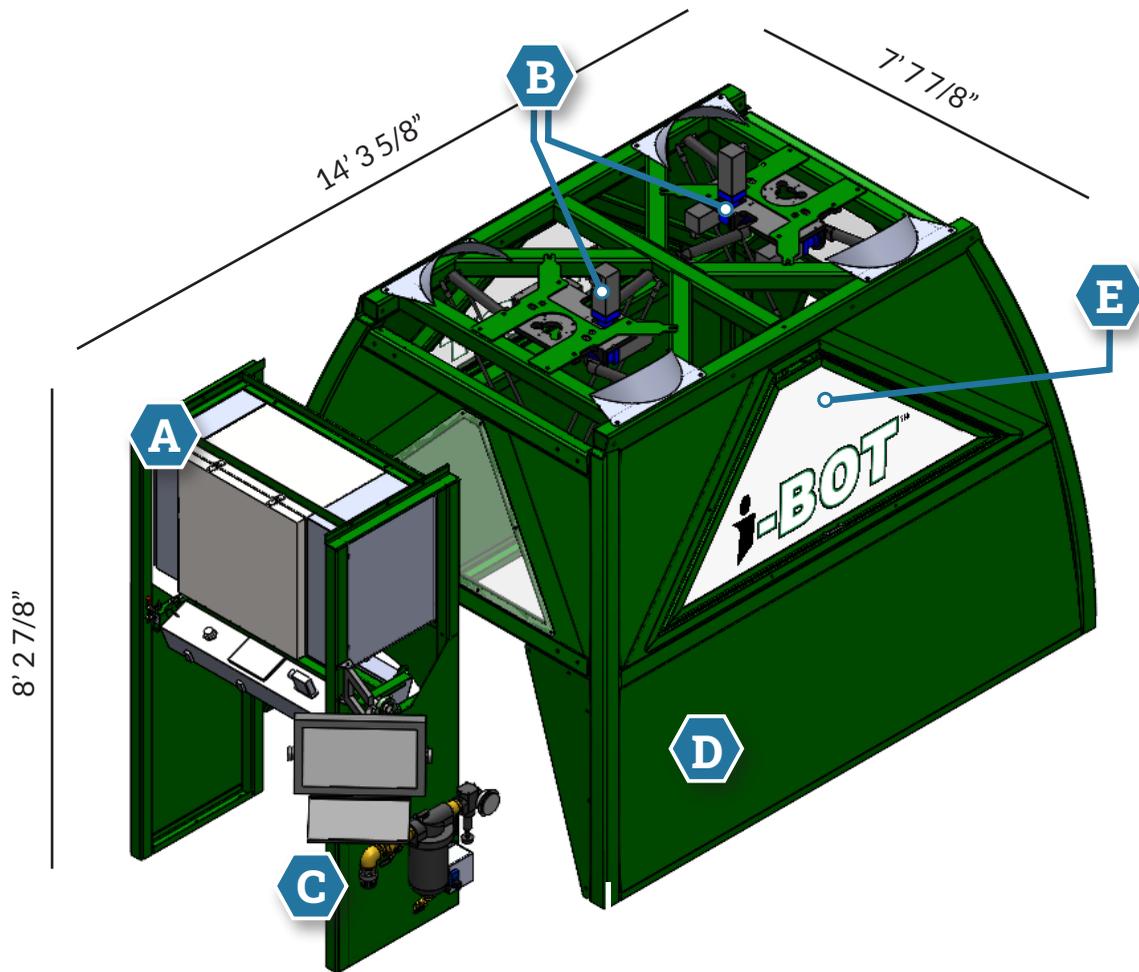
# i-BOT™

### CONTACT GREEN MACHINE TODAY

☎ (800)-639-6306 ext. 2 (sales)

✉ sales@greenmachine.com

🌐 www.greenmachine.com



	<b>KEY FEATURES</b> (Shown Above)	<b>BENEFITS</b>
<b>A</b>	Artificially intelligent Patented Green Eye® Hyperspectral Vision System.	This allows the identification and classification of a wider range of materials.
<b>B</b>	Two robotic arms per unit.	Vacuum cup collector lifting capacity 5 lbs. Mechanical gripper lifting capacity 10 lbs.
<b>C</b>	Full diagnostic and material selection computer system.	On the fly commodity selection.
<b>D</b>	Modular housing unit.	Deployment over a wide variety of conveyor widths and multi-lane arrangements are available.
<b>E</b>	Maintenance access door.	Easily reach your robot's arms for routine maintenance.

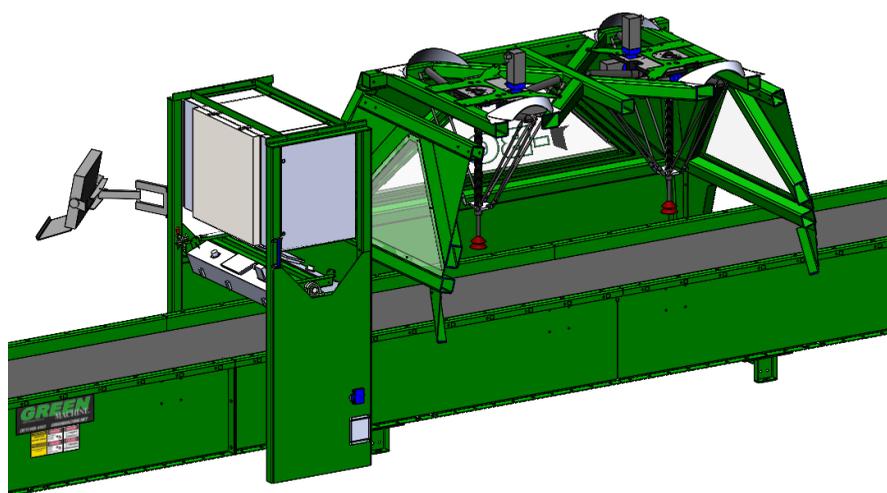
## I-BOT™ ROBOTIC SORTER MODELS



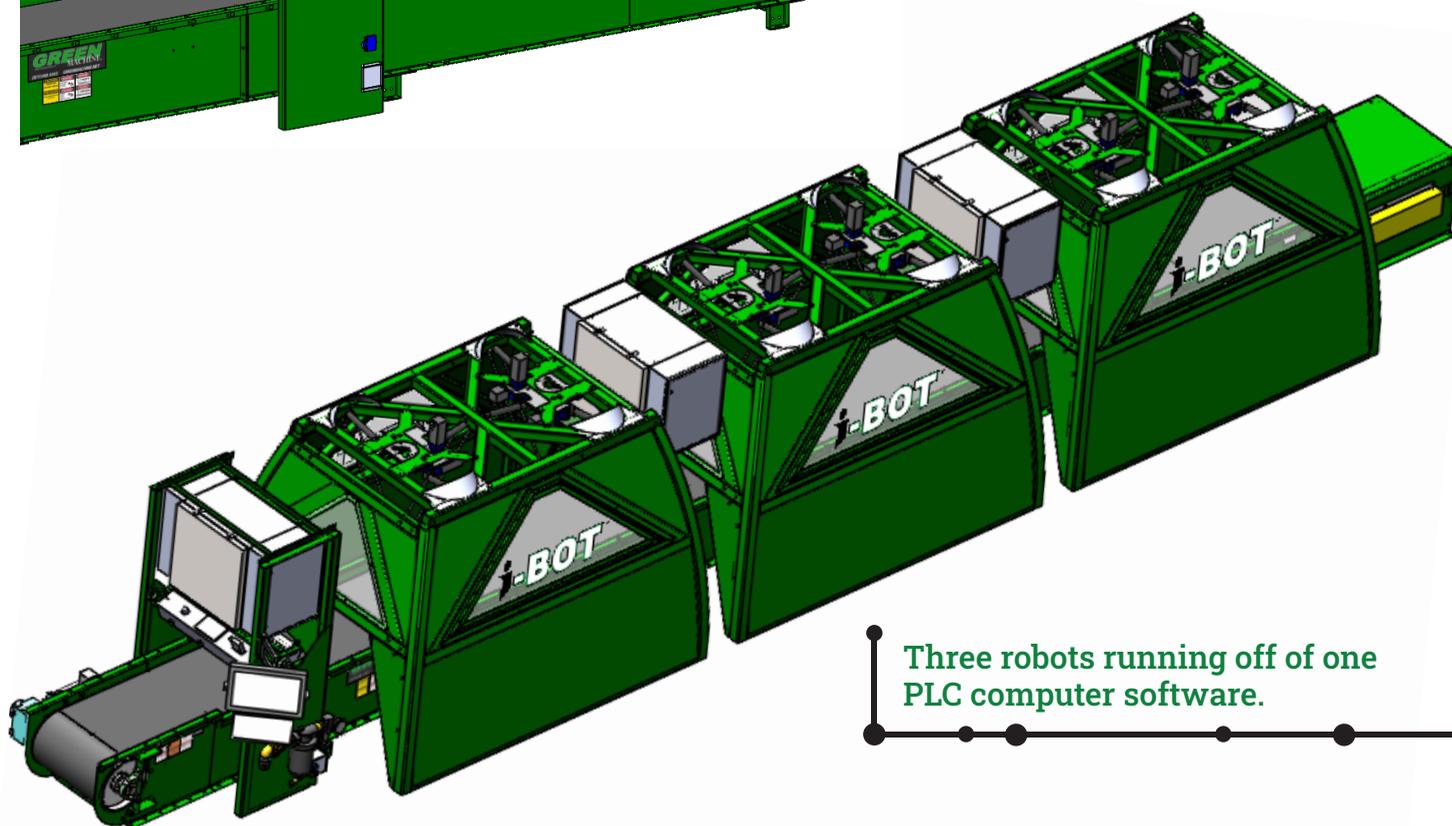
**i-BOT RGB MODEL** - Two arm robotic sorter is economically designed to sort PET and colored/natural HDPE, fiber and more.



**i-BOT HYP MODEL** - Two arm robotic sorter with patented hyperspectral vision system capable of sorting all plastics, UBC aluminum, and multiple fiber grades.



Get two robot arms for the price of one! Double your production and reduce your costs.



Three robots running off of one PLC computer software.

# GREEN MACHINE®

## INCREASE YOUR SYSTEM'S EFFICIENCY WITH i-BOT™

Sorting rates of 98.5% or better accuracy of identified material. Improve your commodity grades while vastly reducing labor costs. Contact our Sales Engineers for design applications and ask about our **Full Maintenance Leasing Options**.



SCAN TO WATCH OUR  
i-BOT IN ACTION!



**i-BOT™**

CONTACT GREEN MACHINE TODAY

☎ (800)-639-6306 ext. 2 (sales)

✉ sales@greenmachine.com

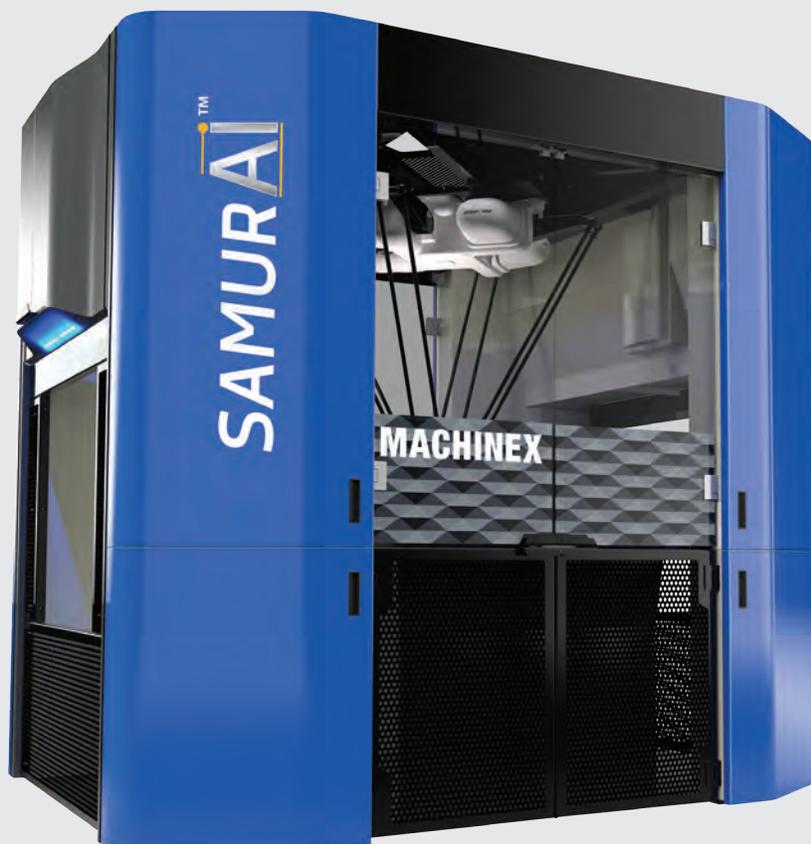
🌐 www.greenmachine.com

# SAMURAI™

Robot trieur évolutif

# M MACHINEX

L'expérience du résultat

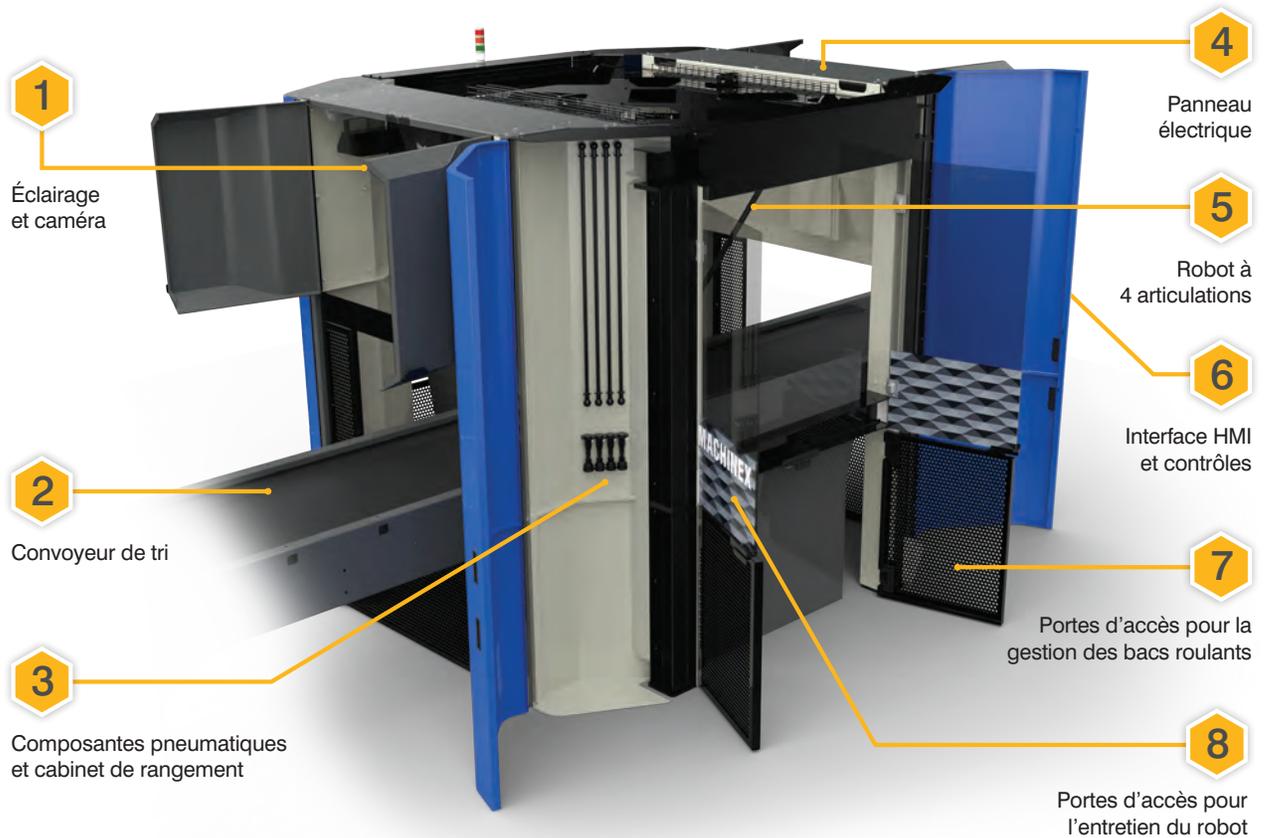


Samurai™ est le robot trieur évolutif de Machinex qui utilise une intelligence artificielle supérieure capable d'identifier les matériaux pour une récupération précise et un contrôle qualité rigoureux. Doté d'un robot à 4 articulations unique en son genre, c'est la solution parfaite pour réduire le tri manuel requis dans votre centre de récupération.

## AVANTAGES VS TRIEUR MANUEL

- ▶ Réduction des coûts de main-d'œuvre, de gestion et des défis liés aux ressources humaines
- ▶ Jusqu'à 70 manipulations par minute<sup>1</sup>, ce qui représente presque le double de manipulations (30-50 manipulations par minute) qu'un trieur manuel peut effectuer
- ▶ Jusqu'à 95% d'efficacité sur la reconnaissance des produits ciblés<sup>1</sup>
- ▶ Constante évolution et optimisation de la reconnaissance des matériaux par l'intelligence artificielle
- ▶ Augmentation du temps d'opération profitable, de la productivité, des performances et de la sécurité

# COMPOSANTES PRINCIPALES



## MODÈLES

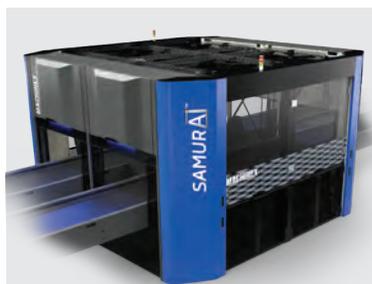
	Largeur	Longueur	Hauteur	Rayon d'action	Largeur de convoyeur
<b>SamurAI™-650</b>	7'0" (2,1 m)	9'7" (2,9 m)	7'11" (2,4 m)	51" (1,3 m)	24" - 36" (0,6 - 1,0 m)
<b>SamurAI™-800</b>	8'0" (2,4 m)	10'0" (3,0 m)	8'6" (2,6 m)	63" (1,6 m)	24" - 48" (0,6 - 1,2 m)

## CONSTRUCTION & CARACTÉRISTIQUES

- ▶ **Modularité:** Conception modulaire pour des applications à robots multiples et des convoyeurs plus larges
- ▶ **Flexibilité dans la manipulation des matières:** Les produits récupérés peuvent être acheminés vers des chutes fixes ou des bacs roulants
- ▶ **Confinement de la zone d'éclairage:** Stabilité de reconnaissance optimale, peu importe l'environnement entourant la machine
- ▶ **Facilité d'accès pour l'entretien:** Conçu pour une commodité opérationnelle, incluant de l'espace de rangement à même la machine
- ▶ **Remplacement temporaire par un trieur:** Environnement de travail sécuritaire pour un trieur devant remplacer le robot lors d'un entretien planifié
- ▶ **Installation personnalisée:** Adaptation du SamurAI™ pour une intégration sur mesure dans un système existant



ROBOT DOUBLE



ROBOT QUADRUPLE

**Modularité:** Conception modulaire pour des applications à robots multiples

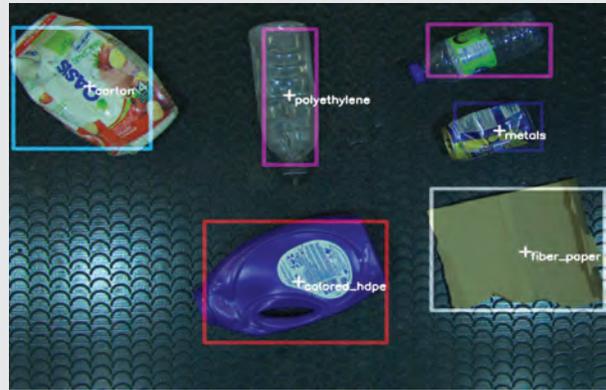
## SPÉCIFICATIONS DU ROBOT

- Le SamurAI™ est un robot à 4 articulations qui :
- ▶ Cible les produits à capturer, les attrape et les dépose dans les chutes dédiées
  - ▶ Inclus un système d'aspiration intégré unique entraîné par une soufflante, permettant l'élimination des petites particules légères (ex: pellicules plastiques) dans un cyclone dédié et par le fait même réduit les besoins en air comprimé
  - ▶ Assure une capacité portante maximum de 2,75 lb (1,25 kg)

## INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Le SamurAI™ est commandé par une intelligence artificielle qui :

- ▶ Identifie les caractéristiques distinctives des matières de la même manière que l'œil humain
- ▶ Reconnaît les matières dans les conditions sales et variables des centres de tri, incluant l'introduction de nouveaux emballages
- ▶ S'améliore continuellement, de façon autonome, ce qui assure une reconnaissance optimale des matières à trier
- ▶ Génère des données essentielles à partir de la composition du flux de matières perçues par l'intelligence artificielle
- ▶ Fonctionne selon une hiérarchie prédéterminée des tâches afin de maximiser le retour sur investissement



## SAMURAI™ INTELL

- ▶ Un outil essentiel qui présente visuellement l'efficacité du robot trieur. Il en extrait les données de performance pour analyse et création de rapports détaillés



## APPLICATIONS

Les applications du SamurAI™ sont multiples et évoluent rapidement, néanmoins il peut :

- ▶ Extraire positivement les matières recyclables d'un flux de matières mélangées (ex : les plastiques, les fibres ou les métaux d'une ligne de rejets)
- ▶ Trier négativement un flux précis de façon à extraire tous ses contaminants (ex : contrôle qualité du PET après une optique)



# ÉLÉMENTS ADDITIONNELS

## STATION D'APPRENTISSAGE DU SAMURAI™

Cette station peut être installée préalablement au SamurAI™ afin de :

- ▶ Capturer et accumuler plusieurs semaines d'images de la matière spécifique au client
- ▶ Étiqueter et catégoriser en amont les produits perçus dans les images recueillies
- ▶ Réduire de manière significative la courbe d'apprentissage du robot pour assurer les meilleures performances de reconnaissance et d'identification dès le jour 1 de la période de démarrage

## MACH CLOUD

L'abonnement au MACH Cloud assure :

- ▶ La mise à jour automatique de l'intelligence artificielle avec les plus récents apprentissages réalisés par les robots SamurAI™ installés partout à travers le monde
- ▶ Le mode d'apprentissage assisté pour bonifier la base de données et ainsi enseigner au robot les produits perçus, mais non reconnus par l'intelligence artificielle
- ▶ L'assurance d'une performance de reconnaissance maximale pour la durée de l'abonnement au MACH Cloud

# SAMURAI™

## L'ÉVOLUTION DU TRI

UNE NOUVELLE APPROCHE AUX MÉTHODES TRADITIONNELLES

CODE D'HONNEUR DU  
SAMURAI

### RAPIDE

Jusqu'à 70 manipulations par minute<sup>1</sup>

### PRÉCIS

Jusqu'à 95 % d'efficacité sur la reconnaissance de produits ciblés<sup>1</sup>

### INFATIGABLE

Disponibilité, productivité et performance dans le tri

### ÉVOLUTIF

Intelligence artificielle avec apprentissage et optimisation continus

PROTÉGEZ VOS OPÉRATIONS, BÂTISSEZ-VOUS UNE FORCE SAMURAI.

<sup>1</sup> Les performances du SamurAI™ peuvent fluctuer selon les variations de tonnage et de composition de la matière, de la quantité de produits ciblés, de la répartition de la matière à l'entrée du robot, etc.

# RECYCLEYE ROBOTICS FACT SHEET

Recycleye Robotics performs the physical tasks of identifying, picking and placing material, automating current manual operations. FANUC's team of expert automation engineers designed Recycleye Robotics to weigh 75 percent less than any existing manual sorting operations currently in the market.

## INTELLIGENCE CAPABILITIES



Developed with the World's 2<sup>nd</sup> Largest Robotic Manufacturer

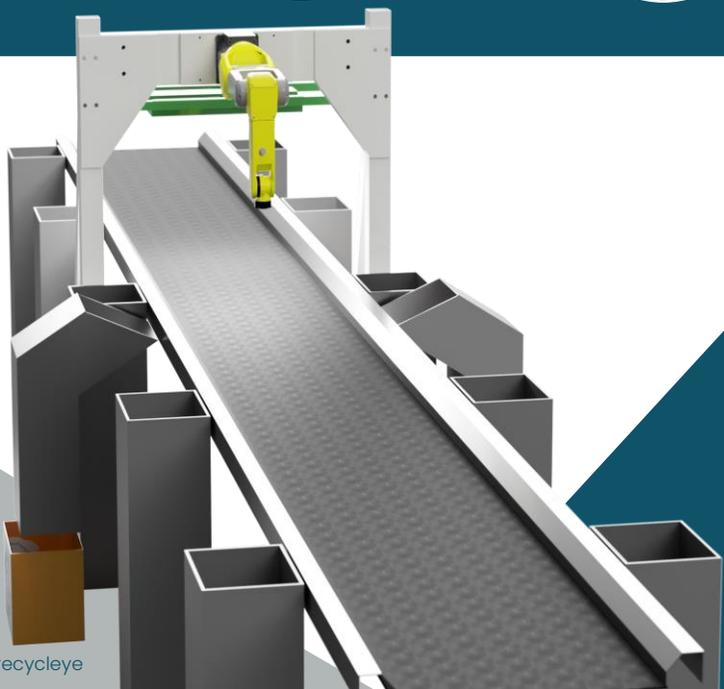
**FANUC**



Deeply integrated with RECYCLEYE VISION for fast and accurate picking



Designed to deliver affordable automation



## STREAMLINED REPORTING



TREND ANALYSIS



DOWNTIME METRICS



WEIGHT METRICS



MONITOR ITEM SPREAD



DETECTION OF HAZARDS



PREDICTIVE MAINTENANCE



FOOD VS NON-FOOD GRADE IDENTIFICATION

## SORTING ACROSS 28+ MATERIAL CLASSES



### OBJECT

Bottle  
Tray  
Can  
Film

Aerosol  
Tetrapak  
Egg carton  
Cylinder

Box  
Pot  
Lid  
Wrapper



### MATERIAL

PET  
HDPE  
PP  
LDPE

PVC  
PS  
Newspaper  
Magazine

Print  
Greyboard  
Cardboard  
Steel

Aluminum  
Textile  
Residual  
Multi

### PET



### HDPE



### PAPER



### ALUMINIUM



### CARDBOARD



### FOOD WASTE



www.recycleye.com



@recycleye /company/recycleye

## INSTALLATION ROLL-OUT

1

### CONTACT

Get in touch with one of our engineers!

2

### SETUP

Let's call, conduct a site visit and build a plan

3

### DEPLOYMENT

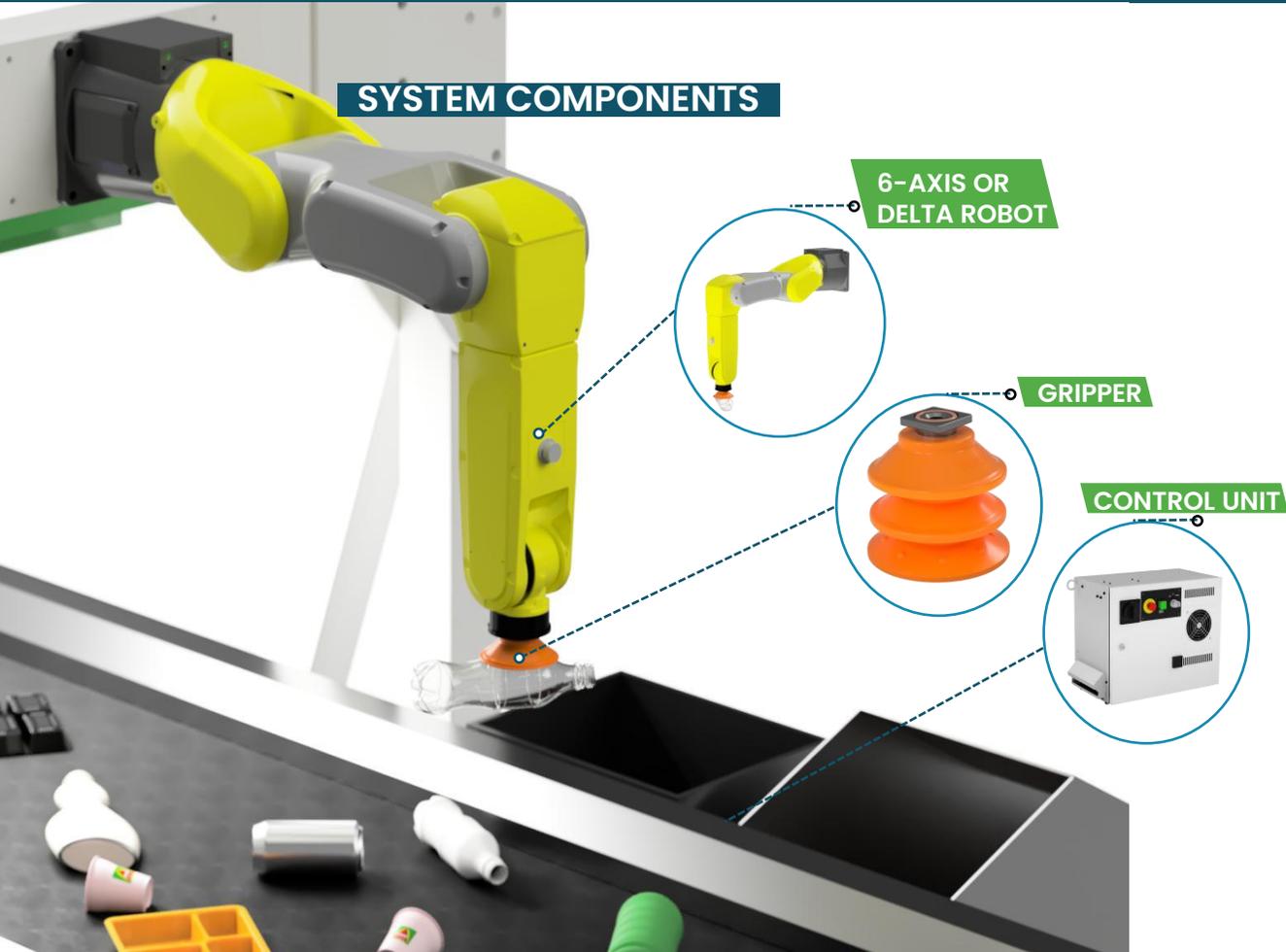
Systems installed

4

### SUPPORT

Continued local & remote maintenance

## SYSTEM COMPONENTS



## PERFORMANCE CHARACTERISTICS

	6-AXIS	DELTA
Pick Speed	50 picks/min	70 picks/min
Coverage Width (incl frame)	<1.2m	<0.8m
Accuracy	Typical efficiency >95% & purity >95%	
Compositional Data	Full access to dashboard, Azure Data Share & local data link.	

## SUPPORT

Warranty	24 months
Local Maintenance	Access to FANUC's maintenance network (42 engineers for the UK alone)
Remote Maintenance	24/7 Telephone Support & Daily Monitoring of Performance (pick rates, temp etc)
Check-up	Annual maintenance visit included.

## TECHNICAL SPECIFICATIONS

	6-AXIS	DELTA
Max Load	3kg	3kg
Electrical Power	1 Phase Voltage (230V)	3 Phase Voltage
Total Weight	250kg	350kg
Height above Belt	1m	1.2m
Width along Belt	Variable	Variable
Length	1.8m	2.02m
Safety Distance*	1-1.4m	1-1.4m
Internet Connection	20 up 20 down MB/s	
Air Pressure	7 bar	
Air Flow	27 SCFM	

\*Add to length of any robot adjacent to manual picker



## MAIN APPLICATIONS

**Robot for re-sorting of product streams previously sorted with AUTOSORT**

### Packaging

Thermoplastics, beverage cartons, board

### Thermoplastics

PET, PP, PVC, PS, LDPE, LLDPE, HDPE, trays, bottles, homo vs. co-polymer, injection or blow molding qualities

# AUTOSORT® CYBOT



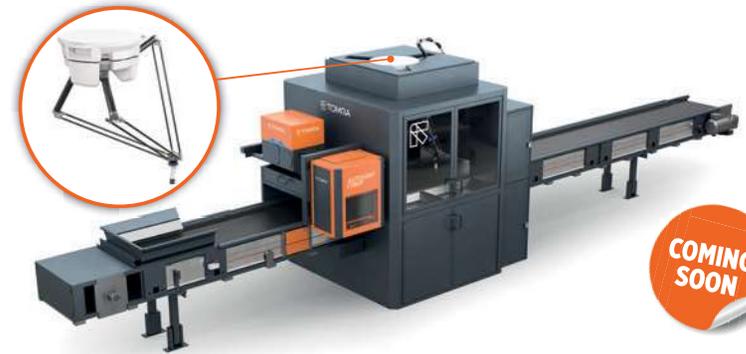
Multisensor system



Modular construction



New generation FLYING BEAM®



## DESCRIPTION

Continuing our pioneering tradition, AUTOSORT® CYBOT is the first waste sorting robot on the market to combine four essential technologies at once. Seamlessly interacting with AUTOSORT® units and equipped with a robot arm, sensors detect objects based on their properties before the fast picking robot arm subsequently sorts the objects into one of four separate target fractions. Its capability of identifying and sorting four distinct materials makes AUTOSORT® CYBOT the ideal solution for achieving the highest sorting accuracy and purity levels.



## TECHNOLOGIES

DEEP LAISER®  
FLYING BEAM®  
SHARP EYE  
SUPPIXX® (optional)



## MACHINE SIZES

600	
Width	2,403mm
Length	3,947mm
Height	3,485mm
Weight*	2,000kg
Sorting Fractions	4+1

\* The data is indicative and application-dependent. Exact data upon request.



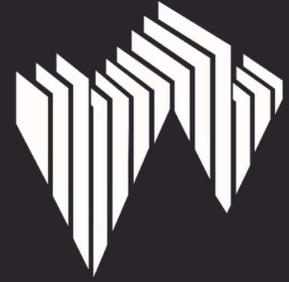
## DON'T RISK

Don't risk missing out on continuous output efficiency!



## PROCESS ANIMATION



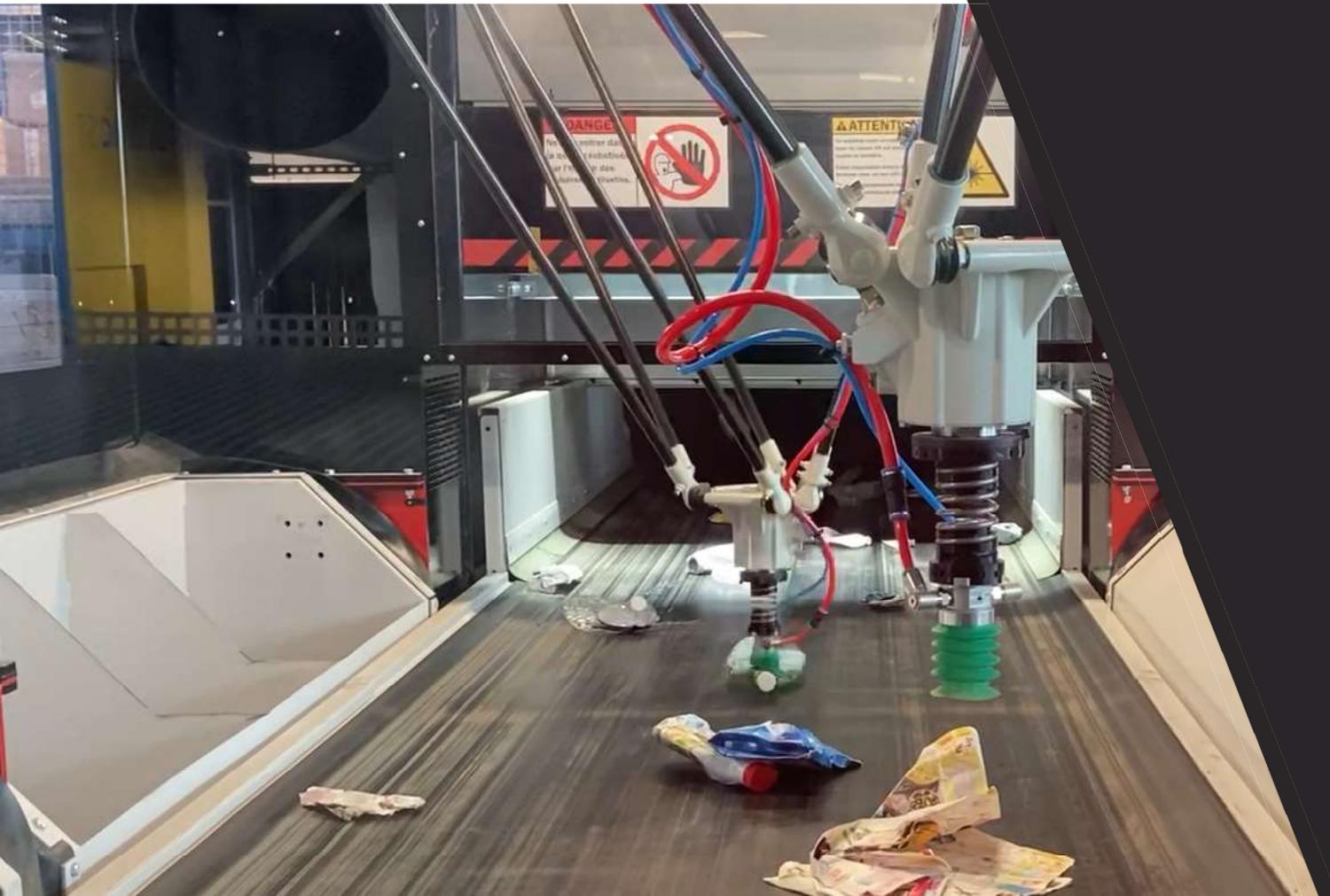


**WASTE ROBOTICS**  
UNSTOPPABLE SORTING

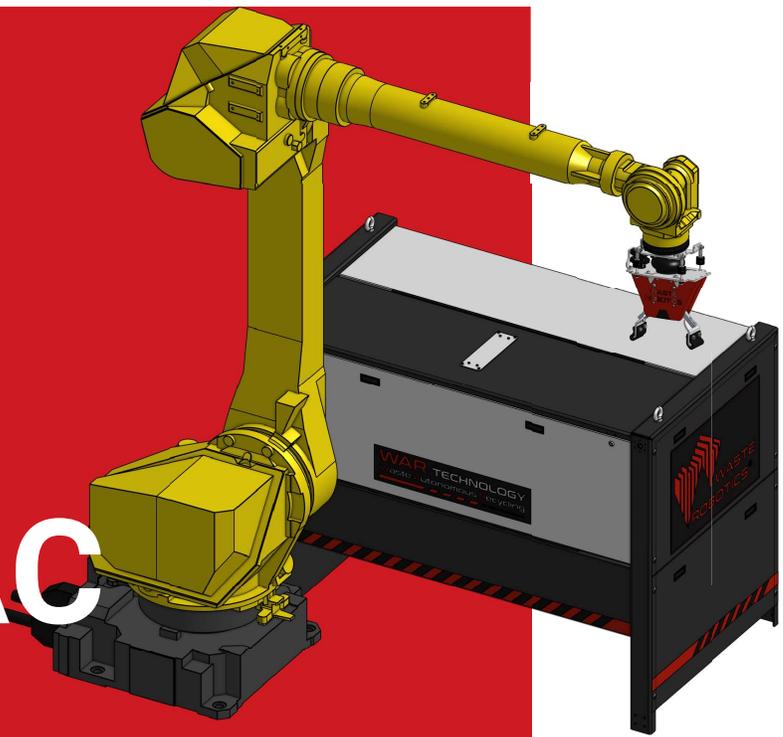
# SPÉCIFICATIONS DES ROBOTS



TRI DE SAC - RECYCLAGE  
C&D - SUR MESURE



# TRI DE SAC



**Application :** Collecte de différents types de sacs

**Charge max. soulevable :** Plus de 20kg (45lb)

**Dimensions des objets :** 5 to 80 litres

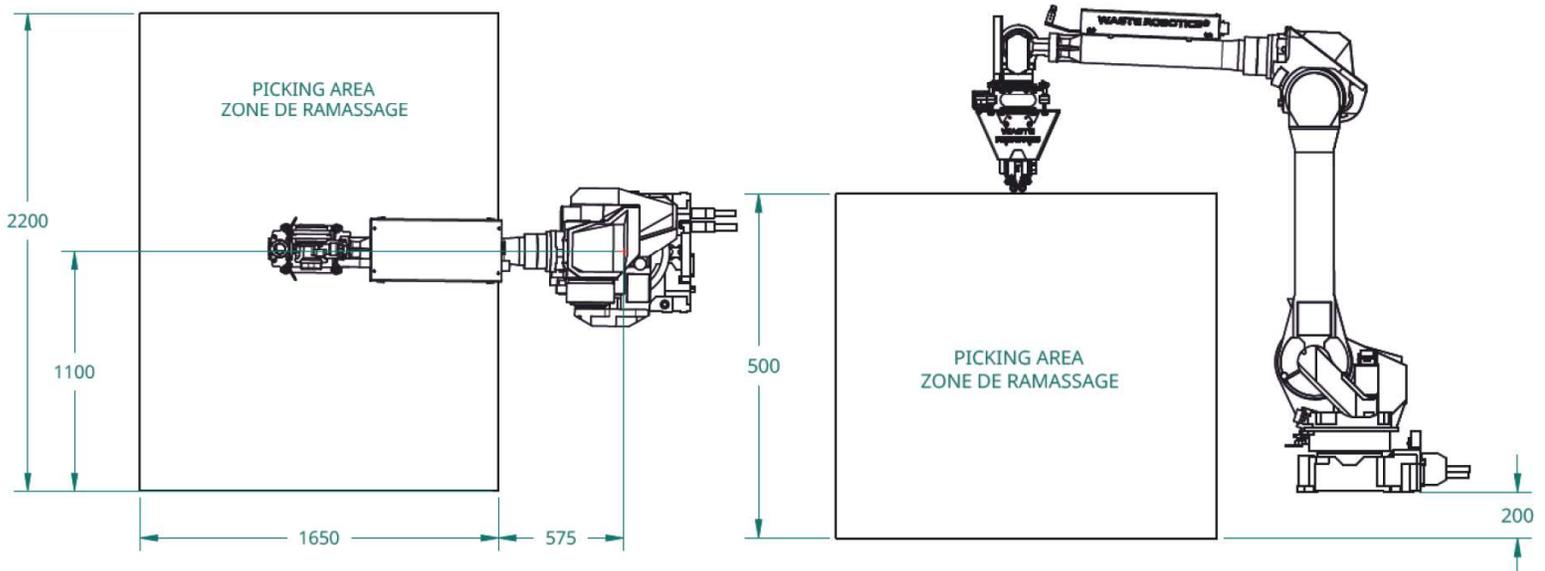
**Largueur maximale du convoyeur :** 72"

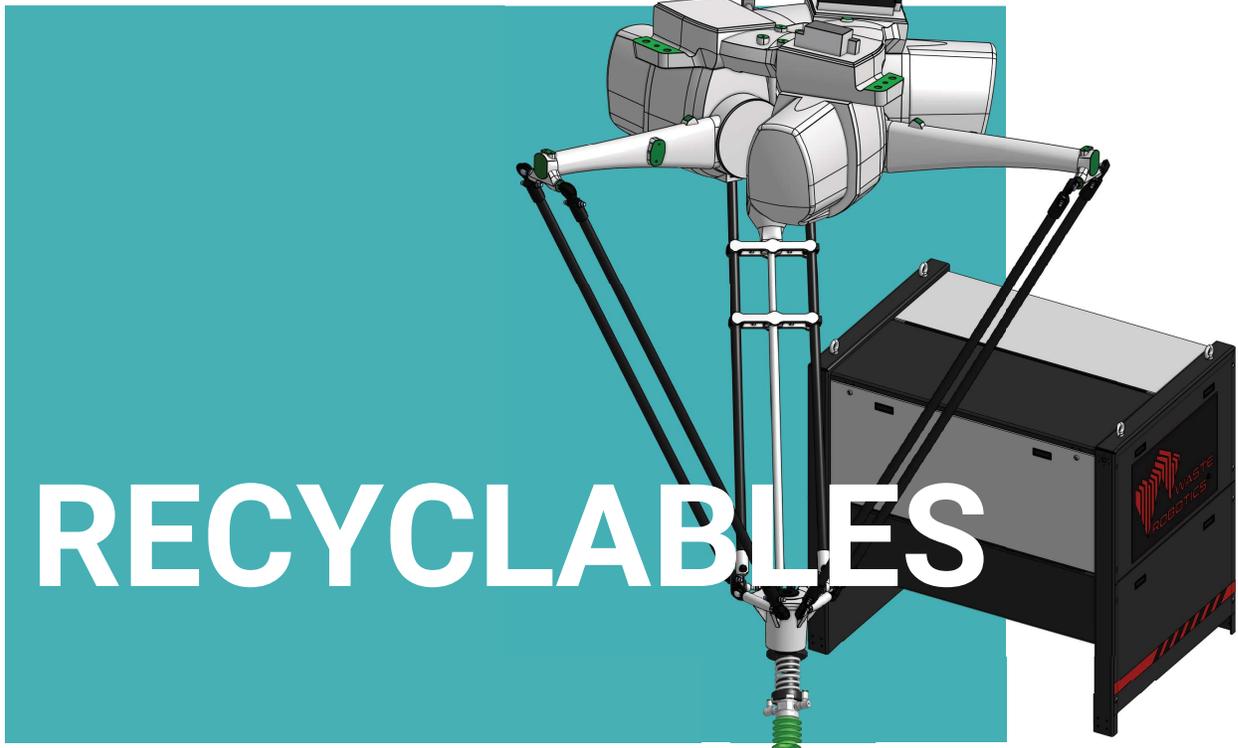
**Vitesse de tri :** Plus de 25 prises/minute

**Zone de ramassage :** Voir ci-dessous

**Système de vision :** Deepvision

**Préhenseur :** Bagr





**Application** : Collecte des matériaux recyclables

**Charge max. soulevable** : Plus de 1kg (2lb)

**Dimension des objets** : 2 x 2 x 1" à 12 x 12 x 8"

**Largueur maximale du convoyeur** : 72"

**Objets triés** : PET, HDPE, PVC, LDPE, PP, PS, PLA, alluminum, UBC, LDPE, métal, OCC, SOP, carton

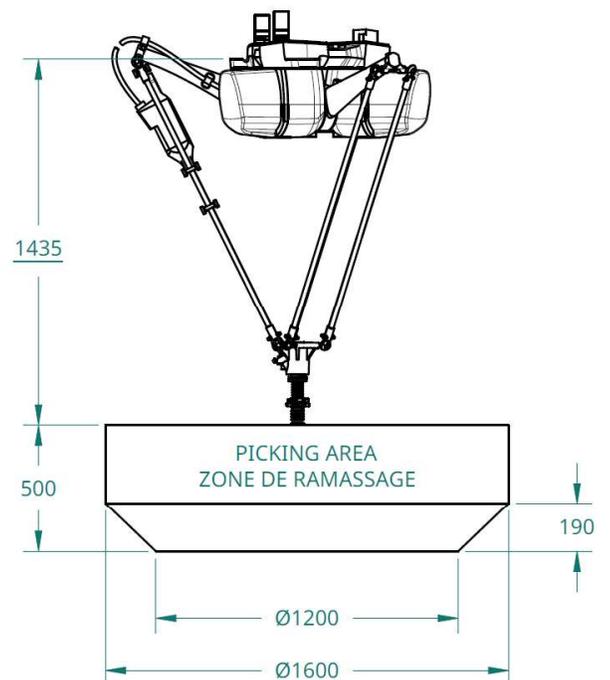
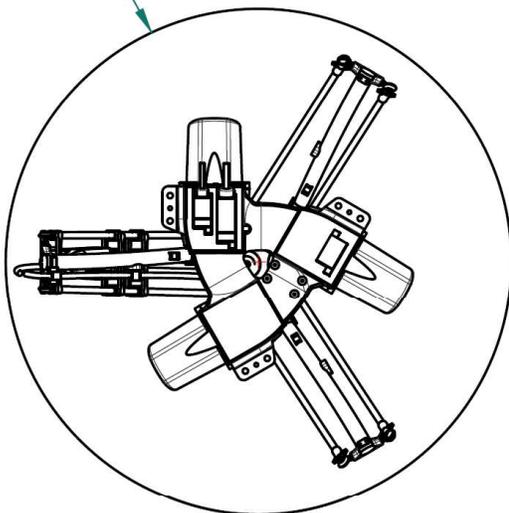
**Vitesse de tri** : Plus de 60 prises/minute

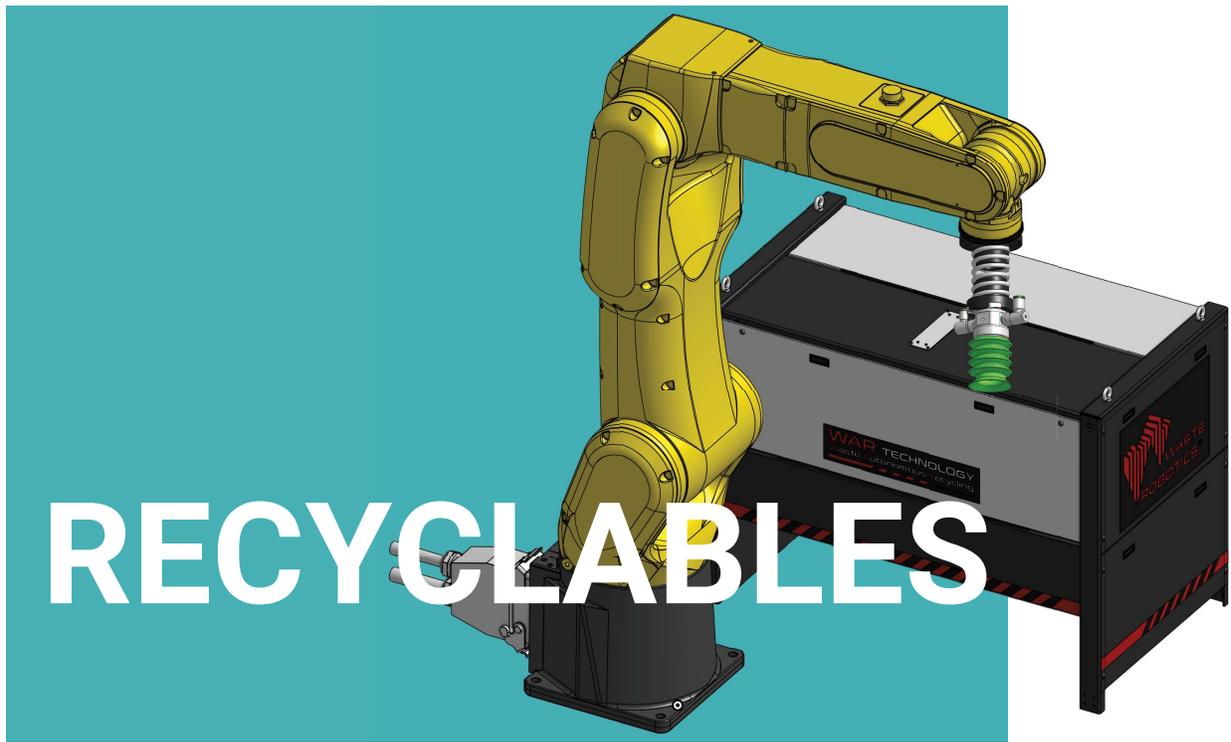
**Zone de ramassage** : Voir ci-dessous

**Système de vision** : Deepvision

**Préhenseur** : Ventur

PICKING AREA  
ZONE DE RAMASSAGE





**Application :** Collecte des matériaux recyclables

**Charge max. soulevable :** Plus de 1kg (2lb)

**Dimension des objets :** 2 x 2 x 1" à 12 x 12 x 8"

**Largueur maximale du convoyeur :** 48"

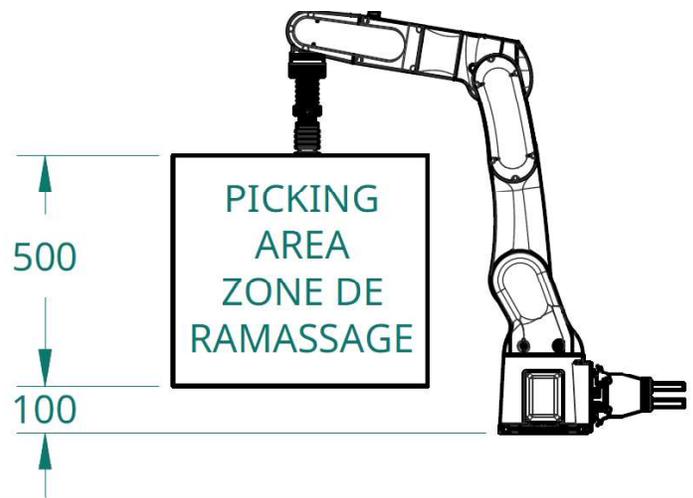
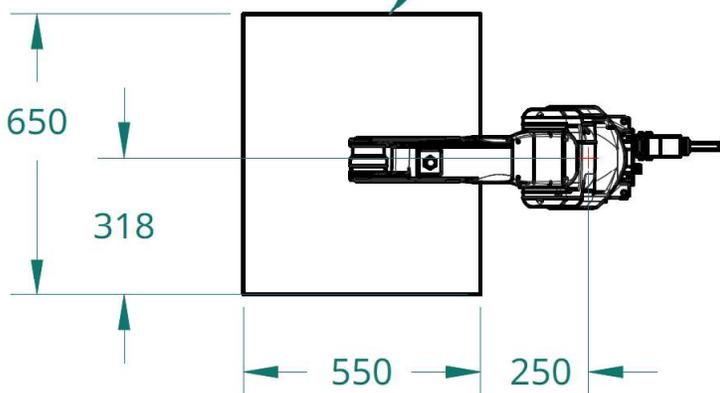
**Vitesse de tri :** Plus de 50 prises/minute

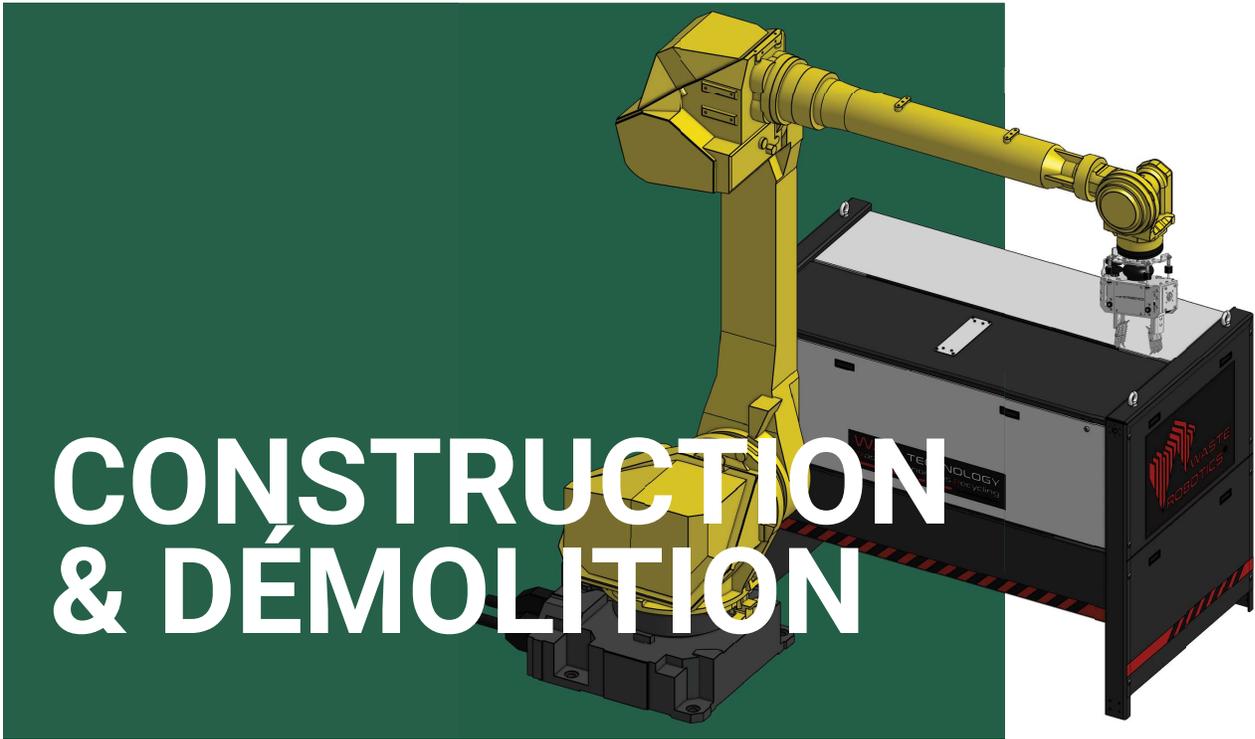
**Zone de ramassage :** Voir ci-dessous

**Système de vision :** Hypervision

**Préhenseur :** Ventur

PICKING AREA  
ZONE DE RAMASSAGE





**Application :** Collecte de matériaux de construction et démolition

**Charge max. soulevable :** Plus de 20kg (45lb)

**Dimensions des objets :** 3 x 3 x 3" to 9 x 18 x 30"

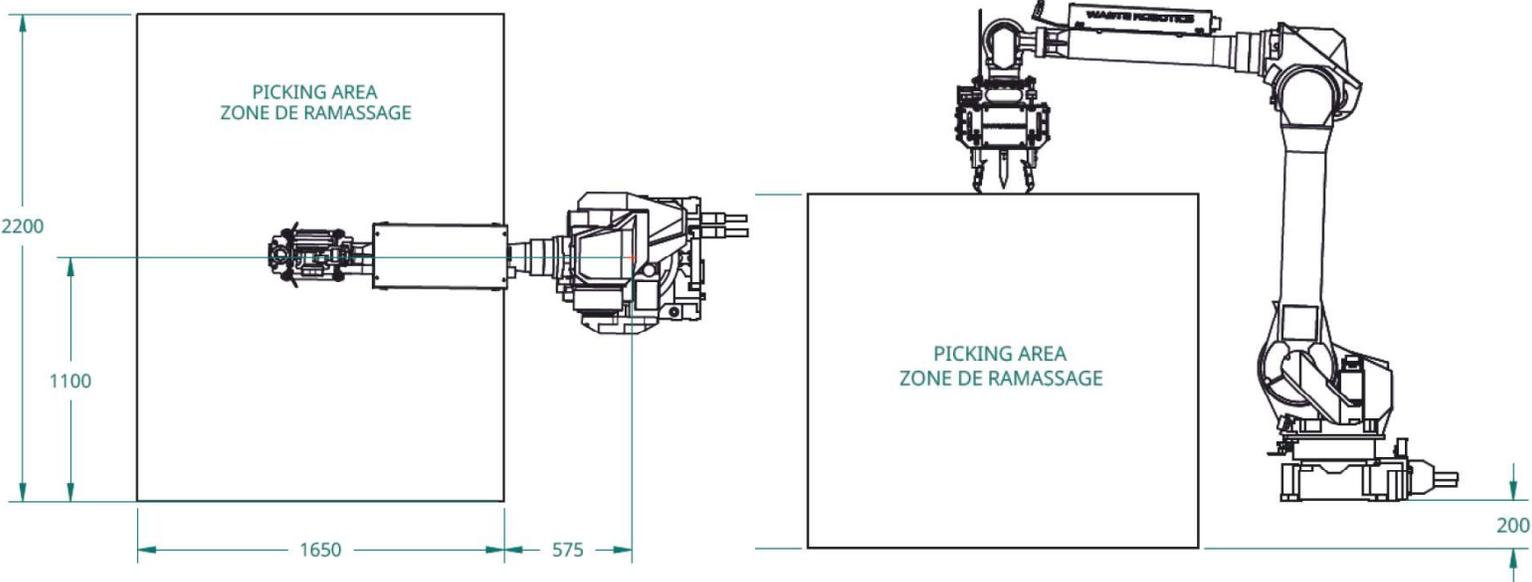
**Largueur maximale du convoyeur :** 72"

**Vitesse de tri :** Plus de 25 prises/minute

**Zone de ramassage :** Voir ci-dessous

**Système de vision :** Hypervision

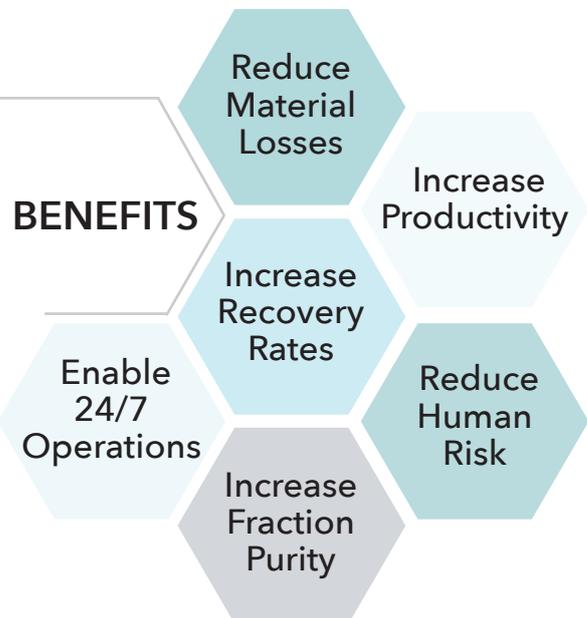
**Préhenseur :** Monstr



## FAST PICKER

ZenRobotics Fast Picker couples artificial intelligence (AI) software with high-speed picking, allowing autonomous and accurate sorting without interruptions 24/7. With Fast Picker, you can increase recovery while maintaining high purity in recyclables.

Fast Picker's robust and compact design is optimal for a demanding waste treatment environment. Easy-fit design, upgradable AI software and in-house support make Fast Picker a safe and attractive investment.



## SORTING TASKS

The Fast Picker is ideal for lightweight material such as packaging waste (LWP), dry mixed recyclables (DMR) and municipal solid waste (MSW). It can be easily integrated to side streams, reject recovery lines, and quality control after optical sorting.

HDPE QUALITY CONTROL	FIBER LINE QUALITY CONTROL	UBC QUALITY CONTROL	PET QUALITY CONTROL	RESIDUE LINE RECOVERY
<ul style="list-style-type: none"> <li>• HDPE pots &amp; trays</li> <li>• Beverage cartons</li> <li>• PET bottles &amp; flasks</li> <li>• Toxic containers</li> <li>• Silicon cartridges</li> <li>• Foils</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grey fiber</li> <li>• Brown fiber, OCC</li> <li>• Trash</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Used beverage cans (UBC)</li> <li>• Other non-ferrous objects</li> <li>• Specific contaminants</li> <li>• Trash</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Clear &amp; colored PET bottles, flasks, trays and pots</li> <li>• Other polymers, PP, PS objects</li> <li>• Trash</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PET</li> <li>• HDPE</li> <li>• PP, PS</li> <li>• UBC</li> <li>• TETRA etc.</li> </ul>

## PRODUCT FEATURES

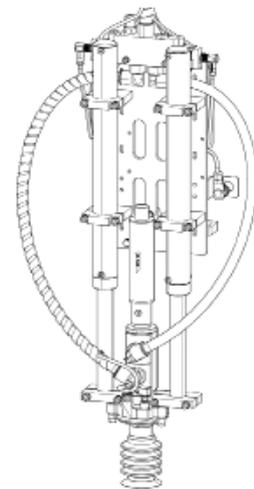
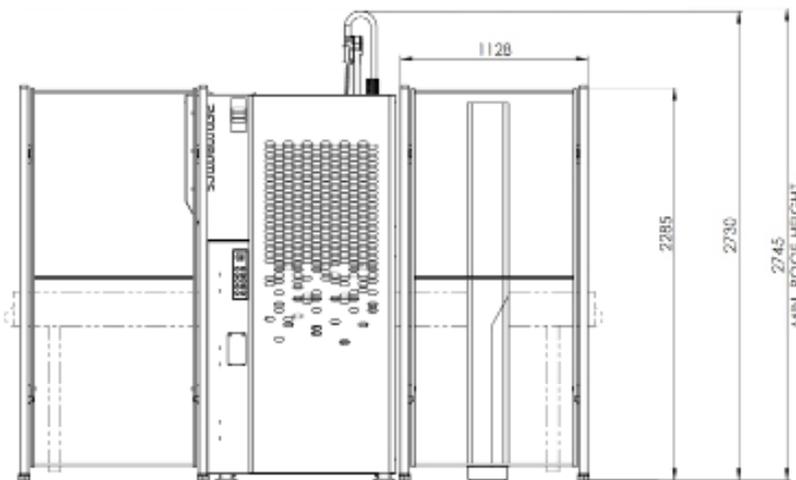
Fast Picker fits a single sorting bay and can be retrofitted for different conveyor widths and multi-lane conveyors. Therefore, it fits most picking stations without additional modifications.

-  **High picking power per area**
-  **Multiple units can be stacked close together**
-  **Sensor bar system for recognition attached**
-  **Easy low-cost maintenance**



## TECHNICAL SPECIFICATIONS

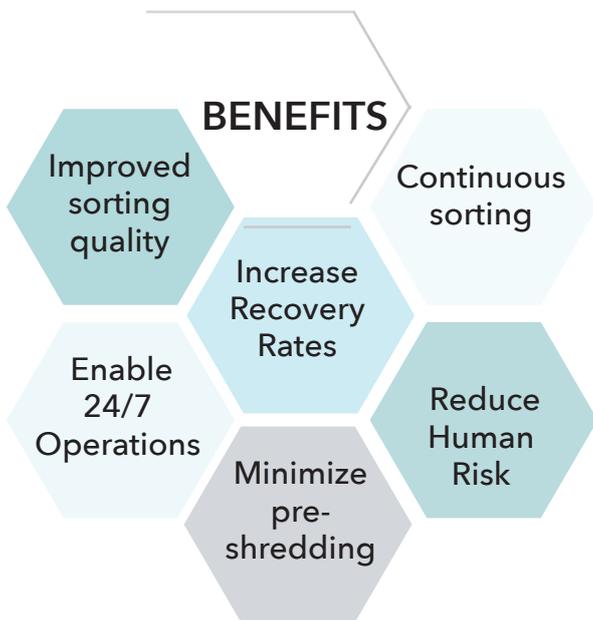
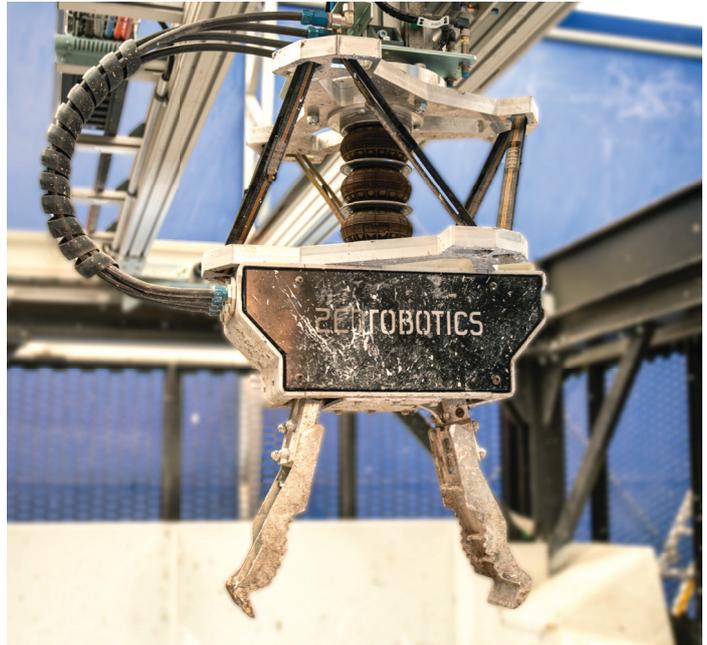
Robot arms	1	Unit weight	1350 kg, 2976 lb
Sensor units	1	Max. conveyor width	1400 mm, 4.6'
Gripper type	Suction Gripper	Working area	1200 mm x 600 mm, 4' x 2'
Maximum speed	4000 picks/h*	Discharge chutes	2 (1 on each side)
Sorting belt speed	0.1-1 m/s, 20-197 fpm	Maximum object weight	1 kg, 2.2 lb
Unit length & width	1944 mm x 2670 mm 6' 4" x 8' 8"	Maximum object size	L 400 mm, W 400 mm, H 240 mm L 16", W 16", H 9.5"
Unit height	2750 mm, 9'	Installed power	11 kw / 400 VAC 3-phase
Air consumption	250 l/min at 8 bar, 8.8 cfm at 116 psi	Technical specification subject to change. * Actual picking speed depends on feed	
Availability	> 90%		



The delivery of a complete Fast Picker system includes a sensor unit, control system, robot arm, suction gripper, and safety panels.

## HEAVY PICKER

ZenRobotics Heavy Picker is the world's first robotic waste sorting solution designed exclusively for waste sorting. It is a strong multipurpose robot for large and bulky waste that can sort several high-purity fractions simultaneously with the help of heavy-duty arms, various sensors and artificial intelligence. The Heavy Picker is a fully autonomous sorting line that can be retrofitted to existing capacity or set up as a standalone sorting station that only requires space on site.



## PRODUCT FEATURES

-  1-3 robotic arms
-  RGB-, VIS- and hyperspectral cameras, 3D sensor system and metal detection
-  Trainable to recognize unlimited fractions
-  Online reporting tool for analysis of waste
-  Feed Rate Control with signals and sensors to control upstream feeding and sorting equipment (optional)

## SORTING TASKS

The Heavy Picker can sort construction and demolition waste (C&D), commercial and industrial waste (C&I) as well as plastics, metals, wood, inert, plastic bags and more. Heavy Picker minimizes the need for pre-shredding waste or pre-sorting the waste with an excavator.

CONSTRUCTION & DEMOLITION	COMMERCIAL & INDUSTRIAL	RIGID PLASTICS	INERT	SCRAP METALS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wood by grade (A/B/C/D-wood)</li> <li>• Inert mixed and by type: bricks, concrete, stones etc.</li> <li>• Rigid plastics mixed or by polymer</li> <li>• Metals</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rigid plastics mixed or by type</li> <li>• OCC</li> <li>• Wood mixed or by type</li> <li>• Metals</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plastics from mixed waste</li> <li>• Plastics by polymer: PP, PE, PVC, PET etc.</li> <li>• Plastics by shape, size and/or color</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stones</li> <li>• Bricks</li> <li>• Asphalt</li> <li>• Gypsum</li> <li>• Concrete etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Metals by shape/ color, brass, aluminum, zinc, copper, stainless steel etc.</li> <li>• Metals by type: Iron scrap, copper wires, "meatballs"</li> <li>• Contaminants</li> </ul>

## INSTALLATION OPTIONS

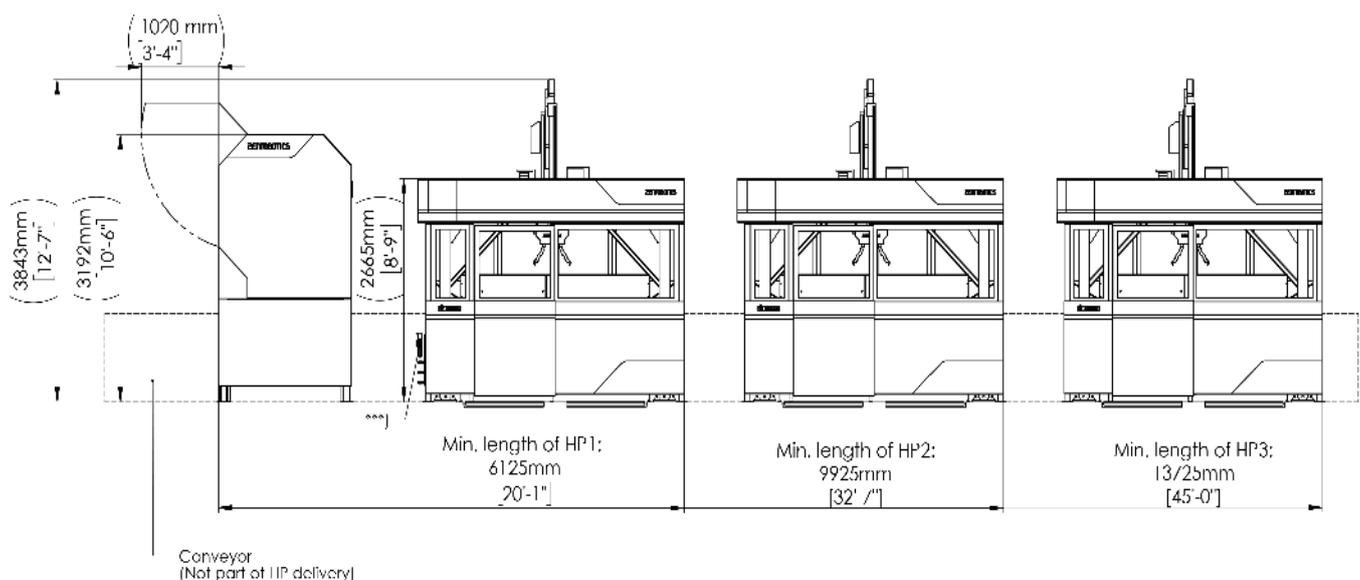
The Heavy Picker is suitable for both brownfield and greenfield installations. The sorting system can be installed in three ways:

- **retrofitted** to complement existing facility infrastructure
- set up as a **standalone sorting station** requiring no modifications to existing facility infrastructure
- set up as the **main sorting station** for a fully robotized greenfield installation.



## TECHNICAL SPECIFICATIONS

Robot arms	1, 2 or 3	Maximum object weight	30 kg, 66 lb
Sensor units	1	Maximum object size	L 1500mm, W 500mm L 60", W 20"
Gripper type	Mechanical Gripper	No. of recognized fractions	Unlimited
Maximum speed per arm	2000 picks/h*	Installed power (1 robot)	10 kW, 13.4 hp
Sorting belt speed	0,1-0,6 m/s, 20-118fpm	Air consumption	120 l/min/gripper at 6 bar 4.2 cfm at 87 pis
Unit length	6125mm x 13725mm, 20' 1" x 45'	Noise level	<80 bB(A)
Unit weight	4700kg - 11300kg 10400lb - 25000 lb	Technical specification subject to change. * Actual picking speed depends on feed	
Working area (1 robot)	2700mm x 2000mm, 8' 10" - 6'		
Discharge chutes	Up to 6 / arm		



The delivery of a complete Heavy Picker system includes a sensor unit, a control system, 1-3 robot arms, chute collars and a safety cage.