

# Etat de l'art des technologies de recyclage de certains DEEE : PAM, tubes cathodiques, cartes et composants électroniques

## RAPPORT FINAL

NOVEMBRE 2008

Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie  
20 avenue du Grésillé, BP 90406  
49004 ANGERS CEDEX 01 - France  
Coordination : Fabienne BENECH

Etude réalisée pour le compte de l'ADEME par la société TERRA

Coordination technique : Fabienne BENECH  
Département Organisation des Filières et Recyclage  
Direction Déchets et Sols – ADEME Angers

## REMERCIEMENTS

Cette étude n'aurait pu être réalisée sans la contribution déterminante que nous ont apporté nos différents interlocuteurs, exploitants ou développeurs de procédés et de technologies, en nous permettant d'accéder aux informations techniques recherchées ainsi que fréquemment, en nous recevant sur leurs sites d'exploitation. L'identité de ces interlocuteurs est rappelée en fin de chacune des fiches présentées dans ce rapport et nous tenons à les remercier sincèrement de la confiance qu'ils nous ont accordée.

Nos remerciements s'adressent également à M.Pascal Leroy (WEEE-FORUM) et Jan Vrba (ASEKOL, Prague) qui nous ont permis, notamment de vérifier la correspondance entre l'expérience et la vision des organismes adhérents du WEEE-FORUM, et les résultats de nos recherches.

Enfin, nous remercions Mesdames Benech, Baudry et Cornet, du Département Organisation des filières et Recyclage de l'ADEME, pour leurs contributions actives au pilotage de cette étude.

### L'ADEME en bref

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire, et du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche. Elle participe à la mise en oeuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. L'Agence met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public et les aide à financer des projets dans cinq domaines (la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit) et à progresser dans leurs démarches de développement durable.

[www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)

**Copyright : ©ADEME - 2008**

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par la caractère critique, pédagogique ou d'information de l'oeuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

# SOMMAIRE

<b>RESUMES DE L'ETUDE .....</b>	<b>4</b>
<b>I – INTRODUCTION ET PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS .....</b>	<b>5</b>
I.1 CONTEXTE .....	5
I.2 RAPPEL DES OBJECTIFS DE L'ETUDE .....	5
I.3 CALENDRIER, CONTEXTE ET CONJONCTURE DE LA REALISATION DE L'ETUDE .....	6
I.4 METHODOLOGIE DE L'ETUDE .....	6
I.5 PRINCIPALES EVOLUTIONS DANS LES TECHNOLOGIES DE SEPARATION PREALABLES AU TRI DES CONSTITUANTS .....	6
I.6 OBSERVATIONS SUR LES LIEUX DE MISE EN ŒUVRE DE L'INNOVATION DANS LES PROCEDES DE SEPARATION ET DE TRI DES MATERIAUX .....	8
<b>II – GUIDE DE LECTURE DU RAPPORT .....</b>	<b>10</b>
II.1 DESCRIPTION DU CONTENU.....	10
II.2 LISTE DES FICHES DESCRIPTIVES.....	11
II.3 LEGENDE DES SYNOPTIQUES DE FLUX.....	12
II.4 ABREVIATIONS UTILISEES .....	12
II.5 INDICES DE RECYCLABILITE DES FRACTIONS SORTANTES .....	12
II.6 LEGENDE DES SCHEMAS DE PRINCIPE, PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES PROCEDES .....	13
<b>III – PROCEDES DE TRAITEMENT DE TUBES CATHODIQUES .....</b>	<b>17</b>
III.1 SYNTHESE DES FILIERES DE TRAITEMENT .....	17
III.2 TECHNOLOGIES DE TRAITEMENT DES TUBES CATHODIQUES: .....	19
III.3 FICHES DESCRIPTIVES .....	20
<b>IV – PROCEDES DE TRAITEMENT PAM.....</b>	<b>75</b>
IV.1 RAPPEL DE LA DELIMITATION DU FLUX PAM : .....	75
IV.2 TECHNOLOGIES DE TRAITEMENT PAM : .....	75
IV.3 FICHES DESCRIPTIVES.....	78
<b>V – PROCEDES DE TRAITEMENT DES CARTES ELECTRONIQUES .....</b>	<b>139</b>
V.1 DESCRIPTION DES CARTES ELECTRONIQUES .....	139
V.2 LA FILIERE DE COLLECTE ET TRAITEMENT .....	139
V.3 IDENTIFICATION DES PRINCIPAUX ACTEURS DE PREPARATION ET TRAITEMENT DES CARTES .....	141
V.4 FICHES DESCRIPTIVES .....	141
<b>VII – CONCLUSION .....</b>	<b>166</b>
<b>VIII – SOURCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>167</b>
<b>VIII – LISTE DES CONTACTS ETABLIS .....</b>	<b>169</b>

## **RESUMES DE L'ETUDE**

### **Etat de l'art des technologies de recyclage de certains DEEE : PAM, tubes cathodiques, cartes et composants électroniques**

Réalisée en 2008, cette étude présente les technologies récentes disponibles en Europe, Amérique du Nord et Japon pour le traitement de certains Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques (DEEE) que sont les tubes cathodiques, PAM et cartes électroniques, en vue de favoriser le recyclage de leurs matériaux. Cette étude met en évidence l'industrialisation de nouvelles technologies de démantèlement, de calibrage et de tri des constituants des appareils.

Elle montre que l'application des technologies de tri optique, de séparation des plastiques et des verres issus des tubes cathodiques est à présent entrée en phase industrielle, dans les pays à forte exigence réglementaire.

### **State-of-the-art of innovative technologies of treatment of certain WEEE: Small electrical appliances, cathode ray tubes, printed cards boards**

Realized in 2008, this study presents the most recent technologies available in Europe, North America and Japan for the treatment of some WEEE (CRT, household appliances and Printed Circuit Board) in order to recycle their materials. This study underlines the industrialization of processes of dismantling, calibration and sorting of the components of the apparatuses.

In particular, it shows that optical sorting, technologies of plastics separation, and automatic sorting of glasses from cathode ray tubes are now industrialized, in the countries with strong lawful requirements.

# **I – INTRODUCTION ET PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS**

## **I.1 Contexte**

Le flux de DEEE est en forte croissance : la complexité des éléments qui les composent, la dangerosité ou la toxicité de certaines substances contenues, et l'impact sur l'environnement via l'exploitation de matières premières qui entrent dans leur composition justifient pleinement une gestion spécifique des déchets qui résultent de ces équipements une fois qu'ils sont usagés. De plus, ces déchets représentent une source intéressante de matières premières secondaires.

La directive 2002/96/CE du parlement européen et du conseil du 27 Janvier 2003, dite « directive DEEE », fixe le cadre réglementaire européen selon lequel sont organisés, dans chaque état membre, la collecte sélective et le traitement des déchets d'équipements électriques et électroniques.

La composition des équipements électriques et électroniques est très variable d'un équipement à un autre : métaux (ferreux, non ferreux, rares), matériaux inertes, plastiques, composants spécifiques : CFC et autres gaz à effet de serre, piles et accumulateurs, tubes cathodiques avec luminophores contenant des terres rares, écrans à cristaux liquides, commutateurs au mercure, etc.

Cette composition complexe conduit à une diversité des modes de traitement en fin de vie. Le décret n°2005-829 et son arrêté du 23 novembre relatif aux modalités de traitement des déchets d'équipements électriques et électroniques imposent par ailleurs des objectifs de valorisation et de recyclage élevés. Par ailleurs, la limitation de certaines substances polluantes (arrêté du 25 novembre 2005) conduit à des développements pour trouver des matériaux de substitution et des techniques de détection ou d'extraction de ces polluants afin de recycler la matière.

Pour traiter efficacement ces déchets, de nouvelles technologies se développent au niveau international que ce soit pour le recyclage des composants spécifiques (tels que les cartes électroniques, les tubes cathodiques, les écrans LCD, etc.), pour le recyclage des plastiques et des métaux précieux (caractérisation et tri optique des plastiques, séparation des matériaux par voie mécanique, électrique, magnétique.) ou sur certains flux qui n'étaient pas collectés séparément auparavant tels que les PAM (Petits Appareils en Mélange). Les procédés mis en oeuvre combinent généralement plusieurs technologies. Chaque étape du traitement des DEEE doit être économiquement optimisée pour garantir un coût de traitement le plus faible possible, voire des matières recyclées concurrentielles avec la matière vierge.

## **I.2 Rappel des objectifs de l'étude**

Le résultat de cette étude, sous forme d'état de l'art comprenant notamment des fiches descriptives synthétiques des procédés existants et des indicateurs de performance, répond à plusieurs objectifs de l'ADEME :

- Orienter ses décisions de soutien aux initiatives de recherche et développement des technologies de valorisation des DEEE ; en particulier, celles permettant d'améliorer les performances de recyclage des matériaux de traitement sélectif des composants et substances dangereux ;
- Analyser la valeur des technologies de traitement disponibles en France, dans l'immédiat ou à brève échéance, comparativement à cet état de l'art à l'échelle internationale ;
- Disposer des principaux indicateurs techniques caractérisant les procédés innovants disponibles ou les installations exploitant ces procédés : typologies de flux entrants et de fractions de matériaux séparés, capacités horaires et annuelles, points forts et points faibles ou perfectibles, niveaux ou perspectives d'industrialisations, cartographies de leurs développements.

### I.3 Calendrier, contexte et conjoncture de la réalisation de l'étude

Cette étude a été réalisée au cours des trois premiers trimestres de 2008 et reflète un état des lieux qui correspond :

- en France, au terme des deux premières années de mise en œuvre opérationnelle de la filière DEEE ;
- pour certains pays de l'Union Européenne ou frontaliers ainsi qu'au Japon, de 7 à 10 ans de déploiement d'organisations opérationnelles;
- en Amérique du Nord, à un cadre réglementaire moins contraignant que pour les pays précédemment cités ; exception faite de dispositions sectorielles ou fédérales.

Jusqu'à l'été 2008, le renchérissement de la valeur des matières premières a favorisé le développement des technologies de tri et de préparation au recyclage des matériaux, notamment plastiques, indépendamment des écarts locaux de pression réglementaire.

Depuis, en raison du retournement brutal de la conjoncture économique, le cadre réglementaire avancé de l'Union Européenne, motivé par la protection de l'environnement devrait prendre le relais des critères exclusivement financiers, et confirmer le développement de nouvelles technologies dans les pays de l'Union Européenne. L'organisation récente de la filière DEEE française devient l'un des principaux potentiels de ce développement au sein de l'Union Européenne.

### I.4 Méthodologie de l'étude

Cette étude a été réalisée, à partir de trois axes principaux d'investigations :

- une recherche documentaire portant spécifiquement sur les technologies de recyclage de DEEE ainsi que sur les procédés de tri et de séparation de matériaux en général (solutions mécaniques, chimiques physico-chimiques ou optiques) cf. : sources bibliographiques en p 163;
- des enquêtes auprès de fournisseurs d'équipements (séparation, tri) ;
- des enquêtes et visites d'installations industrialisées et opérationnelles, faisant appel à ces équipements.

Les sources de l'étude et ses informations les plus précises sont donc ici, pour leur grande majorité, des « retours d'expérience » des conditions d'exploitation déjà opérationnelles.

Cette étude n'a pas permis d'identifier des technologies totalement novatrices, mais à contrario, a mis en évidence un processus d'appropriation d'industrialisations, d'assemblages et/ou d'adaptations spécifiques au recyclage des DEEE, de procédés existants. De nombreux procédés (séparation densimétrique, tri optique) trouvent leurs applications au recyclage de matériaux issus d'autres flux, dont les VHU (Véhicules Hors d'Usages).

### I.5 Principales évolutions dans les technologies de séparation préalables au tri des constituants

La finesse du tri (nombre de matériaux homogènes séparés) et l'aptitude des matériaux triés à être directement repris par des recycleurs en sortie des installations de traitement, sont les caractéristiques principales des évolutions les plus récentes. L'hétérogénéité des mélanges issus du broyage de flux tels que le **PAM** nécessite en effet un développement technologique important des

méthodes de séparation des constituants et de tri des matériaux pour atteindre les objectifs de valorisation.

Après une première phase d'extraction manuelle de composants spéciaux et potentiellement dangereux (piles, batteries...), le broyage est un préalable à la mise en œuvre des technologies spécifiques de tri des constituants.

A cette fin, parallèlement à l'utilisation de broyeurs à axe horizontal de type "VHU" de grandes capacités ou de type cisaille rotative, l'évolution technique marquante est le développement de l'utilisation de broyeurs à axe vertical, également désignés "désintégateurs" à chaîne ou à pales métalliques.

Conduit en chambre étanche cylindrique, ce type de broyage caractérise des installations récentes, dédiées au traitement du PAM comme à celui du GEM Froid (pour des capacités de 2 à 10 t/h). Il réalise de fait un "éclatement" des appareils en fractions relativement grossières qui permet un second niveau de prélèvement manuel de composants spéciaux sur les flux sortants. Cette étape est complétée par des opérations de réductions granulométriques par broyeurs à impacts, également désignée broyage différentiel.

En partant de ces technologies de calibrages des fractions de matériaux en mélanges, l'art des exploitants portera entre autres sur l'organisation du passage de ces différentes fractions dans les procédés mécanisés et manuels de tri de leurs constituants, ainsi que sur la définition des tranches granulométriques adaptées aux technologies finales de séparation des non ferreux et des plastiques. Ces derniers faisant principalement appel à des procédés de reconnaissance optiques et/ou électrostatiques (plastiques) ou de flottation (non ferreux et plastiques).

Dans le cas **des tubes cathodiques**, l'objectif du tri est la séparation rigoureuse des deux qualités de verre dalles et cônes. Les évolutions les plus significatives sont ici de deux ordres :

- Filière de traitement basée sur la découpe du tube :

En comparaison à la technologie de découpe au fil chauffant, l'utilisation de procédés de découpe par disque diamanté, rayon laser ou jet d'eau (dans ce dernier cas, breveté mais sans mise en œuvre opérationnelle à ce jour), permet l'augmentation des capacités horaires de séparation dalles-cônes. Ces procédés portent les capacités de découpe à un niveau de 40 à 100 tubes par heure.

- Filière de traitement basée sur le broyage du tube entier :

Les technologies de broyage du tube entier (broyeurs à chaîne ou broyeurs classiques de l'industrie du verre) atteignent des capacités de 800 tubes par heure, indépendamment de la question de la récupération des luminescents. Cette technologie nécessite la mise en œuvre en aval, de procédés de tri optique des broyats.

Dans le cas des **cartes électroniques**, l'introduction de leurs broyats, en mélanges dosés avec des minerais et d'autres déchets métallurgiques, dans des installations hydro et pyrométallurgiques de grandes capacités, reste de loin aujourd'hui, la technologie dominante de valorisation et de récupération des non ferreux et métaux précieux.

Un projet de traitement pyrolytique de flux constitué exclusivement de cartes électroniques est en phase d'étude avancée en France.

Par ailleurs, les broyeurs à impacts (broyages différentiels) offrent une nouvelle potentialité technique de récupération des métaux dans "les cartes pauvres" (en métaux précieux), par exemple issus de téléviseurs.

Atteindre les objectifs de recyclage nécessite aujourd'hui de combiner une pluralité de procédés, en particulier pour le tri des matières plastiques, entre les différents polymères, les thermodurcissables et entre les bromés et non bromés. Cela nécessite également un savoir-faire particulier dans l'organisation du traitement des fractions intermédiaires séparées.

La combinaison de ces procédés permet aujourd'hui de produire à partir de flux aussi hétérogènes que le PAM, entre 20 et jusqu'à 60 fractions distinctes de matériaux (recyclables ou non).

Obtenir ces niveaux de résultats nécessite de concentrer annuellement sur une même installation plusieurs milliers de tonnes de PAM et dans le cas d'unités spécialisées dans le tri de matières plastiques issues de DEEE, jusqu'à 40 000 t/an.

On doit s'attendre par conséquent à une concentration des sites de traitement, soit dédiés au traitement exclusif du PAM intégrant ou externalisant un tri poussé des matières plastiques, soit à ceux combinés du PAM et du GEM Froid (équipements partagés de désintégration en atmosphère étanche), soit encore, utilisant des équipements de traitement et de tri non dédiés aux DEEE, mais exploités par campagnes et selon des procédures spécifiques à ces flux (grandes unités de flottation).

Les technologies de traitement des tubes cathodiques évoluent dans le même sens ; la séparation des verres dalles et cônes tendant de manière croissante à être réalisée à l'extérieur des sites de démantèlement d'écrans, par des installations à grande capacité, préparant ces verres aux spécifications techniques des repreneurs.

## **I.6 Observations sur les lieux de mise en œuvre de l'innovation dans les procédés de séparation et de tri des matériaux**

D'une région du monde à l'autre, le champ des produits ciblés par les réglementations ou leurs modalités d'application, fait apparaître des différences qui ne sont pas sans effet sur le niveau de mise en œuvre de procédés innovant ou sur les flux auxquels ils s'appliquent.

On ne sera pas surpris de constater que les régions du monde où se développent le plus l'innovation technique, sont celles qui ont mis en place des réglementations particulières pour le recyclage des DEEE.

En apportant la garantie des flux collectés sélectivement, en fixant des objectifs de recyclage, mais aussi des impératifs de dépollutions préalables, la pression réglementaire est déterminante dans l'innovation et dans l'industrialisation des filières. On ne sous-estimera pas pour autant l'accélérateur d'initiatives que représente sans conteste la conjoncture mondiale de renchérissement des matières premières.

Ainsi au Japon, la réglementation (datant de 2001) basée sur la responsabilité individuelle des producteurs se traduit par une organisation du traitement par groupe de produits, selon la marque des producteurs. Ceci favorise par exemple, les technologies de reconnaissance des matières plastiques constitutives de tel ou tel modèle d'équipement, dans une perspective de recyclage en boucle fermée.

En Norvège, à l'opposé, la mise en œuvre de la responsabilité des producteurs est mutualisée, sans distinction d'origine ménagère ou professionnelle, ni du caractère historique ou non des appareils ; ce contexte favorise une massification importante des flux collectés en mélanges particulièrement hétérogènes.

Aux Etats-Unis, seule l'élimination des tubes cathodiques fait l'objet d'une réglementation fédérale (datant de 2007). 19 états (représentant la moitié de la population) ont défini, chacun séparément, un cadre réglementaire ; celui-ci le plus souvent centré exclusivement sur l'élimination des écrans et équipements de la bureautique. S'y ajoutent des initiatives volontaires de reprises par quelques grands producteurs de ces mêmes types d'équipements. On relèvera ici l'importance des fondeurs de métaux, comme unités de traitement d'appareils entiers, et le développement de procédé américain de broyage de tubes cathodiques.

Au Canada, la situation se rapproche de celle des Etats-Unis. On notera toutefois la mise en place d'une installation pilote de production de combustible (fuel) à partir de plastiques issus des DEEE.

L'Union Européenne (ainsi que la Suisse et la Norvège, pionnières avec la Belgique, les Pays-Bas et la Suède dans ce domaine), en fixant des objectifs quantifiés de collecte, de recyclage et de valorisation, pour une gamme étendue d'équipements électriques et électroniques, réunit aujourd'hui



les meilleures conditions de développement de technologies innovantes de tri et de valorisation des DEEE.

La mise en œuvre du cadre réglementaire européen, entraîne néanmoins localement certaines différences (suite aux transpositions dans les différents états) dans la définition de la composition des flux à recycler, et par conséquent des adaptations correspondantes de processus de traitement.

Au final, dans le contexte hétérogène des cadres réglementaires mondiaux et des historiques de leurs mises en œuvre, c'est aujourd'hui principalement en Europe, que l'on observe le développement des plus récentes technologies de recyclage du PAM et des tubes cathodiques ; ou pour être plus précis, des technologies de préparation au recyclage des matériaux constitutifs de ces flux d'appareils.

Elles s'appuient sur des équipements de séparation ou de tri mis au point notamment par des firmes, allemandes, japonaises, autrichiennes, suédoises, américaines, norvégiennes ou françaises, qui étendent progressivement leurs débouchés à d'autres régions du monde.

On ne sous-estimera pas pour autant, dans le développement actuel des performances de recyclage, indépendamment de l'acquisition des équipements, toute l'importance du savoir-faire de chaque exploitant, dans la conduite de ses installations.

## II – GUIDE DE LECTURE DU RAPPORT

### II.1 Description du contenu

Ce document est décomposé en trois parties principales, une par flux concerné par cette étude : PAM, tubes cathodiques, cartes électroniques. Une quatrième partie décrit les procédés de tri optique pour lesquelles les applications sont multiples et concernent les 3 flux.

Chaque partie est composée de deux types de fiches techniques

- Les fiches descriptives de procédés (ou fiche fournisseur d'équipement)
- Les fiches descriptives d'installations de traitement

Toutes les fiches sont construites sur le même modèle :

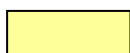
1. Identification et objectif du procédé
2. Opérationnalité, propriété industrielle, perspective de développement
3. Identification du ou des flux entrants
4. Description détaillée du procédé
  - 4.1. Caractéristiques techniques et description du procédé
  - 4.2. Synoptique des flux
  - 4.3. Schéma de principe
5. Indicateurs généraux d'exploitation
6. Observations de synthèse
7. Source, origine des informations, contacts

Les fiches installations comprennent souvent la description d'une ligne complète de traitement, composée de l'articulation de différents procédés. Certaines installations décrites sont composées de procédés qui font l'objet de fiche spécifique, dans ce cas, il faut se reporter à ces dernières pour le détail des caractéristiques techniques.

## II.2 Liste des fiches descriptives

FICHES TECHNIQUES DE DESCRIPTION DES PROCEDES ET DES INSTALLATIONS DE TRAITEMENT DES CRT			
CRT 1	CRT HEAVEN (UK)	Exploitant	21
CRT 2	MRT (Suède)	Fournisseur	27
CRT 3	REMONDIS (All.)	Exploitant	34
CRT 4	MBM (France - 72)	Exploitant	38
CRT 5	AGRO DRISA (All.)	Exploitant	45
CRT 6	ANDELA (USA)	Fournisseur	51
CRT 7	REGAIN (France - 58)	Exploitant	57
CRT 8	SWISSGLAS (Suisse)	Exploitant	63
CRT 9	SIMS (NL)	Exploitant	69
FICHES TECHNIQUES DE DESCRIPTION DES PROCEDES ET DES INSTALLATIONS DE TRAITEMENT DU PAM			
PAM 1	ECOTRI (France-29)	Exploitant	79
PAM 2	TRIADÉ (France-49)	Exploitant	86
PAM 3	REMONDIS (All.)	Exploitant	92
PAM 4	GALLOO (Bel, France)	Exploitant	98
PAM 5	SIMS (NL)	Exploitant	107
PAM 6	MBA POLYMERS (Autriche)	Exploitant	113
PAM 7	MEWA (All.)	Fournisseur	117
PAM 8	BHS (All.)	Fournisseur	122
PAM 9	FINAXO (France-77)	Fournisseur	127
PAM 10	ALPHAKAT (All.)	Fournisseur	134
FICHES TECHNIQUES DE DESCRIPTION DES PROCEDES ET DES INSTALLATIONS DE TRAITEMENT DES CARTES ELECTRONIQUES			
CARTE 1	UMICORE	Exploitant	142
CARTE 2	TERRA NOVA	Exploitant	149
FICHES TECHNIQUES DE DESCRIPTION DES PROCEDES NON SPECIFIQUES			
OPT 1	PELLENC ST (France)	Fournisseur	154
OPT 2	TITECH (Norvège)	Fournisseur	160

## II.3 Légende des synoptiques de flux



Opération manuelle = jaune + trait continu



Opération automatisée = bleu + trait pointillé

*En italique : fraction intermédiaire*

Au bout des flèches à droite du schéma : fractions sortantes du procédé

## II.4 Abréviations utilisées

**CRT** : Cathod Ray Tubes (tubes à rayons cathodiques)

**DEEE** : Déchets d'équipements électriques et électroniques

**GEM F** : Gros appareils ménagers de réfrigération ou de climatisation

**MNF** : Métaux non-ferreux

**PAM** : Petits Appareils en Mélange

**RBA** : Résidu de Broyage Automobile

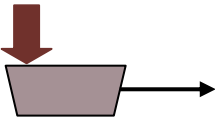

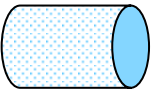
**VHU** : Véhicule hors d'usage

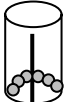
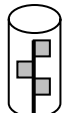
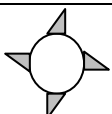
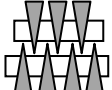
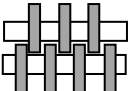

## II.5 Indices de recyclabilité des fractions sortantes


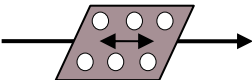
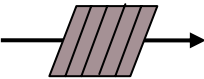
Les indices utilisés dans les tableaux de bilan-matières présentés en point 5 de chaque fiche (Indicateurs généraux d'exploitation) sont :

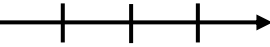


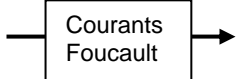

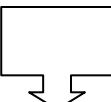
- **Indice 1** : la fraction est reprise directement par la technologie de recyclage (ex : acier -> aciérie, verre dalle -> production de nouveaux tubes cathodiques)
- **Indice 2** : la fraction subit un traitement intermédiaire qui permet le recyclage de la quasi-totalité de la masse de cette fraction
- **Indice 3** : la fraction subit un traitement intermédiaire entraînant la production de fractions non recyclables

## II.6 Légende des schémas de principe, principe de fonctionnement des procédés

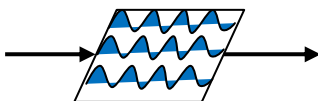
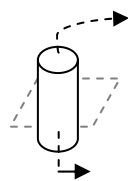
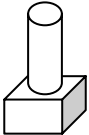
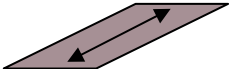
ELEMENTS DIVERS			
Type de procédé	Exemple de fabricants	Légende	Principe de fonctionnement
Trémie d'alimentation	RosRoca, Vauché, Bollegraaf...		Alimentée à l'aide d'un engin, la trémie va permettre une alimentation mécanique régulière du procédé de traitement
Convoyeur	RosRoca, Vauché, Bollegraaf...		Eléments de transition permettant le transfert mécanisé des matières d'un équipement à l'autre
Trommel de lavage	NC		Ces trommels sont utilisés pour le nettoyage de résidus de broyage avant flottation

LES BROYEURS / DESINTEGRATEURS Objectif : Réduire la granulométrie, décomposer les objets			
Type de procédé	Exemple de fabricants	Légende	Principe de fonctionnement
Broyeur à fléaux / désintégrateur	Mewa	 à chaînes	Eclatement des produits par force centrifuge selon axe vertical dans une chambre de broyage close
	BHS, Kubota	 à pales métalliques ou autres	Eclatement des produits par force centrifuge selon axe vertical dans une chambre de broyage close
Granulateur	Mewa, Artech		Réduction granulométrique (fragmentation) des matières à une maille donnée selon un axe horizontal
Cisaille rotative, broyeur à couteaux	P.à B., SID, Artech		Ouverture des produits par découpe rotative selon un axe horizontal
Broyeur à marteaux	NC		Compression / « pastillage » des matières par mouvement rotatif selon un axe horizontal
Broyeur à impact / différentiel	BHS		Réduction des matières cassantes et dures et transformation en billes des matières métalliques

<b>LES CRIBLES</b> <b>Objectif : Séparer des éléments de taille et de forme différente</b>			
Type de procédé	Exemple de fabricants	Légende	Principe de fonctionnement
Trommel (crible cylindrique)	Vauché, Horstmann		Permet le tri granulométrique par passage de la fraction de faible granulométrie au travers des mailles rondes ou carrées
Table vibrante (crible plan)	Ros Roca		Permet le tri granulométrique par passage de la fraction de faible granulométrie au travers des mailles de la table. La vibration permet d'améliorer le criblage
Autre crible utilisé pour les DEEE	NC		Autre type de crible non décrit par ailleurs

<b>PROCEDE DE TRI</b> <b>Objectif : Séparer des éléments selon leur nature</b>			
Type de procédé	Exemple de fabricants	Légende	Principe de fonctionnement
Ligne de tri	Ros Roca		Convoyeur aménagé (le plus souvent en cabine) équipé de goulottes de tri permettant le tri manuel d'éléments de nature différente
Overband	Raoul Lenoir, Steinert		Permet la séparation des éléments selon leur réaction à une force magnétique (tri des éléments ferreux)
Magnétisation forte (ex : séparation inox)	Raoul Lenoir, Steinert		Permet la séparation des éléments selon leur réaction à une force magnétique de forte intensité (ex : tri des inox faiblement magnétique)
Courants de Foucault	Raoul Lenoir, Metso		Permet la séparation des éléments selon leur réaction à la rotation d'une roue polaire (rotor garni d'aimants permanents à haut champ et à pôles alternés (succession N-S-N-S-...))
Tri optique	Pellenc, Titech...		Le tri optique regroupe les technologies de reconnaissance par infra-rouge, rayonnement visible et rayon X. Après reconnaissance des buses d'air comprimé permettent le tri des éléments
Système d'aspiration de poussière	NC		Permet de limiter les émissions de poussières lors d'étape de broyage, découpe, criblage, lavage à sec...

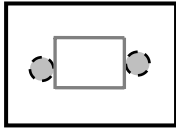
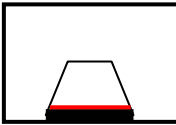

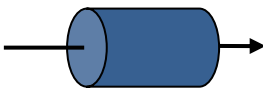

**SEPARATEURS DENSIMETRIQUES**  
**Objectif : Séparer des éléments de densité différente**

Type de procédé	Exemple de fabricants	Légende	Principe de fonctionnement
Table densimétrique « voie humide »	NC		Séparation densimétrique de type flottaison (1) ou flottation (2)
Séparation par gravité/aspiration « voie sèche »	Trennso Technik		Séparation à sec de fractions légères (aspirées), de fractions lourdes (convoyées vers le bas)
Cyclone d'aspiration (séparateur aéraulique)	Herbold		Aspiration verticale par courant d'air de fractions légères
Tri balistique ou gravitaire	Vauché		Permet une séparation des éléments selon leur densité par vibration d'un plan incliné

(1) Flottaison : Séparation des objets en fonction de leur aptitude à flotter ou à couler dans un liquide sous l'effet de la force de gravité normale et de la poussée d'Archimède

(2) Flottation : Séparation des objets suivant leur aptitude à flotter ou à couler dans un liquide et leur mouillabilité par un liquide

**PROCEDE DE TRAITEMENT DE TUBES CATHODIQUES**  
**Objectif : Séparer des éléments de densité différente**

Type de procédé	Exemple de fabricants	Légende	Principe de fonctionnement
Procédé de découpe des CRT par disque diamanté	CRT Heaven, MRT		Permet la séparation du verre cône et du verre dalle grâce à l'action de deux scies circulaires diamantées
Procédé de découpe des CRT par fil chauffant	MBM, MRT		Permet la séparation du verre cône et du verre dalle grâce à l'action d'un fil chauffant
Bol vibrant de lavage du verre	Regain		Permet le nettoyage des verres de CRT grâce à l'abrasion assurée par la vibration du bol
Trommel ou toupies de lavage	NC		Procédé utilisé pour le nettoyage du verre (avec ou sans eau), assurant une abrasion des éléments
Big-bag de filtration	NC		Big-bag utilisé pour la filtration des poudres luminescentes et des poudres de verre



## III – PROCEDES DE TRAITEMENT DE TUBES CATHODIQUES

### III.1 Synthèse des filières de traitement

Le tube cathodique est la partie interne de l'écran, constituée d'un canon à électron et d'un tube en verre à l'intérieur duquel se trouve un masque métallique. Ils sont issus du démantèlement des écrans (téléviseurs et moniteurs), qui est réalisé manuellement, puis sont traités spécifiquement.

Le tube cathodique est composé de deux qualités de verre :

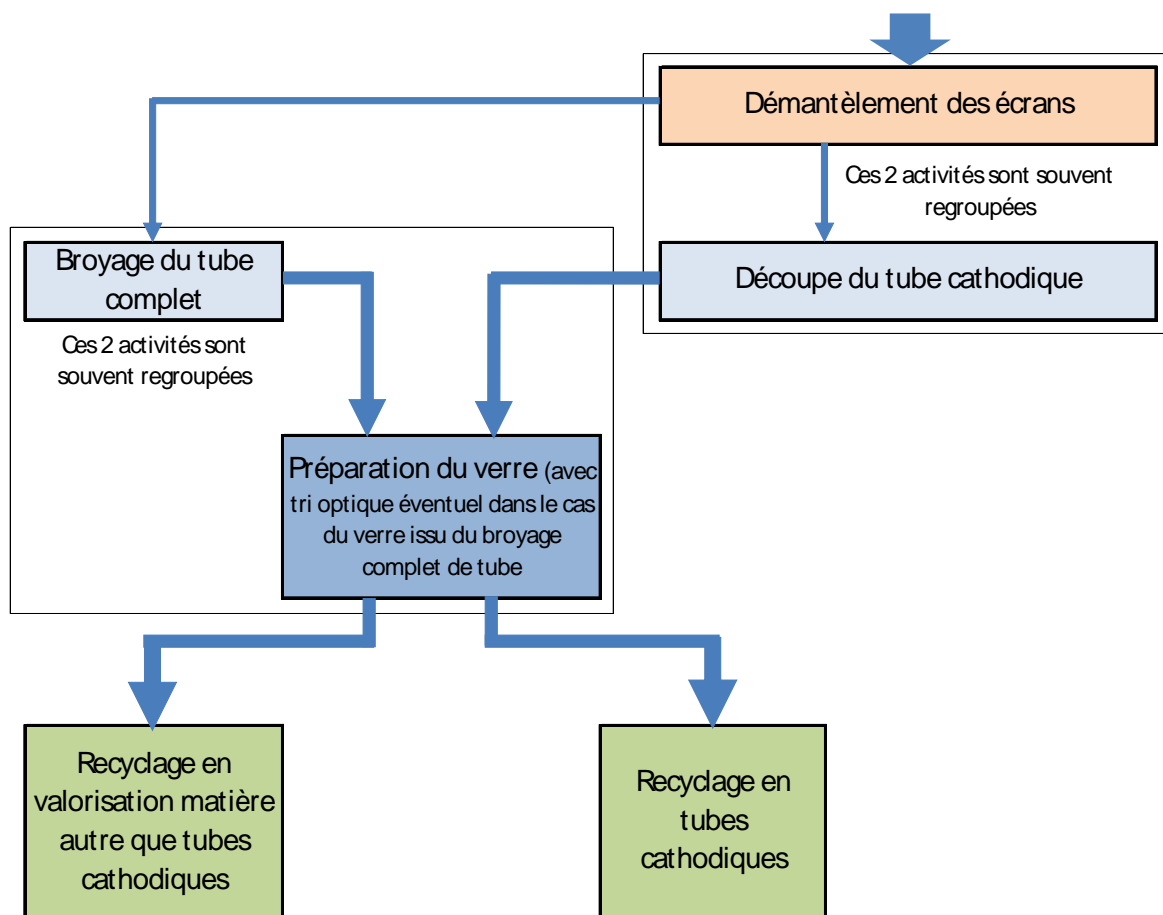
- la dalle qui représente environ 2/3 du poids du tube et qui contient du baryum
- le cône qui représente environ 1/3 du poids du tube et qui contient 20% de plomb

La technologie de production d'images par tube à rayon cathodique caractérise aujourd'hui la quasi-totalité des écrans arrivant en fin de vie ; le composant « tube cathodique » pouvant représenter jusqu'à 60% du poids des écrans.

Le recyclage des verres issus de tubes cathodique impose l'extraction des poudres luminescentes fixées sur la partie dalle du tube. Dans tous les cas de recyclage des verres en boucle fermée et dans la plupart de ceux envisagés en boucle ouverte, la séparation entre les verres au baryum issu de la partie dalle et des verres à forte teneur en plomb du cône, est un autre impératif.

Deux modèles technologiques présentés ci-après et répondant à ces impératifs se dégagent de cette étude :

- une filière de traitement basée sur la découpe du tube en deux qualités de verre (dalle et cône) après démantèlement puis la préparation de verre (lavage sec ou humide et préparation granulométrique) pour leur recyclage ;
- une filière de traitement basée sur un broyage du tube entier, sa préparation (lavage sec ou humide et préparation granulométrique) et la séparation mécanisée par tri optique des qualités de verre.



Les filières de valorisation du verre sont :

- la « boucle fermée » avec réutilisation du verre pour la fabrication de nouveau tubes cathodiques, qui reste le principal débouché des technologies exploitées en Europe et en Asie ; mais débouché en sursis du fait du ralentissement important de la fabrication d'écrans à tubes cathodiques au profit des écrans plats (LCD et Plasma). Cette filière accepte distinctement du verre au baryum et du verre au plomb ;
- la « boucle ouverte » avec la réutilisation du verre pour des applications matières autres que la fabrication de tubes cathodiques. Aujourd'hui, ces filières sont peu nombreuses bien que de nombreuses expérimentations soient actuellement en cours sur des applications comme la fibre de verre, la céramique, l'intégration dans des bétons, le verre de sablage...

### III.2 Technologies de traitement des tubes cathodiques:

Acteur	Fournisseur d'équipement ou Installation	Fractions entrantes	Technologie	Extraction poudres lumineuses	Fractions sortantes	Recyclabilité / Débouché du verre	Capacité de traitement déclarée	Coûts d'investissement	N° de fiche	
Procédés d'ouverture des tubes cathodiques et séparation des verres dalle et cône										
CRT Heaven (GB)	Fournisseur d'équipement	Tubes cathodiques intègres	Découpe par disques diamantés	Manuelle à l'aspirateur	Cône entier Dalle entière Métaux Poudres (partiellement)	Boucle fermée et boucle ouverte : Nécessite une étape de préparation préalable au recyclage	80 tubes/heure	250.000 à 300.000€	CRT 1	
MRT (Suède)	Fournisseur d'équipement		Découpe par disques diamantés				jusqu'à 70 tubes/heure	à partir de 350.000€	CRT 2	
			Découpe par fil chauffant				jusqu'à 40 tubes/heure	à partir de 110.000€		
Eco-Synthèse (France, 63)	Installation		Découpe par disques diamantés				80 tubes/heure	NC	/	
Remondis - Procédé Uniprac (Allemagne)	Installation		Découpe par disques diamantés				70 tubes /heure	NC	CRT 3	
MBM (Adaptation procédé Vicor) (France 72)	Installation		Découpe par fil chauffant				40 tubes/heure	65.000€	CRT 4	
Agro Drisa (Procédé Vicor) (Allemagne)	Installation		Découpe par fil chauffant				30 tubes/heure	NC	CRT 5	
Proventia (Finlande)	Fournisseur d'équipement		Découpe au laser				NC	NC	/	
Procédés de broyage du tube complet et préparation du verre										
ANDELA (USA)	Fournisseur d'équipement	Tubes cathodiques intègres ou cassés	Broyage du tube complet et préparation granulométrique	Par friction des éléments sous atmosphère en dépression	Verre en mélange lavé-poli <sup>(1)</sup> métaux Poudres+poussières de verre	Boucle fermée : nécessite une étape de séparation préalable des qualités de verre cône et dalle  Boucle ouverte : possible mais sans grande valeur ajouté si absence de séparation des qualités de verre	10 tonnes/heure	450.000€	CRT 6	
PATE (F)	Installation	Tubes cathodiques intègres ou cassés	Broyage du tube complet, préparation granulométrique et séparation par tri optique	Par friction des éléments, par voie sèche	Verre cône lavé-poli <sup>(1)</sup>	Recyclable en boucle ouverte et fermée	NC	NC	/	
					Verre dalle lavé-poli <sup>(1)</sup>					
					Fines de verre cône					
					Fines de verre dalle					
SIMS (NL)	Installation	Tubes cathodiques intègres ou cassés	Broyage du tube complet, préparation granulométrique et séparation par tri optique	Par friction des éléments, par voie sèche	Poudres+poussières de verre	Mise en décharge	NC	NC	CRT 9	
					Verre cône poli <sup>(1)</sup>	Recyclable en boucle ouverte et fermée				
					Verre dalle poli <sup>(1)</sup>					
					Fines de verre mixte					
SWISS GLAS (Suisse)	Installation	Tubes cathodiques intègres ou cassés	Broyage du tube complet, préparation granulométrique et séparation par tri optique	Par friction des éléments et nettoyage à l'eau	Poudres+poussières de verre	Mise en décharge	NC	NC	CRT 8	
					Verre cône lavé-poli <sup>(1)</sup>	Recyclable en boucle ouverte et fermée				
					Verre dalle lavé-poli <sup>(1)</sup>					
					Fines de verre mixte					
					boues de lavage	Mise en décharge				

Acteur	Fournisseur d'équipement ou Installation	Fractions entrantes	Technologie	Extraction poudres lumineuses	Fractions sortantes	Recyclabilité / Débouché du verre	Capacité de traitement déclarée	Coûts d'investissement	N° de fiche
Procédés de préparation du verre pour recyclage									
MBM (France - 72)	Installation	Verre cône ou verre dalle préalablement séparés	Broyage abrasif et préparation granulométrique	Par friction des éléments sous atmosphère en dépression	Verre cône lavé-poli <sup>(1)</sup>	Recyclable en boucle ouverte et fermée	3,5 tonnes/heure	250.000€	CRT 4
					Verre dalle lavé-poli <sup>(1)</sup>				
					Fines de verre cône				
					Fines de verre dalle				
					Poudres+poussières de verre	Mise en décharge			
Agro Drisa (Allemagne)	Installation	Verre cône ou verre dalle préalablement séparés	Concassage et lavage humide	Par friction des éléments et nettoyage à l'eau	Verre cône lavé-poli <sup>(1)</sup>	Recyclable du verre en boucle fermé	2 tonnes/heure	NC	CRT 5
					Verre dalle lavé-poli <sup>(1)</sup>				
					Boues de fines VC	Recyclage en fonderie de plomb			
					Boues de fines VD+poudres	Mise en décharge			
Regain (France - 58)	Installation	Verre en mélange (potentiellement possible de traiter du verre séparé)	Lavage humide en bol vibrant	Par friction des éléments et nettoyage en solution	Verre en mélange lavé-poli <sup>(1)</sup>	Recyclage en verre de sablage Boucle fermée : nécessite une étape de séparation préalable des qualités de verre cône et dalle	1 tonne/heure	150.000€	CRT 7
					Fines de verre				
					Boues de fines de verre+poudres	Mise en décharge			
Procédés de tri des verres dalle et cône									
TiTech (Norvège)	Equipementier	Mélange 15-40mm de verre de CRT lavé poli <sup>(1)</sup>	Tri optique par reconnaissance rayon X	Sans objet	Verre cône	Valorisation possible en boucle fermée ou boucle ouverte	4 à 14tonnes/h en fonction de la largeur de travail	180.000 à 280.000€	OPT 2
					Verre dalle				

(1) : Les procédés de broyage, concassage, lavage ont un effet d'abrasion et de polissage permettant le retrait des couches protectrice présente sur le verre (graphite et oxyde métallique). Cette étape est nécessaire pour le recyclage du verre en boucle fermée ou ouverte

### III.3 Fiches descriptives

Ci-après sont présentées les 9 fiches descriptives de procédés de traitement de TUBES CATHODIQUES.

## FICHE DESCRIPTIVE DE PROCEDE CRT n°1

**TYPE DE FLUX : TUBES CATHODIQUES**

**TYPE DE PROCEDE : Découpe et nettoyage de tubes cathodiques**

**NOM DE L'ENTREPRISE : CRT Heaven – Somerset, Royaume-Uni**

**CONTACT : David Harris – Managing Director**

### 1. Identification et objectif du procédé

CRT Heaven Ltd est une jeune société anglaise qui conçoit et produit des procédés de découpe et de nettoyage des tubes cathodiques :

- ⇒ Le procédé CRT Angel de découpe de la dalle et du cône par disques diamantés dont fait l'objet cette fiche ;
- ⇒ Le procédé CRT Glass Devil de nettoyage du verre (cône et dalle) permettant d'obtenir un produit qui serait directement recyclable par l'industrie verrière. Aucun élément technique sur ce procédé n'est aujourd'hui disponible (Procédé confidentiel en cours de développement).

La société commercialise également des postes de démantèlement d'écrans et des convoyeurs adaptés aux écrans et au verre.

### 2. Opérationnalité, propriété industrielle, perspective de développement

Le procédé CRT Angel et le logiciel permettant le fonctionnement de l'unité sont protégés par un brevet.

A ce jour, 5 machines sont opérationnelles, 2 au Royaume Uni et 3 aux Etats-Unis. CRT Heaven indique que des contacts commerciaux sont en cours dans l'ensemble des pays européens.

Entre le premier et le dernier modèle vendu, le procédé a été amélioré, en particulier concernant l'aspiration des poussières et la protection des opérateurs. CRT Heaven indique que du fait de la maîtrise de la fabrication, il est possible de personnaliser le procédé en fonction de la demande.

Le développement du procédé CRT Glass Devil vient d'être finalisé, aucune machine n'a pour l'instant été commercialisée.

### 2. Identification du ou des flux entrants

Le procédé d'ouverture des tubes permet le traitement des tubes cathodiques nus dont la diagonale est comprise entre 8 et 42 pouces (20 à 107 cm).

Les tubes peuvent être traités s'ils sont cassés au niveau du cône, mais la dalle doit absolument être intègre afin d'assurer la fixation du tube.

### **3. Description détaillée du procédé**

#### **4.1. Caractéristiques techniques et description de procédé**

##### **Principe de fonctionnement :**

Le tube nu entre dans l'unité par le biais d'un convoyeur latéral et est ensuite positionné sur une ventouse. La dalle doit être intègre afin que le tube ne bouge pas pendant l'opération. Une fois le tube en place, l'opérateur déclenche l'opération à l'aide d'une commande : les portes de l'unité se ferment et le vide est fait au niveau de la ventouse permettant sa fixation.

La hauteur de découpe est déterminée par une mesure laser et la largeur du tube par deux bras mécaniques. Après la mesure, les disques entament la découpe sur la largeur, puis sur la longueur après rotation d'un quart de tour et nouvelle mesure.

Au cours de la découpe, l'unité complètement close est en dépression afin d'aspirer l'ensemble des poussières émises.

Une fois cette opération terminée, les portes s'ouvrent à nouveau et le tube (maintenant en 2 parties) est dirigé manuellement vers le convoyeur de sortie. A noter que l'ensemble du plan de travail comprend un système de billes permettant le déplacement sans effort des tubes.

L'opérateur peut recommencer l'opération.

Pendant ce temps, le tube découpé arrive au niveau d'un second poste de travail non clos mais sous hôte aspirante où l'opérateur sépare le cône de la dalle et aspire à l'aide d'une brosse aspirante les poudres lumineuses présentes sur la dalle.

##### **Caractéristiques techniques :**

Le procédé est conduit avec le logiciel *Parker Iqan Programmable Logic Control (PLC)* qui permet de garder en mémoire l'historique des opérations :

- la taille de tous les tubes traités ;
- la durée de découpe de chaque tube ;
- la durée de chargement par l'opérateur entre les cycles de découpe

Ces données permettent une maîtrise de la production.

A partir de ce logiciel, d'une webcam placée dans la chambre de découpe et d'une connexion internet, la société propose un service de télémaintenance du procédé.

Le procédé est modulaire, livrable en container.

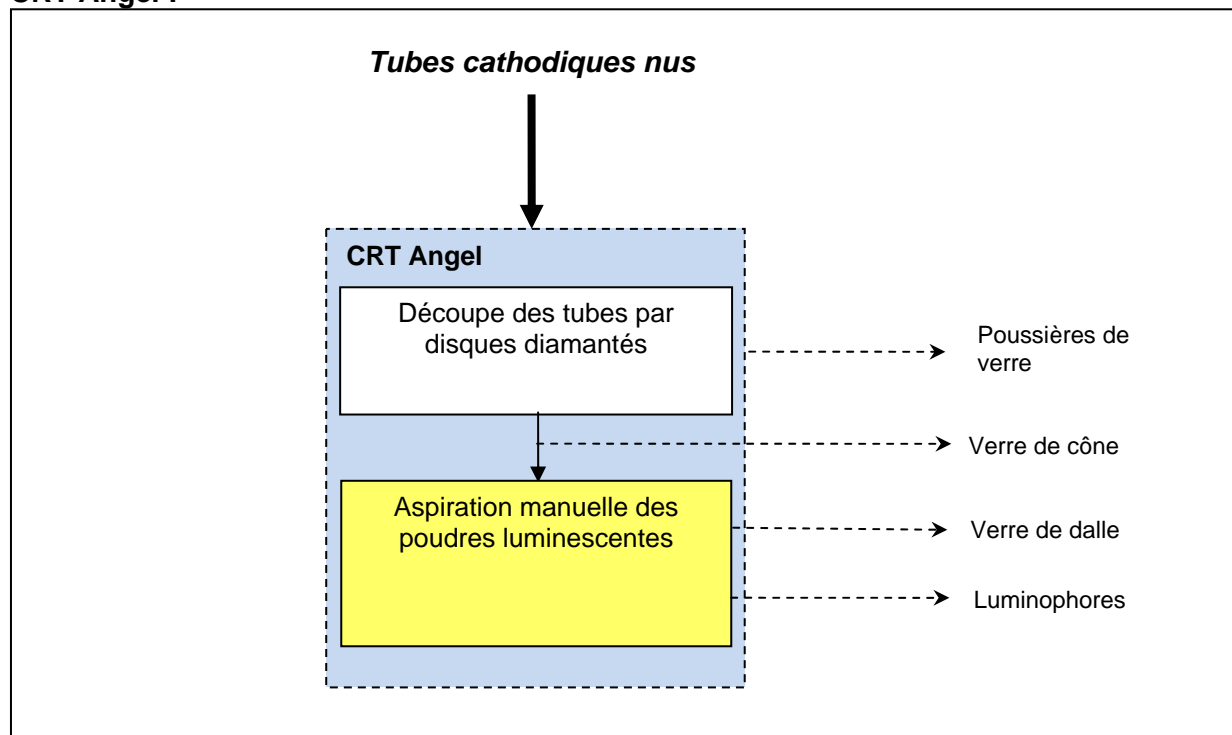
Dimensions une fois installé : 5,95m x 4,5m x 2,5m (L x l x h)

Système de filtration des poussières : filtre 3 µm (99.9% d'efficacité déclarée)

Intensité électrique de fonctionnement : 13 ampères

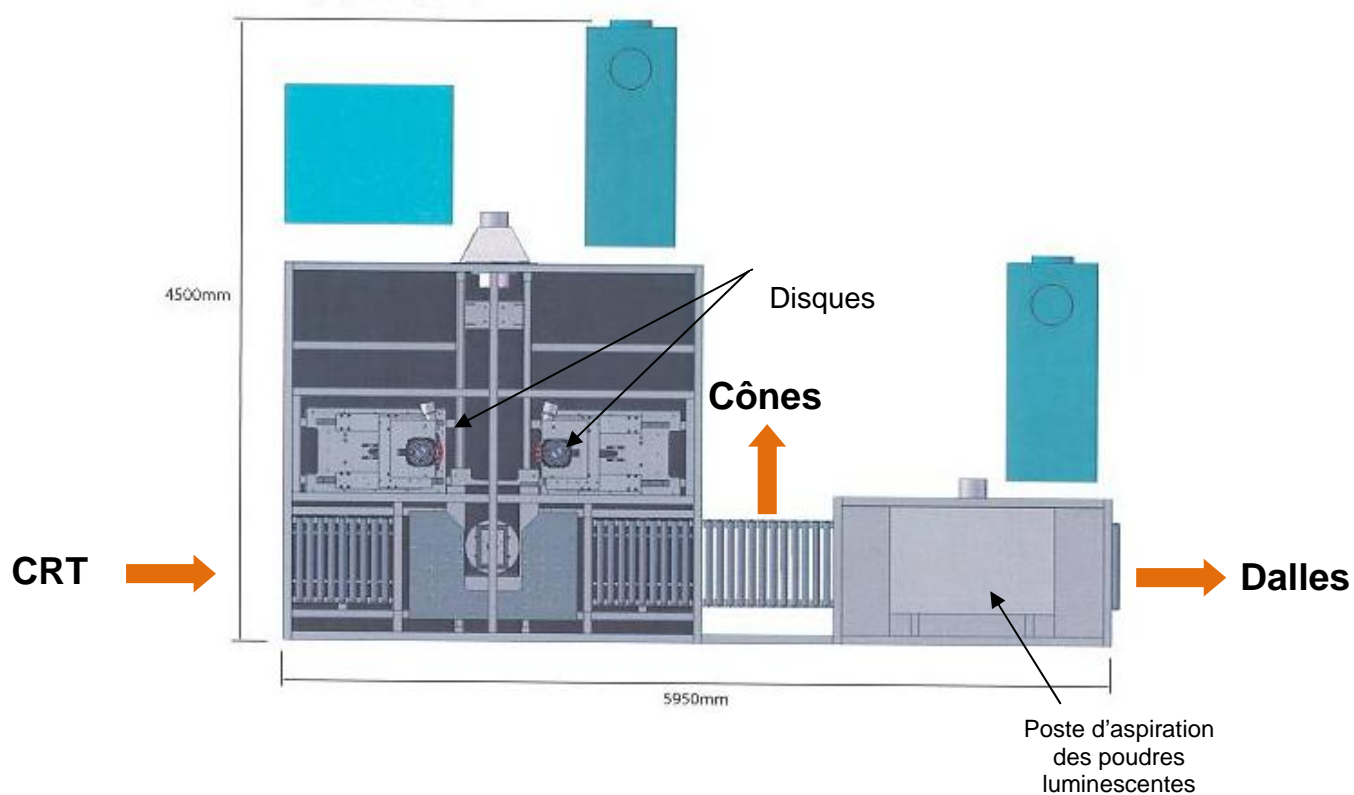
## 4.2. Synoptique des flux

### CRT Angel :

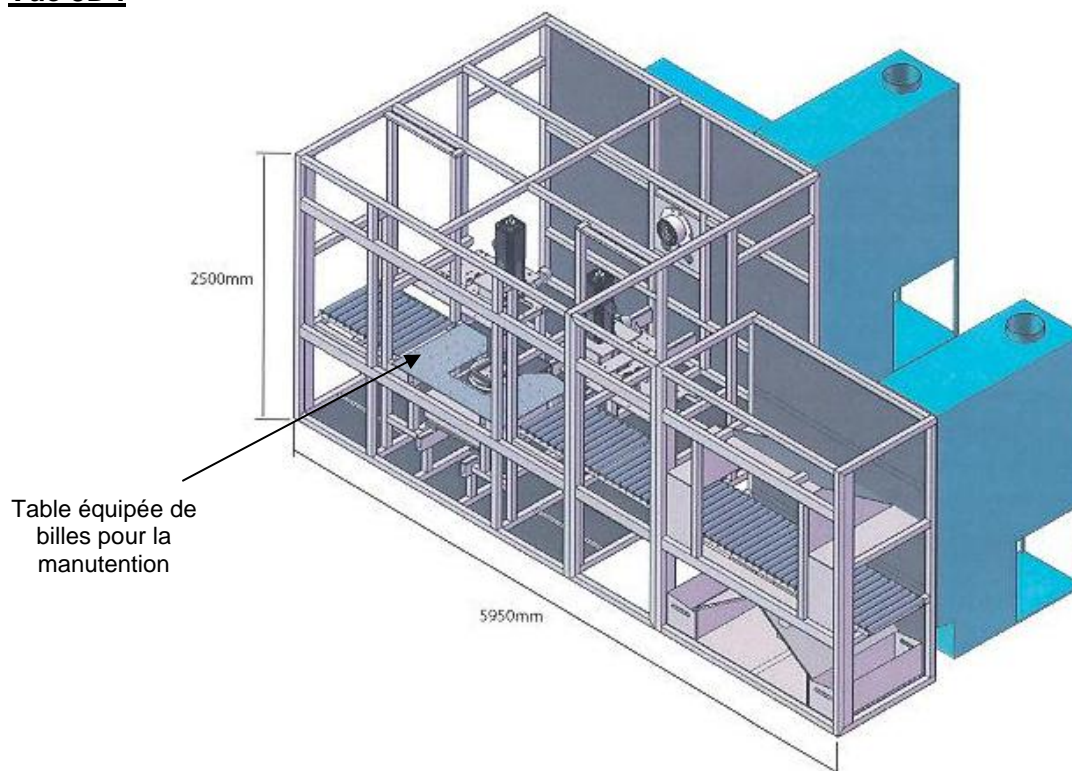


#### 4.3. Schéma de principe de l'unité de traitement (Source CRT Heaven)

##### Vue de dessus :



##### Vue 3D :





## 5. Indicateurs généraux d'exploitation

- Nombre et nature des fractions sortantes

Le CRT Angel permet l'obtention des 6 fractions ci-dessous (point suivant).

- Indice de recyclabilité des fractions sortantes

Fractions séparées de tubes cathodiques	% poids entrants	Technologie filière repreneuse	Indice de recyclabilité
Bande anti-implosion	10%	Filières métaux	2
Inserts métalliques			
Masque			
Verre cône	30%	Nettoyage abrasif voie sèche ou humide	2
Verre dalle	60%		2
Fines de verre et poudres luminescentes	0,50%	Enfouissement	3

Le verre de cône obtenu n'est pas directement valorisable et doit être débarrassé de ses couches de protection (graphite et oxyde) avant d'être recyclable en boucle fermée ou ouverte.

Le procédé CRT Glass Devil permet en théorie, par broyage et abrasion des morceaux les uns contre les autres, d'obtenir à partir de ces fractions des qualités de verre aptes au recyclage.

- Taux et nature des fractions polluantes extraites (mentionnées dans la directive DEEE)

Les poudres luminescentes sont extraites par aspiration et l'ensemble des poussières de plomb émises pendant la découpe sont contrôlées du fait d'un système clos en dépression.

La société indique que des mesures de concentration de plomb contenues dans l'atmosphère de travail sont en cours au Etats-Unis.

- Capacité, productivité du procédé

Le cycle de découpe varie de 25 à 35 secondes en fonction de la taille du tube, les temps de chargement, déchargement par l'opérateur sont évalués de 6 à 8 secondes.

Le rendement horaire annoncé est de 80 tubes/heures pour une qualité mixte de tubes (issus de TV de différente taille et de moniteurs) et de 100 tubes/heures pour des CRT issus uniquement de moniteurs, avec deux opérateurs.

## **6. Observations de synthèse (points forts, points faibles, limites, obstacles à lever)**

### **Points forts**

- Capacité de traitement élevée par rapport aux autres systèmes de découpe des tubes cathodiques
- Manutention des tubes facilitée
- Protection des opérateurs vis-à-vis du plomb en phase de découpe des tubes
- Traitement d'une large gamme de taille d'écrans

### **Points faibles**

- Efficacité de l'aspiration des luminophores conduite manuellement
- Coût des disques à changer tous les mois (pour une utilisation en 1 poste de 7h/jour)
- Ne traite pas les tubes cassés

### **Impacts environnementaux**

- Efficacité de l'aspiration des luminophores conduite manuellement

## **7. Source, origine des informations, contacts**

David Harris, Managing Director CRT Heaven

Lothaire de Heeckeren, RosRoca, Représentant France CRT Heaven

Visite de l'usine de production et du Hall d'essai le 27 mai 2008

## FICHE DESCRIPTIVE DE PROCEDE CRT n°2

**TYPE DE FLUX : TUBES CATHODIQUES**

**TYPE DE PROCEDE : Découpe et nettoyage de tubes cathodiques**

**NOM DE L'ENTREPRISE : MRT System**

**CONTACT : Philippe Menudier – Commercial France**

### 1. Identification et objectif du procédé

MRT System est une jeune société suédoise qui conçoit et produit principalement des procédés de traitement et de recyclage de déchets mercuriels (piles et lampes à décharges)

Par ailleurs, elle propose deux technologies de traitement des tubes cathodiques :

- un procédé à « haute capacité » de découpe à disques diamantés ;
- un procédé de moindre capacité de découpe par fil chauffant.

### 2. Opérationnalité, propriété industrielle, perspective de développement

4 unités de découpe MRT ont à ce jour été commercialisées en Europe (aucune en France pour l'instant).

### 3. Identification du ou des flux entrants

Les deux procédés d'ouverture des tubes permettent le traitement des tubes cathodiques nus dont la diagonale est comprise entre 14 et 32 pouces. MRT propose une version « manuelle » du système à fil chauffant (l'opérateur met lui-même en place le fil) qui permettrait la découpe de tube dont la taille varie entre 8 et 40 pouces.

Les tubes ne peuvent être traités que s'ils sont parfaitement intègres afin d'assurer leur fixation au moment de la découpe.

Les tubes doivent être présentés nus, débarrassés des bandes adhésives (silicone) et bandes anti-implosion.

## **4. Description détaillée du procédé**

### **4.1. Caractéristiques techniques et description de procédé**

#### **Principe de fonctionnement :**

Système à disques diamantés : Deux mesures sont réalisées par cellule photosensible pour déterminer la hauteur de découpe et la taille des tubes.

Le tube est positionné dans une enceinte close sous aspiration et est découpé par 4 têtes de coupe circulaire (disques diamantés). Le cône est séparé de la dalle par un système de préhension automatisé et déchargé vers le container dédié.

Système à fil chauffant : MRT propose deux systèmes, un système où l'opérateur dispose lui-même le fil chauffant autour du tube et un système où la mise en place est automatique. Ce système a l'avantage d'offrir une gamme plus large de taille de tube pouvant être traité (8 à 40 pouces).

Un courant électrique est envoyé dans le fil métallique qui chauffe et entraîne une découpe thermique du tube. Le cône et la dalle doivent être séparés manuellement.

Une fois les découpes réalisées (selon l'un des deux systèmes), le retrait des poudres luminescentes est réalisé avec une unité d'aspiration manuelle.

#### **Caractéristiques techniques :**

##### **Système à disque diamanté :**

Energie requise :

- Branchement électrique : 400 Volts, 50 Hz
- Puissance électrique : 20 kW
- Air comprimé : 500l/min, pression de fourniture : 6 bars, avec point de rosée à 3°C.
- Branchement ½ pouce

Température de fonctionnement : +10°C à +35°C

Taille de l'équipement : configuration standard entre le point d'entrée et de sortie (la longueur et la largeur peuvent varier selon les spécifications propre à chaque client / configuration.

- Longueur : 12000 mm
- Largeur : 5000 mm
- Hauteur : 4000 mm

Principaux composants :

- station de préparation pour retirer les autocollants
- station pour retirer la poudre luminescente, séparer les masques et retirer les agrafes
- tapis convoyeur d'alimentation du système de découpe
- tapis pour évacuation des écrans
- unité de reconnaissance laser (mesure de hauteur du pavé)
- station de découpe à 4 têtes de scies circulaires diamant
- pompe aspirante
- unité d'aspiration (ventilateur, cyclone, filtre à poussière)
- système de détection permettant l'ajustement en hauteur pour positionnement automatique de la tête de découpe

### Système à fil chauffant :

Energie nécessaire :

- Raccordement électrique : 50Hz 400V
- Consommation électrique : 10 kW
- Air comprimé : 400 l /min, pression requise : 6 bars

Dimensions :

- Longueur : 2000 mm
- Largeur : 1500 mm
- Hauteur : 1800 mm

Température de fonctionnement : +10°C à +50° C

Niveau de bruit en fonctionnement : 62 dB

Principaux composants :

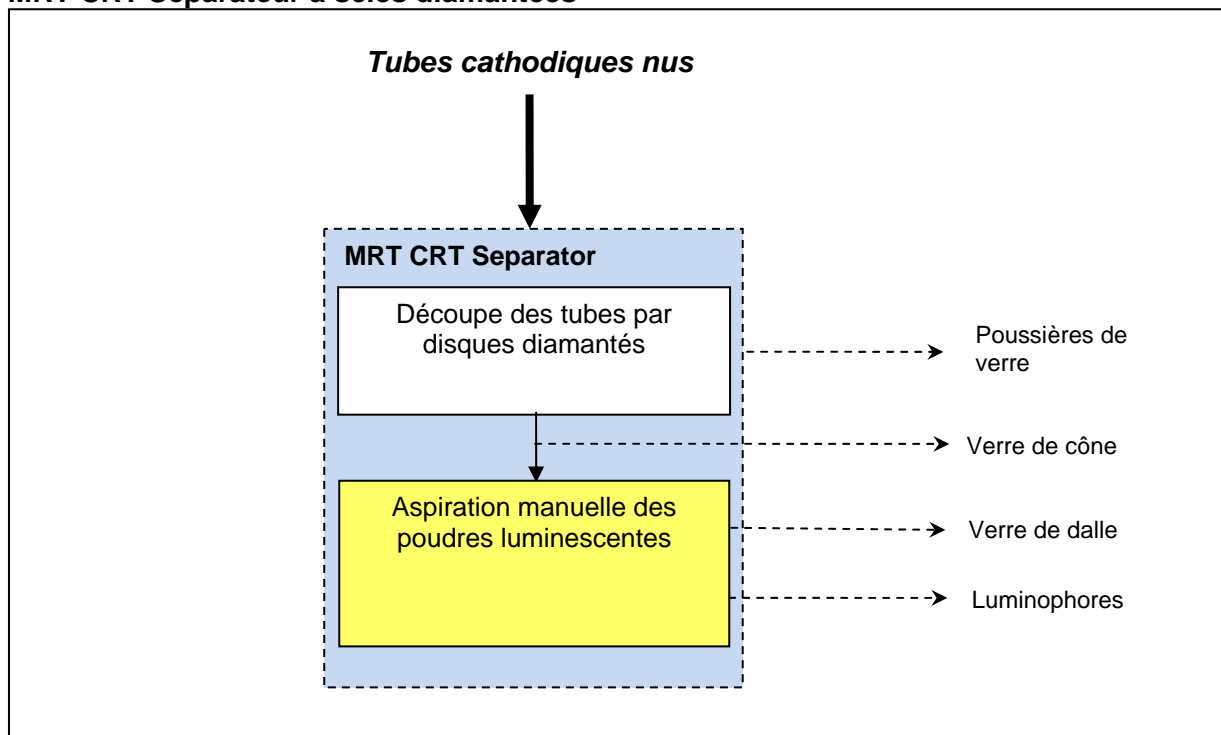
- Capot de protection avec lumière intégrée, électricité et raccord pneumatique
- Armoire électrique avec système de contrôle PLC
- Élément de rotation avec éjecteur sous vide
- Module de positionnement
- Unité de reconnaissance (mesure de la hauteur)
- Module pour faire le rainurage préalable
- Module de chauffe
- Faisceau laser de sécurité
- Table basculante

Options : station de démontage de la bande métallique anti implosion avec décapsulage automatique

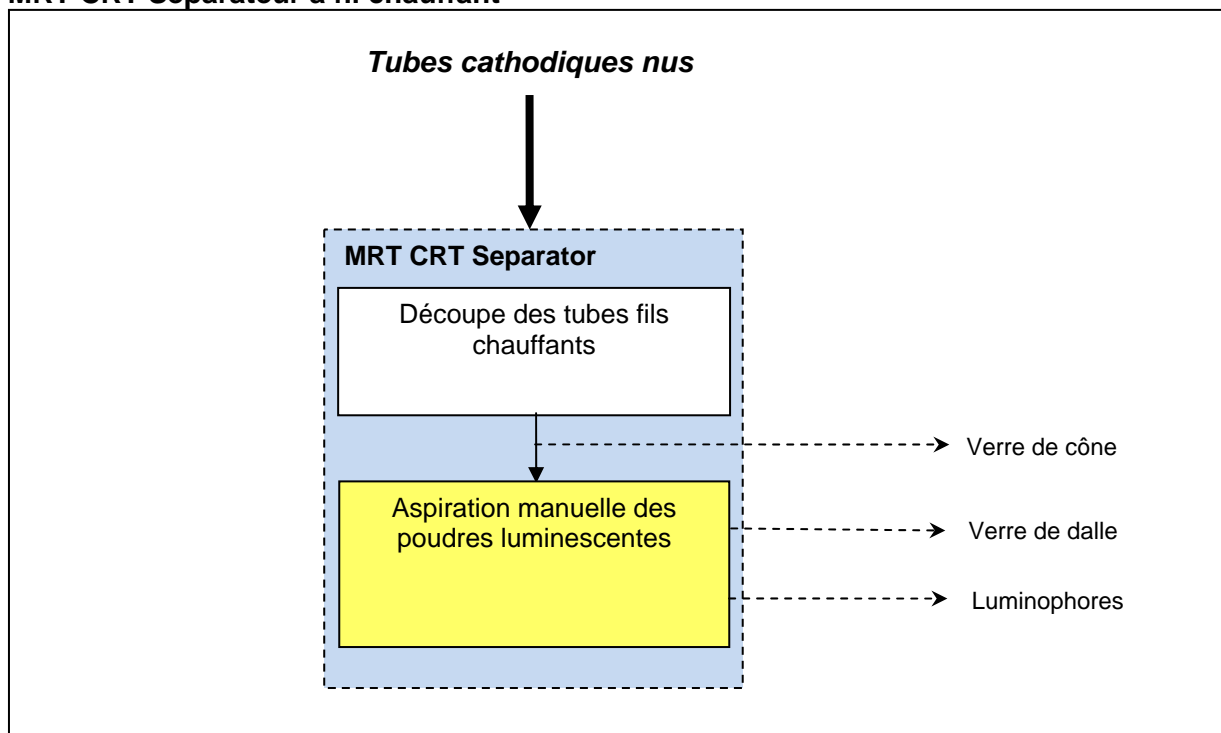
Station de nettoyage incluant un aspirateur industriel

#### 4.1. Synoptique des flux

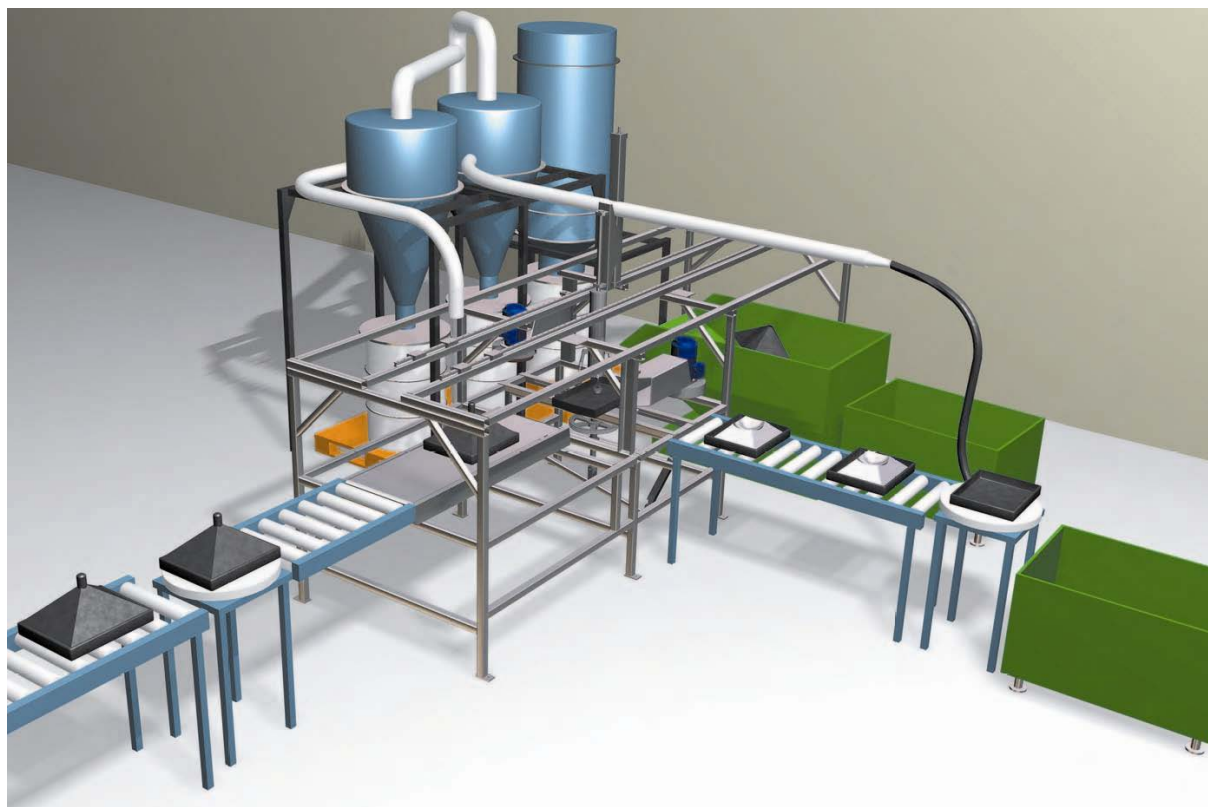
##### MRT CRT Séparateur à scies diamantées



##### MRT CRT Séparateur à fil chauffant



#### 4.2. Schéma de principe de l'unité de traitement (Source MRT)



### 5. Indicateurs généraux d'exploitation

- Nombre et nature des fractions sortantes

Les deux procédés permettent l'obtention de 6 fractions (quasi absence de fines de verre avec la technologie fil chauffant)

- Indice de recyclabilité des fractions sortantes

Fractions séparées de tubes cathodiques	% poids entrants	Technologie filière repreneuse	Indice de recyclabilité
Bande anti-implosion	10%	Filières métaux	2
Inserts métalliques			
Masque			
Verre cône	30%	Nettoyage abrasif voie sèche ou humide	2
Verre dalle	60%		2
Fines de verre et poudres luminescentes	0,50%	Enfouissement	3

Le verre obtenu n'est pas directement valorisable et doit être débarrassé de ses couches de protection (graphite et oxyde) avant d'être recyclable en boucle fermée ou ouverte.

- Taux et la nature des fractions polluantes extraites (mentionnées dans la directive DEEE)

Les poussières de plomb émises pendant la découpe sont contrôlées grâce au système clos en dépression.

Les poudres luminescentes sont extraites par aspiration manuelle, leur taux d'extraction dépend surtout du soin apporté par l'opérateur lors de cette opération.

- Capacité, productivité du procédé

- Système à disques diamantés : jusqu'à 70 tubes/h pour des moniteurs 20 pouces
- Système à fil chauffant automatique : jusqu'à 25 tubes/h en fonction de la taille des tubes
- Système à fil chauffant manuel : jusqu'à 12 à 40 tubes/h en fonction de la taille des tubes et de l'expérience de l'opérateur

- Coûts, investissements, exploitation

Système à disque diamanté : 350 000 €

Systèmes à fil chauffant (automatique) : 107.250€

Options proposées par MRT :

- Station de démontage de la bande métallique anti implosion avec ouverture automatique la bande : 13.400€
- Station de démontage avec protection anti implosion : 6.600€
- Station de nettoyage de la poudre avec aspirateur industriel : 13.500€
- Aspirateur industriel : 4.700€
- Tapis convoyeur, largeur de bande: 405mm, longueur: 3m : 1.000€
- Table de démontage : 3.300€



## **6. Observation de synthèse (points forts, points faibles, limites, obstacles à lever)**

### **Points forts**

- Traitement d'une large gamme de taille d'écrans
- Manutention des tubes facilitée – retrait automatisé du cône une fois la découpe réalisée
- Protection des opérateurs vis-à-vis du plomb en phase de découpe des tubes

### **Points faibles**

- Efficacité de l'aspiration des luminophores conduite manuellement
- Coût des disques à changer tous les mois (pour une utilisation en 1 poste de 7h/jour)
- Ne traite pas les tubes cassés

### **Impacts environnementaux**

- Efficacité de l'aspiration des luminophores conduite manuellement
- Puissance électrique : 20kW pour 70 tubes par heure

## **7. Source, origine des informations, contacts**

Philippe MENUJER – Responsable commercial France

Par téléphone et messages électroniques courant août 2008

## FICHE DESCRIPTIVE DE PROCEDE CRT n°3

**TYPE DE FLUX : TUBES CATHODIQUES**

**TYPE DE PROCEDE : Découpe de tubes cathodiques**

**NOM DE L'ENTREPRISE: REMONDIS ELEKTRORECYCLING, ALLEMAGNE**

**CONTACT: Nico Krukenberg, Project manager**

### **1. Identification et objectif du procédé**

Procédé mécanisé de traitement des tubes cathodiques exploité par Remondis sur son site de Luenen en Allemagne. Ce même procédé est également exploité par Remondis sur un second site en Allemagne et un 3<sup>e</sup> en Pologne.

En sortie de procédé, les qualités de verres obtenues alimentent un débouché de recyclage en boucle fermée, nécessitant une opération postérieure de préparation réalisée par le repreneur.

### **2. Opérationnalité, propriété industrielle, perspective de développement**

Remondis exploite depuis 2003 une ligne mécanisée de traitement des tubes cathodiques, basée sur une technologie de découpe par scie diamantée fournie « clé-en-main » par un constructeur allemand. Le choix et la mise en place des éléments de transition ainsi que la conception générale de ligne ont été réalisés par Remondis.

### **3. Identification du flux entrant**

L'installation type traite des tubes cathodiques de toutes tailles issus du démantèlement d'écrans ménagers ou professionnels réalisé en amont par REMONDIS sur le site de Luenen ou par d'autres sociétés en Europe.

## 4. Description détaillée du procédé

### 4.1 Principe de fonctionnement et caractéristiques techniques

#### Principe de fonctionnement :

Le procédé est basé sur une séparation par scie diamantée des verres cône et dalle suivie d'une aspiration des poudres lumineuses par un opérateur muni d'un aspirateur.

Les tubes cathodiques sont issus du démantèlement d'écrans ; ont été extraits entre autres préalablement le déviateur et la cathode.

#### Caractéristiques techniques des technologies mécanisées en présence :

##### **Procédé de découpe du tube cathodique**

- Blocage du tube par des vérins
- 2 scies diamantées positionnées à gauche et à droite du tube pour la découpe des 2 côtés verticaux du tube; le tube cathodique subit ensuite une rotation de 90° afin de permettre la découpe des tranches supérieure et inférieure du tube (cf. photos)



Abrasion silicone...



Positionnement du tube dans la machine de découpe

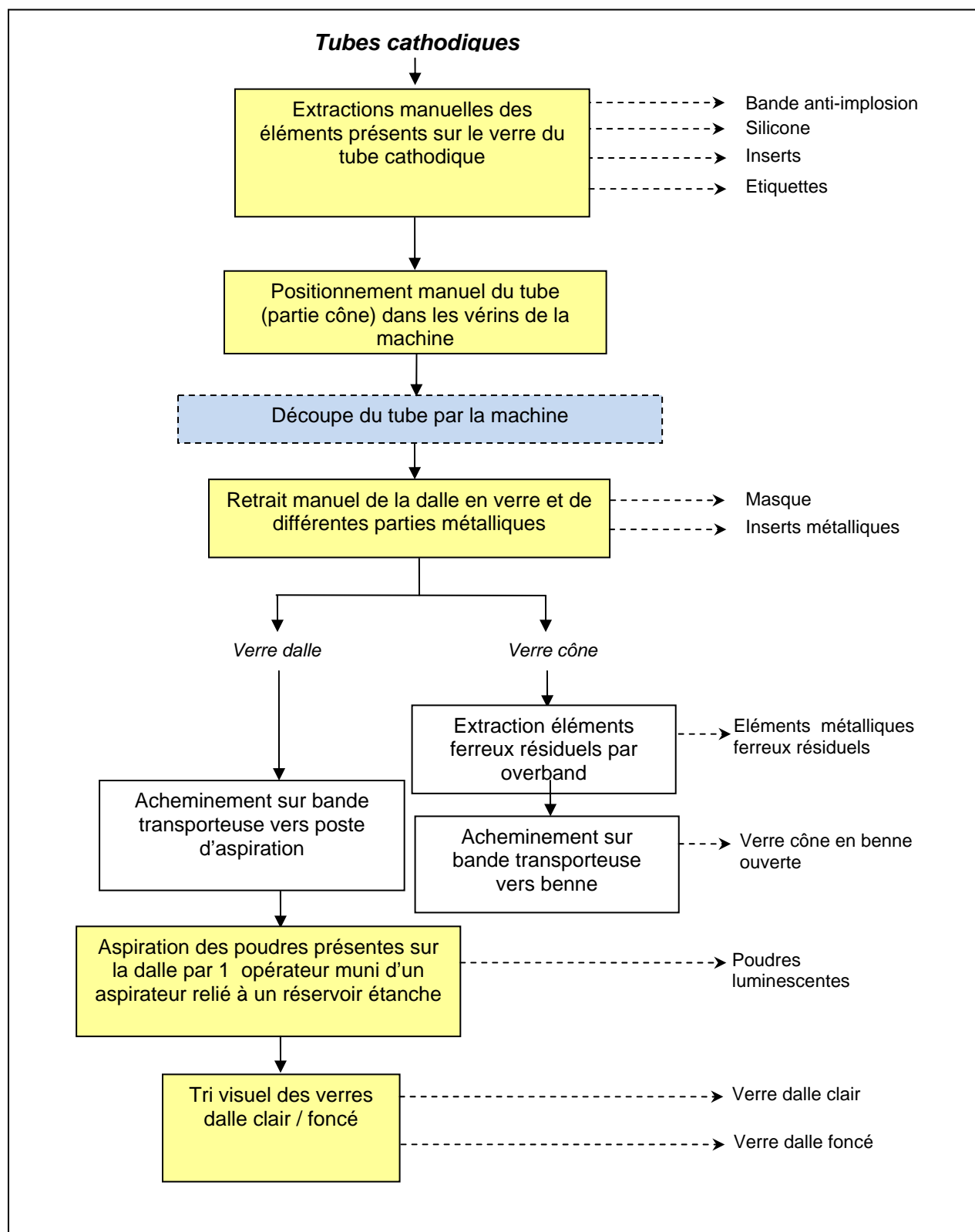


Vérins rotatifs pour le blocage du tube

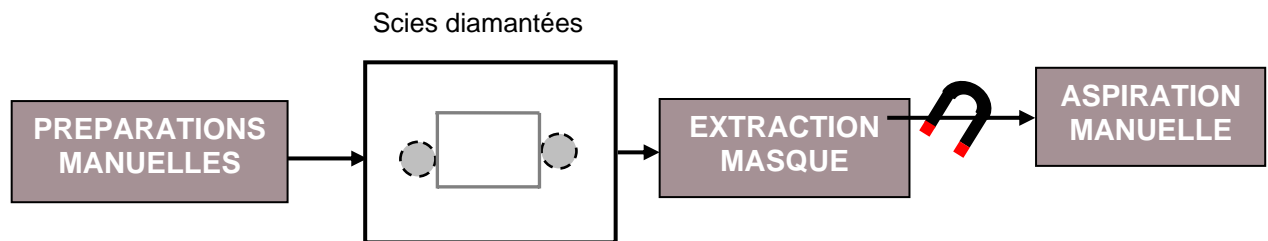


Tube en place dans la machine de découpe

## 4.2 Synoptique des flux



#### 4.3. Schéma de principe



#### 5. Indicateurs généraux d'exploitation

- Nombre et nature des fractions sortantes : cf. synoptique, de l'ordre d'une dizaine de fractions sortantes
- Indice de recyclabilité des fractions sortantes : NC
- Taux et nature des fractions polluantes extraites : NC
- Capacité, productivité du procédé : NC
- Coûts, investissements, exploitation : NC

#### 6. Observations de synthèse

**-Points forts :**

- Peut traiter toutes les tailles de tubes cathodiques
- Bonne productivité

**-Point faible** : nécessite une étape de préparation ultérieure du verre avant introduction dans un procédé de recyclage en boucle fermée

**-Impact environnemental :**

- L'atelier est équipé d'un système d'aspiration des poussières
- Tous les opérateurs sont munis d'EPI appropriés (masque, gants, protections auditives, lunettes et chaussures de sécurité...)

#### 7. Source, origine des informations, contacts

Nico Krukenberg (Remondis)

Visite d'installation à Luenen (Allemagne) le 25/06/08

## FICHE DESCRIPTIVE DE PROCEDE CRT n°4

**TYPE DE FLUX : TUBES CATHODIQUES**

**TYPE DE PROCEDE : Découpe des CRT et préparation du verre (Procédés MBM et NORDEG)**

**NOM DE L'ENTREPRISE : Mercure Boys Manufacture (MBM) – Voivres les le Mans (72)**

**CONTACT : Philippe Desgranges, PDG**

### 1. Identification et objectif du procédé

Depuis sa création en 1989, la société MBM est spécialisée dans le traitement des déchets mercuriels. En 2002, MBM investit dans une unité de découpe des tubes cathodiques de la société VICOR pour traiter des écrans de clients professionnels. Depuis, la mise en œuvre de la réglementation DEEE en novembre 2006, l'activité de traitement des tubes cathodiques s'est développée de façon importante et un nouvel équipement de broyage et de dépollution du verre est venu compléter l'installation au cours de l'année 2007.

Cette fiche concerne donc le procédé de découpe mécanisé des tubes cathodiques et le procédé de préparation du verre en vu de son recyclage.

### 2. Opérationnalité (propriété industrielle, perspective de développement)

La machine d'ouverture des tubes est opérationnelle depuis 2002, des modifications sur le procédé VICOR (La société VICOR ayant stoppé son activité) ont été apportées régulièrement depuis par MBM. Ce procédé modifié ne fait pas l'objet d'une propriété industrielle de la part de MBM mais simplement d'une *enveloppe Soleau*, dispositif de l'INPI (Institut national de la propriété industriel) qui permet de dater de façon certaine la création du procédé à travers sa description et identifie l'auteur. Ce document permet à la société de continuer à exploiter le procédé en cas de dépôt de brevet par une autre entité.

En complément de l'activité de traitement, MBM produit et commercialise ce procédé de découpe des tubes cathodiques et le commercialise sur le territoire national. A ce jour MBM a vendu 7 unités d'ouverture de tubes en France.

L'installation de broyage, dépollution et préparation du verre est un procédé fourni par l'entreprise allemande NORDEG, il est opérationnel chez MBM depuis mai 2007.

En 2007, la société a traité 2600 tonnes de tubes cathodiques (entiers et séparés entre cône et dalle) et 300 tonnes d'écrans. En 2008, MBM prévoit de traiter 6000 tonnes de tubes (entier et séparés) et 300 tonnes d'écrans.

### 3. Identification du ou des flux entrants

L'unité de découpe des tubes permet de traiter des tubes dont la diagonale d'écrans est supérieure à 14 pouces. Les tubes cathodiques de taille inférieure sont traités manuellement. Les opérateurs réalisent la séparation à l'aide d'un marteau sous hotte aspirante.

L'unité de préparation du verre permet de traiter du verre issu de tubes cathodiques, dépollué et « cassé » en morceaux inférieurs à 300 mm.

MBM réalise des campagnes de traitement distinctes pour le traitement des verres de dalle et des verres de cône.

## **4. Description détaillée du procédé**

### **4.1 Caractéristiques techniques et description de procédé**

#### **Principe de fonctionnement :**

Etape 1 : L'unité de découpe de tube : Après disposition manuelle du tube cathodique sur un socle, fixation mécanique de celui-ci, une fine bande métallique est mise en place par un bras rotatif autour du tube, entre la fritte (joint) et la dalle. Le fil est mis sous tension et monte en température (environ 500°C) jusqu'au choc thermique entraînant la séparation des deux parties. Une fois séparé, les deux parties sont reprises manuellement et la dalle est nettoyée des poudres luminescentes à l'aide d'un système d'aspiration manuel.

L'unité de découpe mécanisée de tube nécessite 1 personne responsable du chargement, du déchargement et de l'aspiration des poudres luminescentes (l'aspiration est réalisée pendant la découpe du tube suivant).

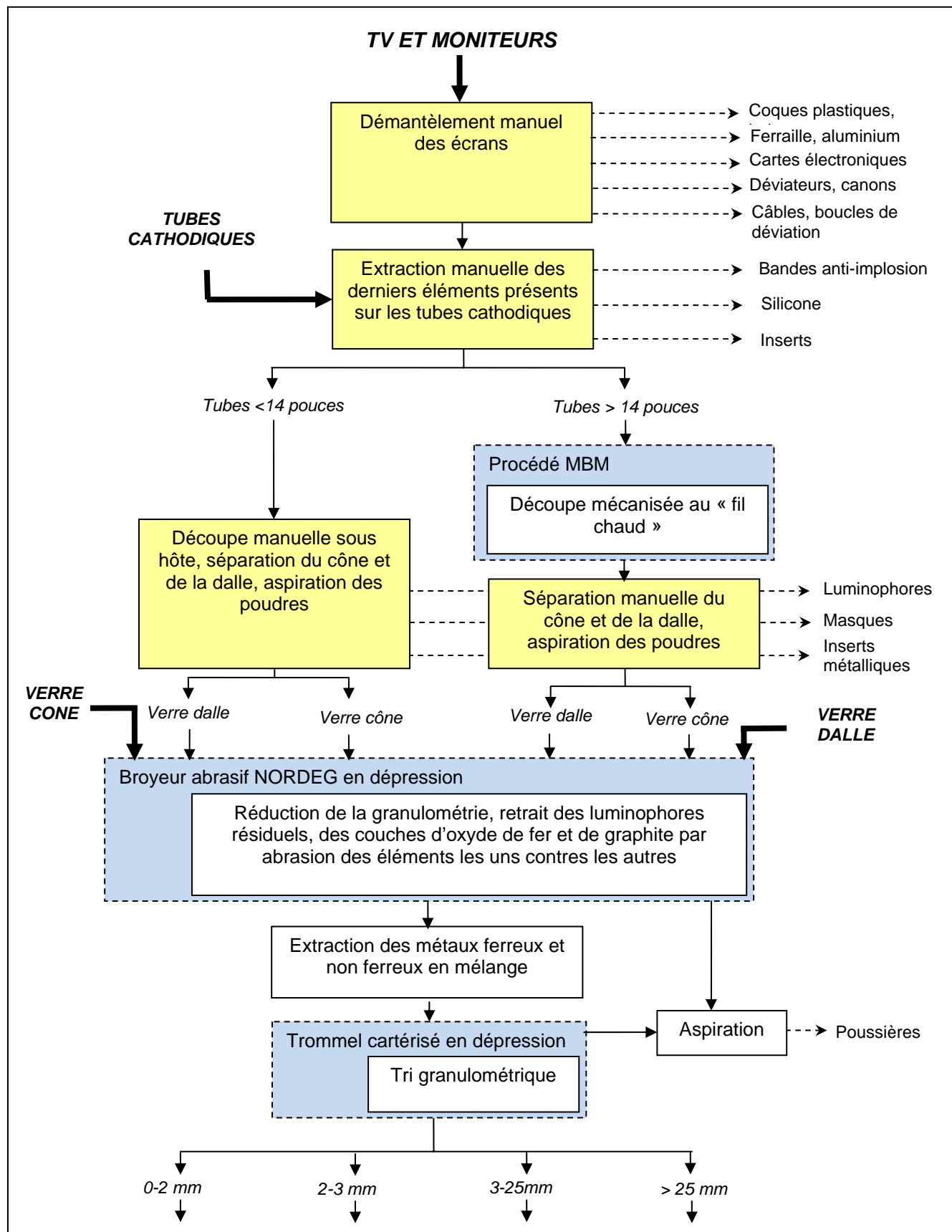
Etape 2 : L'unité de préparation du verre : le verre est déversé dans une trémie, broyé et nettoyé par l'abrasion des morceaux les uns contre les autres, dans le broyeur rotatif (type « toupie à béton »).

Une fois le verre broyé, les métaux résiduels en sont extraits par induction magnétique, puis le verre est trié selon sa granulométrie :

- fines (<3mm) (2 catégories de fines)
- 3 – 25 mm
- > 25 mm

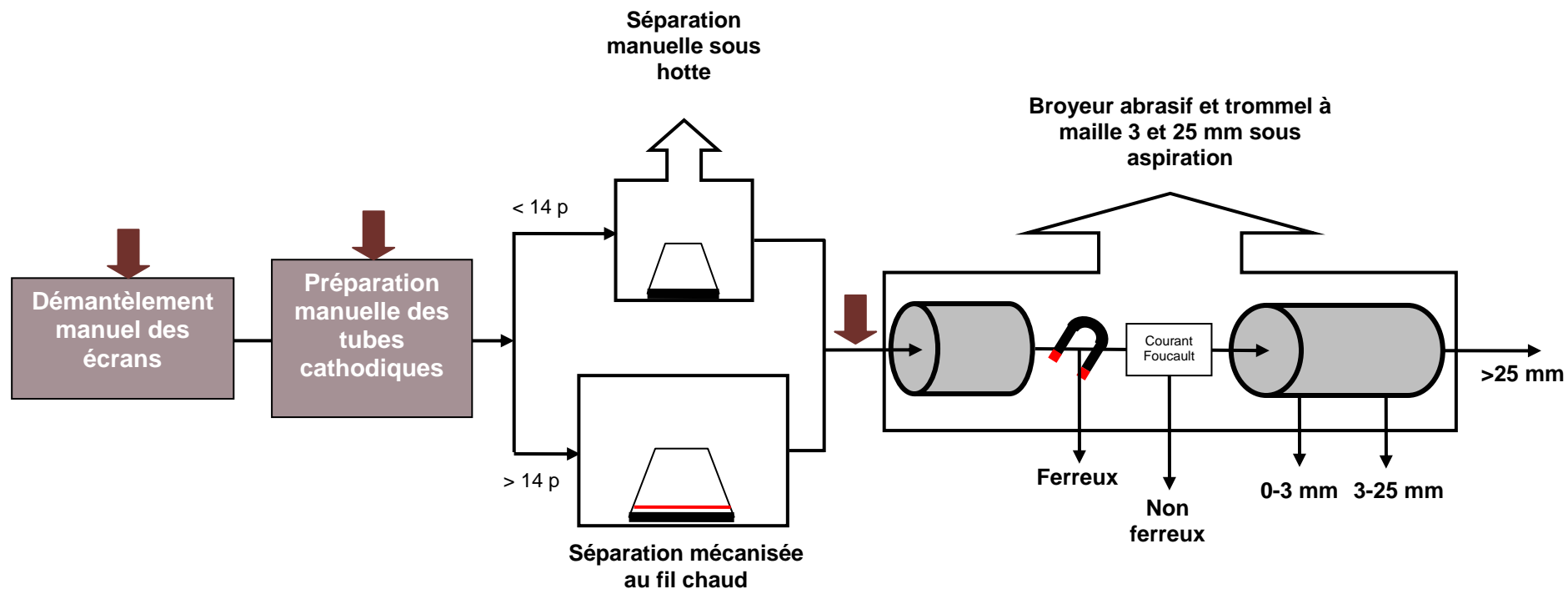
L'unité de préparation du verre nécessite 1 personne responsable de l'alimentation et de la surveillance de la machine.

## 4.2 Synoptique des flux





#### 4.3 Schématisation de l'unité de traitement (Cf légende en annexe)



Chaque étape est indépendante de la suivante et il est possible d'alimenter la ligne de traitement entre chaque module avec le matériau adapté (représenté par les flèches verticales marron).

## 5. Indicateurs généraux d'exploitation

### • Nombre et nature des fractions sortantes

Les fractions issues de la découpe et de la dépollution des tubes (étape 1) sont au nombre de 6

Les fractions issues du nettoyage du verre (étape 2) sont au nombre de 11.

### • Indice de recyclabilité des fractions sortantes

Fractions séparées de tubes cathodiques		% poids entrants	Technologie filière repreneuse	Indice de recyclabilité
ETAPE 1 : ouverture des tubes cathodiques				
Bande anti-implosion		10%	Filières métaux	2
Inserts métalliques				
Masque				
Verre cône		30%	Etape 2	2
Verre dalle		60%		2
Fines de verre et poudres luminescentes		0,50%	Enfouissement	3
ETAPE 2 : nettoyage du verre				
Eléments non ferreux		0,5%	Filières métaux	2
Eléments non ferreux				
Verre cône	0-2mm	33%	Filières de recyclage boucle ouverte en cours de validation	1
	2-3mm			
	3-25mm		Fabrication de CRT	1
	>25mm			
Verre dalle	0-2mm	65%	Filières de recyclage boucle ouverte en cours de validation	1
	2-3mm			
	3-25mm		Fabrication de CRT	1
	>25mm			
Poussières (graphite, oxyde métallique, poudres, fines de verre)		0,50%	Enfouissement	3

Le tube cathodique est valorisé à plus de 99%, seules les poussières extraites par les systèmes d'aspiration sont mis en centre de stockage de classe 1.

Le verre dalle et le verre cône issus de l'unité de préparation sont aujourd'hui envoyé en Asie et directement réutilisé pour la fabrication de nouveaux tubes cathodiques s'ils respectent les prescriptions techniques suivantes :

- exempt de silicone, scotch, papier
- exempt de poudres luminescentes
- exempt de verre cône (verre au plomb)
- le verre cône (verre au plomb) doit contenir moins de 5% de verre dalle (verre au baryum)

Le verre dalle présenterait de nombreuses autres applications en boucle ouverte que MBM est en train de valider avec ces partenaires.

- Taux et la nature des fractions polluantes extraites (mentionnées dans la directive DEEE)

Le procédé de découpe des tubes inclus le retrait des poudres luminescentes par aspiration manuelle. A ce stade du traitement, le retrait des poudres n'est pas exhaustif.

L'unité de préparation du verre, permet d'extraire les poudres résiduelles par abrasion des morceaux de verre les uns contre les autres, poudres qui sont aspirés (l'ensemble de la ligne broyeur et trommel est en dépression).

Les poudres sont évacuées en centre de stockage de classe 1.

- Capacité, productivité du procédé

Il n'est pas possible de parler de productivité de l'installation complète du fait de l'indépendance des étapes les unes vis-à-vis des autres et d'une alimentation à plusieurs niveaux.

Concernant les étapes mécanisées, **les productivités annoncées** par l'exploitant sont :

- **La productivité nominale** annoncée est d'un tube à la minute (15 secondes de chargement / déchargement et 45 secondes pour obtenir le choc thermique) mais MBM précise que la machine est vendue comme capable de traiter 40 à 50 tubes/heure. La capacité annuelle annoncée est de 1700 tonnes par an avec un fonctionnement en 2 équipes.
- L'unité de broyage abrasif a une capacité horaire annoncée de 3.5 t/h soit environ une capacité annuelle de 10 000 t/an en 2 équipes. Le trommel a théoriquement une capacité de tri de 7t/h mais est limité par l'alimentation du broyeur.

- Coûts, investissements, exploitation

L'unité de découpe des tubes est vendue par MBM au prix de 63 000 €, les coûts d'exploitation représentent chez MBM 85 €/t de tubes traité.

La principale pièce d'usure sur l'unité de découpe des tubes est le fil qui doit être changé tous les 200 tubes.

Le procédé de préparation du verre représente un investissement de 250 000 € pour un coût d'exploitation de 30 €/t de verre traité.

Après 1 an d'utilisation, aucune pièce n'a été changée sur l'installation de broyage, tri granulométrique.

## **6. Observation de synthèse (points forts, points faibles, limites, obstacles à lever)**

### Procédés MBM de découpe des tubes

#### **Points forts**

- Précision de la découpe
- Sécurité des opérateurs assurée par la présence de cellule photo détectant la présence humaine lors de l'échauffement du fil de découpe

#### **Points faibles**

- Faible capacité de traitement de l'unité
- De nombreuses manipulations manuelles restent nécessaires (chargement, déchargement, séparation après découpe)
- Impossibilité de traiter des tubes de taille inférieure à 14 pouces
- Pièces d'usure (fil chaud) à changer tous les 200 tubes

### Procédé de préparation du verre

#### **Points forts**

- Préparation d'un produit directement recyclable
- Contrôle des émissions grâce à un procédé clos
- Procédé « sec » ne générant pas d'effluents

#### **Impacts environnementaux**

Le contrôle des émissions est assuré par un ensemble de système d'aspiration au niveau de toutes les étapes du procédé

## **7. Source, origine des informations, contacts**

Franck Desgranges, PDG

Visite du site le 20 mai 2008

## FICHE DESCRIPTIVE DE PROCEDE CRT n°5

**TYPE DE FLUX : TUBES CATHODIQUES**

**TYPE DE PROCEDE : Lavage et préparation des verres de tubes cathodiques**

**NOM DE L'ENTREPRISE : AGRO DRISA GmbH, ALLEMAGNE**

**CONTACT : Dr. Helmut Bönisch, directeur général**

### 1. Identification et objectif du procédé

Procédé mécanisé de traitement des tubes cathodiques exploité par Agro Drisa GmbH sur son site de Dresde en Allemagne.

Ce procédé permet d'obtenir des morceaux de verres de tubes cathodiques totalement débarrassés des poudres luminescentes, et des couches recouvrant les surfaces intérieures (graphite) et extérieurs (oxyde de fer) des tubes.

En sortie de procédé, les qualités de verres obtenues alimentent un débouché de recyclage en boucle fermée.

### 2. Opérationnalité, propriété industrielle, perspective de développement

Agro Drisa GmbH exploite depuis 2005 une installation de préparation de verre de tubes cathodiques basée sur une technologie voie humide, procédé développé en interne.

En amont de cette phase, Agro-Drisa GmbH exploite plusieurs machines VICOR pour la séparation des verres cône et dalle des tubes.

### 3. Identification du ou des flux entrant

Tous les types de tubes cathodiques couleur (ou verre de TRC) sont acceptés par Agro Drisa GmbH :

- Tubes cathodiques entiers : ouverture par technologie VICOR (ou manuelle au marteau) puis préparation des verres séparés ; les tubes cathodiques de petite taille (principalement les tubes de moniteurs) ne font généralement pas l'objet d'une séparation cône/dalle mais d'une préparation de verre en mélange
- Verre dalle : issu des traitements par voie humide
- Verre cône: issu des traitements par voie humide

## **4. Description détaillée du procédé**

### **4.1. Principe de fonctionnement et caractéristiques techniques**

#### **Principe :**

Les tubes cathodiques proviennent du démantèlement d'écrans.

Les tubes cathodiques réceptionnés entiers font l'objet d'une séparation cône / dalle par technologie VICOR (ou exceptionnellement au marteau).

Les verres ainsi séparés sont stockés chacun dans une alvéole et font alors l'objet d'un traitement/d'une préparation dans un procédé voie humide par campagnes séparées verre cône / verre dalle.

En ce qui concerne les campagnes de verre dalle, en sortie de procédé voie humide, le verre obtenu subira en complément un tri manuel pour retrait des impuretés (éléments métalliques, indésirables dont verre cône) et séparation des morceaux de verre dalle clair / foncé avant mise en big bags prêts à l'expédition.

#### **Caractéristiques techniques:**

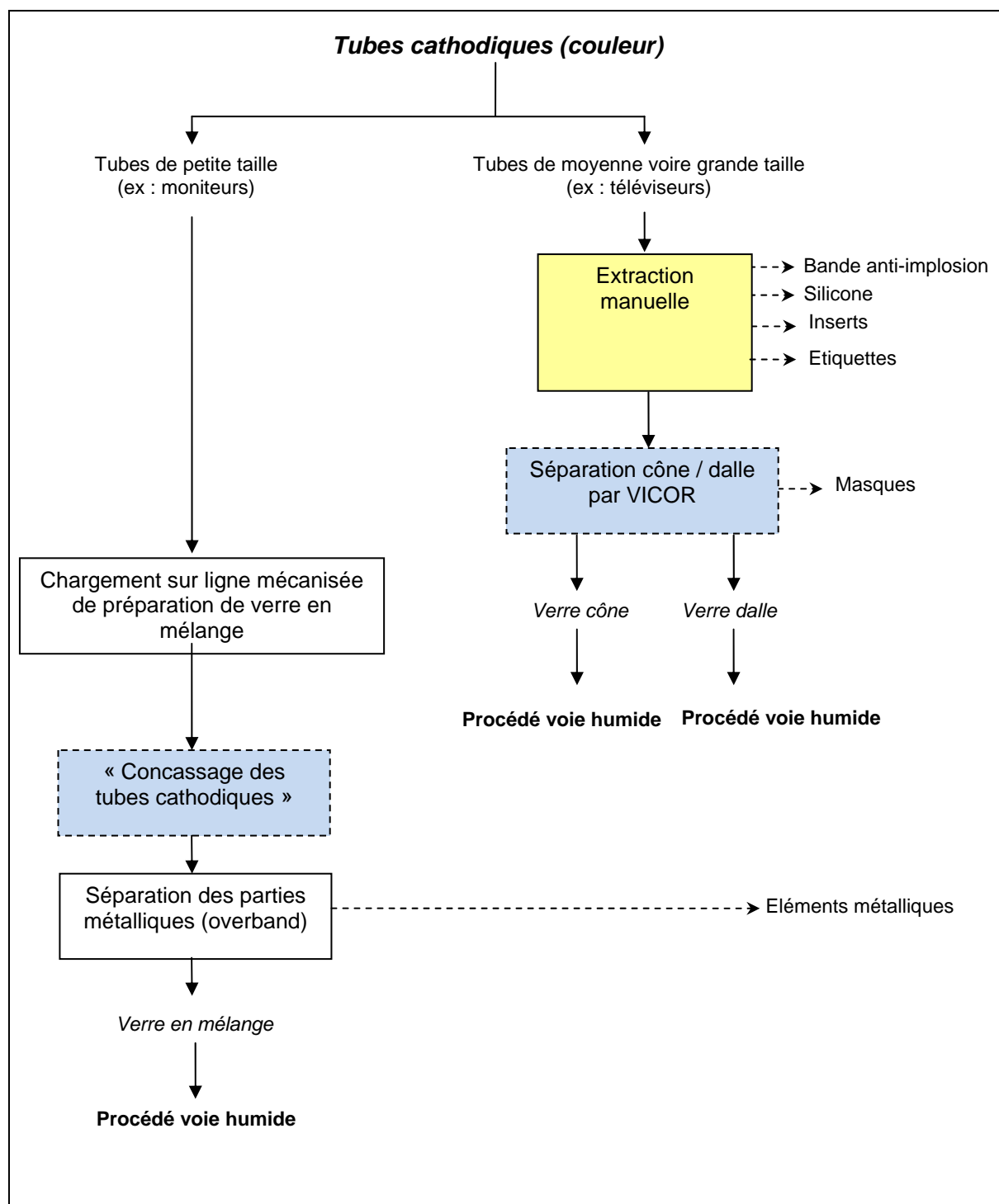
##### **Machines VICOR**

- Fournisseur : VICOR (Allemagne)
- Rendement : de l'ordre de 20 à 30 tubes / heure
- Technologie : séparation de la dalle du cône par fil chaud

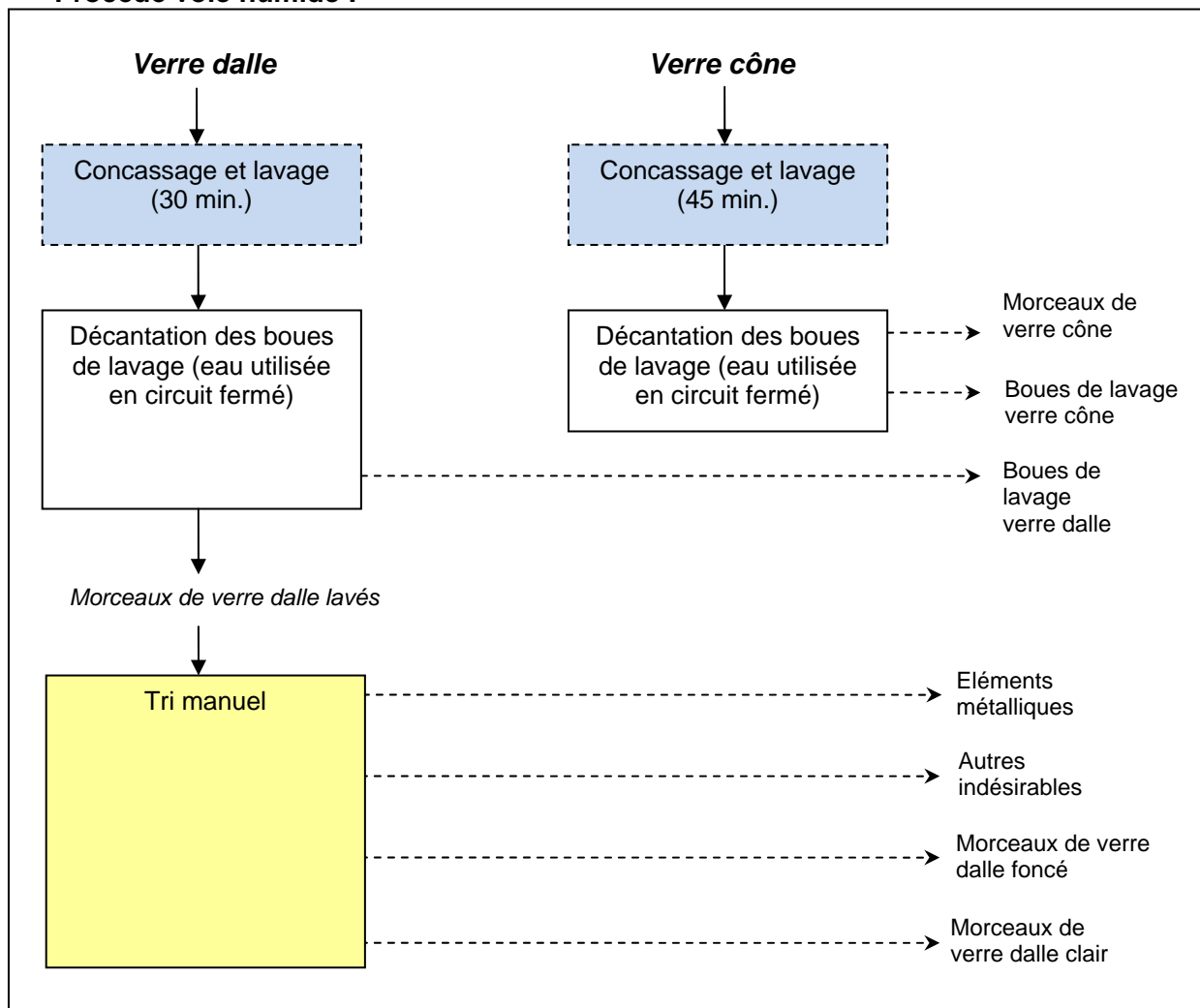
##### **Machine de préparation des verres voie humide**

- Développement : Agro-Driza GmbH
- Rendement : de l'ordre de 20 à 30 tonnes / jour
- Technologie : lavage et abrasion des verres pour préparation de morceaux propres à alimenter un procédé de recyclage en boucle fermée

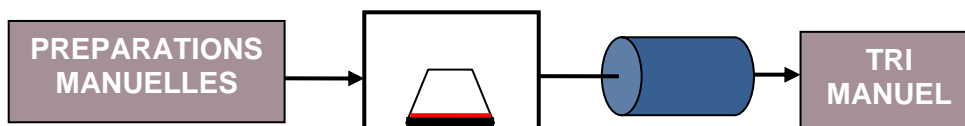
## 4.2. Synoptique des flux



### Procédé voie humide :



### 4.3. Schéma de principe





## 5. Indicateurs généraux d'exploitation

- Nombre et nature des fractions sortantes

8 fractions sortantes tubes cathodiques

- Indice de recyclabilité des fractions sortantes (et bilan matières)

Fractions séparées de tubes cathodiques	% poids entrant	Technologie filière repreneuse	Indice de recyclabilité
Bande anti-implosion	~10%	Filières métaux	2
Inserts métalliques			
Masque			
Verre cône	~75%	Fabrication de nouveaux tubes cathodiques en Asie (Malaisie...)	1
Verre dalle clair			
Verre dalle foncé			
Boues de lavage de verre cône	~7-8%	Affinerie Plomb (Allemagne)	3
Boues de lavage de verre dalle	~7-8%	OET (Allemagne)	
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>		

- Taux et la nature des fractions polluantes extraites (mentionnées dans la directive DEEE)

Boues de lavage de verre dalle (contiennent notamment des restes de poudres luminescentes)

- Capacité, productivité du procédé :

- Production annuelle : de l'ordre de 8000 tonnes de verres préparés pour recyclage en 2007
- Autorisation pour 10.000 t/an (projet d'ouverture d'un second site à Bischofswerda de capacité visée 10.000 t/an)

- Coûts, investissements, exploitation :

- Exploitation : nombre de salariés sur site : de l'ordre de 30 personnes
- Coûts, investissements : NC

## **6. Observations de synthèse**

### **Point fort**

- Le verre préparé par l'installation de lavage d'Agro-Drisa est prêt à être introduit directement dans un procédé de recyclage en boucle fermée

### **Point faible**

- Le procédé n'est pas équipé de tri mécanisé des verres cône/dalle ; en cas d'introduction de verre en mélange, le flux sortant ne peut être recyclé en l'état en boucle fermée

### **Impact environnemental**

- Il n'y a aucune émission d'eau au sein du procédé voie humide -> circulation d'eau en boucle fermée ; retrait total des polluants

## **7. Source, contacts**

Dr. Helmut Bönisch, directeur général Agro Drisa GmbH

Visite d'installation le 25/08/08

## FICHE DESCRIPTIVE DE PROCEDE CRT n°6

**TYPE DE FLUX : TUBES CATHODIQUES**

**TYPE DE PROCEDE : Découpe et nettoyage de tubes cathodiques**

**NOM DE L'ENTREPRISE : ANDELA Products, Ltd– New York, USA**

**CONTACT : Richard CHRISTMAN – Project Manager**

### **1. Identification et objectif du procédé**

La société ANDELA a été créée en 1982. Elle est spécialisée dans la conception et la fabrication de procédé de traitement des déchets en vue de leur recyclage, en particulier de traitement et préparation du verre.

Le procédé dont fait l'objet cette fiche a été conçu et commercialisé pour la première fois en 2001. Il s'agit d'un procédé de broyage des tubes cathodiques entiers en atmosphère confinée avec séparation des métaux ferreux du flux de verre.

Le procédé est appelé CRT Container du fait de sa présentation en container maritime 20 pieds.

### **2. Opérationnalité (propriété industrielle, perspective de développement)**

Le procédé est protégé par un brevet.

Actuellement 9 unités ont été vendues par Andela dont 8 aux Etats-Unis et 1 au Royaume-Uni.

### **3. Identification du ou des flux entrants**

L'installation type traite des tubes cathodiques de toutes tailles issus du démantèlement d'écrans. Les écrans peuvent être intègres ou cassés.

## **4. Description détaillée du procédé**

### **4.1 Caractéristiques techniques et description de procédé**

#### **Principe de fonctionnement :**

Il s'agit d'un broyeur à chaîne dans lequel les CRT sont introduits, permettant le cassage du verre et la séparation des éléments ferreux (masque présent dans le tube) sans réduction de leur taille.

Le cœur du procédé est le broyeur, alimenté en continu par un convoyeur, le broyage s'effectue dans une chambre fermée, sous dépression, permettant l'aspiration des poussières de verre (riche en plomb) et des luminophores extraits par frottement des éléments les uns contre les autres. Les éléments ferreux sont séparés par un overband.

Actuellement aux Etats-Unis, le verre obtenu est majoritairement envoyé vers les fonderies de plomb ou les décharges sans séparation préalable.

Pour le marché européen, si l'exploitant souhaite assurer une séparation ultérieure entre les qualités de verre cône et de verre dalle, un trommel peut être installé avant séparation par tri optique.

Les trommels proposés par Andela sont également clos et sous dépression. Les granulométries pouvant être obtenues varient en fonction de la demande des clients et des procédés de séparation. Andela indique que le passage en trommel, va du fait du frottement des éléments les uns contre les autres, permettre le retrait des poudres luminescentes résiduelles.

En général, il est proposé 3 granulométries, une fraction fines (inférieure à 16 mm) qui ne peut être séparée, une fraction intermédiaire (16-40mm) pour séparation et une fraction grossière (>40mm) pour retour en tête de broyage.

La fraction intermédiaire 16-40mm peut par exemple être séparée à l'aide d'un tri optique pour une valorisation en nouveaux tubes cathodiques.

La fraction fine doit être valorisée ou éliminée en mélange, la fraction > 40mm est renvoyée en tête de broyeur.

#### **Caractéristiques techniques :**

L'ensemble broyeur et retrait des ferreux est présenté sous forme d'un container, complété du système d'aspiration et de filtration des poussières.

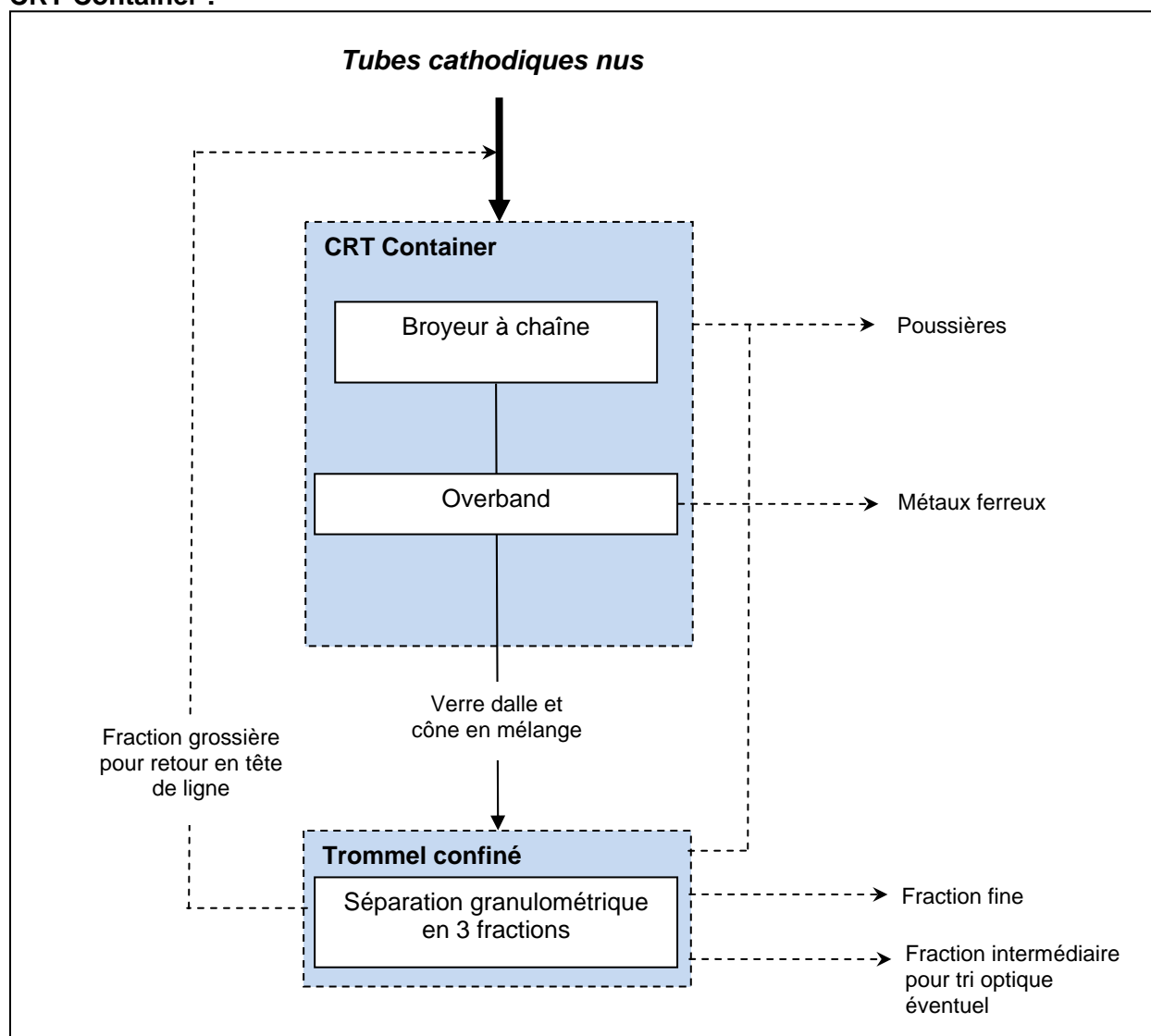
Taille du container : 20 pieds (6.01 m)

Puissance du broyeur : 15 kW

Puissance de l'aspiration : 11.2 kW

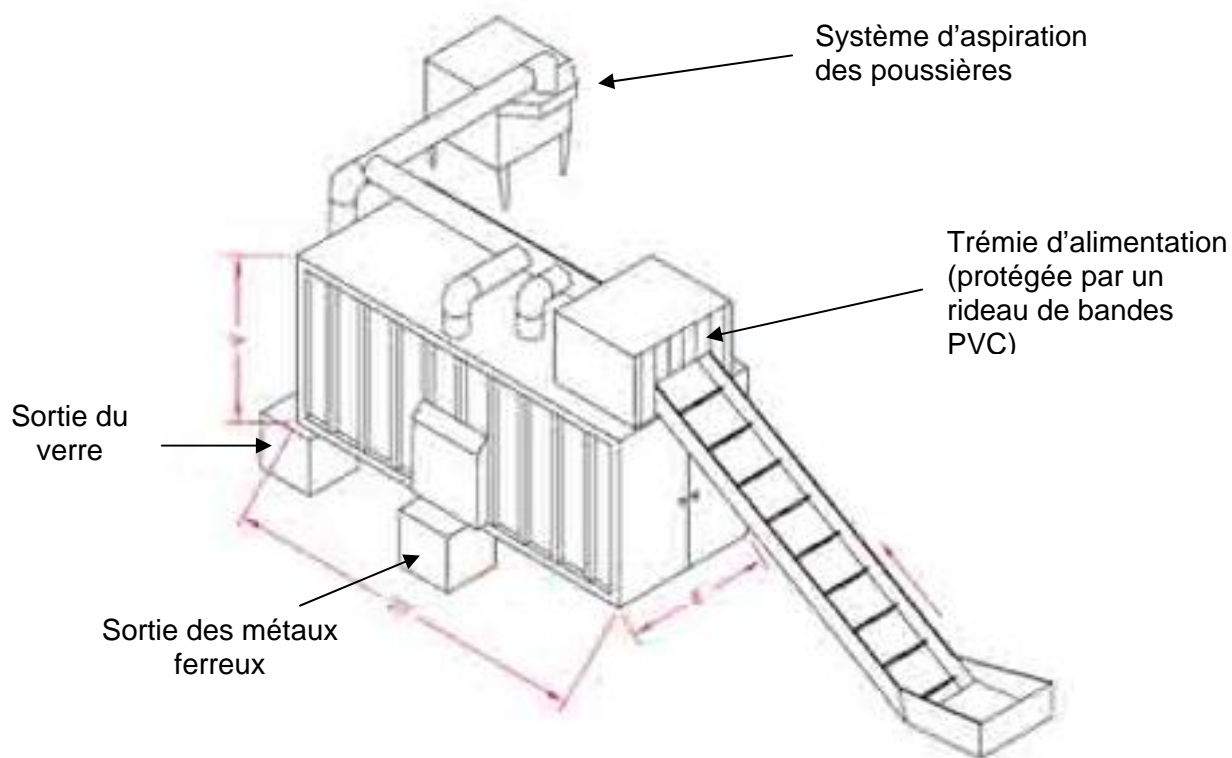
## 4.2. Synoptique des flux

### CRT Container :



### 4.3 Schéma de principe de l'unité de traitement

Le schéma ne comprend pas l'unité de préparation granulométrique.



Source : *Andela Products Ltd*

## 5. Indicateurs généraux d'exploitation

- Nombre et nature des fractions sortantes

Dans une configuration simple (sans trommel), le procédé permet d'obtenir 3 fractions : les métaux ferreux (bande anti-implosion, masques et inserts, environ 4% du poids entrant), le verre en mélange (95%) et les poussières (1%).

Dans le cas d'une installation comprenant un trommel, le verre obtenu est séparé en deux catégories (la fraction grossière étant renvoyée en tête de ligne), les fines de verre, environ 15% du verre, le verre « séparable », environ 85% du verre.

- Indice de recyclabilité des fractions sortantes

Les métaux, obtenu par un tri magnétique sont directement recyclables (Indice de recyclabilité 2)

Le verre en mélange ne présente pas d'intérêt pour les verriers mais peut être repris par les fonderies de plomb pour qui il représente une source de plomb (environ 8% du verre en mélange) – (Indice de recyclabilité 3)

En cas de préparation granulométrique, il est possible de trier le verre par une technologie de tri optique (voir fiche Titech OPT 2).

- Taux et la nature des fractions polluantes extraites (mentionnées dans la directive DEEE)

Andela indique que le broyage sous atmosphère confinée permet l'extraction des poudres luminescentes présentes sur les tubes cathodiques.

Le taux d'extraction n'est pas précisé.

- Capacité, productivité du procédé

La capacité moyenne annoncée pour une installation de traitement composé d'un container (il est possible d'en installer 2 en série) est de 10t/h soit environ 800 tubes par heure.

- Coûts, investissements, exploitation

L'investissement est variable suivant les installations : 450.000€ pour une installation à 10t/h.

Les coûts de broyage annoncés sont compris entre 5 et 8€ / tonne pour un fonctionnement avec deux opérateurs.

## **6. Observation de synthèse (points forts, points faibles, limites, obstacles à lever)**

### **Points forts :**

- Capacité de traitement 10 fois plus importante que les procédés de découpe de tube cathodique.
- Pas d'exposition des opérateurs à la poussière de verre riche en plomb et aux luminophores du fait du confinement des opérations.

### **Points faibles**

- Le taux d'extraction des luminophores n'est pas connu
- Peu de possibilité de valorisation à haute valeur ajoutée pour du verre en mélange
- En cas d'une association du procédé avec un tri optique, la qualité du verre peut être compromise par des morceaux de verre composés de dalle et de cône et par la qualité du tri optique

### **Impacts environnementaux**

- Le constructeur annonce un contrôle des émissions de luminophores
- Puissance énergétique de l'installation : 26.2 kW pour 800 tubes par heure

## **7. Source, origine des informations, contacts**

Richard Christman, Project Manager Andela Products Ltd

Entretien à Paris le 17 mai 2008



## FICHE DESCRIPTIVE DE PROCEDE CRT n°7

**TYPE DE FLUX : TUBES CATHODIQUES**

**TYPE DE PROCEDE : Nettoyage du verre de tubes cathodiques par voie humide**

**NOM DE L'ENTREPRISE : REGAIN SA – Fourchambault (58)**

**CONTACT : Daniel ROUMIER, PDG**

### 1. Identification et objectif du procédé

Regain SA est un groupe d'entreprises installées à Fourchambault (58) avec des activités complémentaires pour le traitement de DEEE ménagers et professionnels :

- REGAIN ECO PLAST, entreprise d'insertion assure le démantèlement ;
- REGAIN VALORISATION ENVIRONNEMENT, la dépollution des écrans ;
- CENTRE ECO, la transformation des plastiques.

Cette fiche vise à décrire le procédé de nettoyage des tubes par voie humide **Dépoll Tubes**, mis au point par Regain SA. Ce procédé permet d'obtenir un verre de tube cathodique débarrassé des poudres luminescentes, et des couches recouvrant les surfaces intérieures (graphite) et extérieures (oxyde de fer) des tubes.

### 2. Opérationnalité (propriété industrielle, perspective de développement)

Le procédé a été mis au point par REGAIN VALORISATION ENVIRONNEMENT en 2005 et a subi depuis diverses améliorations.

Ce procédé fait l'objet d'un dépôt de marque à l'INPI et d'un dépôt de brevet en cours.

Ce procédé reste en cours de développement et 2 lignes de lavage sont installées et opérationnelles sur le site.

L'installation permet de traiter actuellement 3 000 tonnes par an de tubes cathodiques avec un seul poste d'opérateur.

### 3. Identification du ou des flux entrants

Le procédé permet le nettoyage de verre de tubes cathodiques préalablement débarrassés de tous les éléments étrangers (métaux, inserts...) et cassés en morceaux d'environ 15 à 20 cm.

Le verre est traité indistinctement en mélange verre cône / verre dalle. En fonction de la filière aval, il est envisageable de réaliser des campagnes de nettoyage sur du verre de tube préalablement séparé selon ces deux catégories.

#### **4. Description détaillée du procédé**

##### **4.1 Caractéristiques techniques et description de procédé**

###### **Principe de fonctionnement :**

Dans le cadre de l'organisation actuelle, les tubes cathodiques sont cassés manuellement et débarrassés des éléments étrangers : masques, inserts.

Ils sont ensuite entreposés dans une alvéole couverte équipée d'un système de brumisation permettant l'abattage des poussières.

Un chargeur reprend le verre et alimente un « bol vibrant » à raison de 500 à 700 kg par cycle. Une solution (composition confidentielle) est ajoutée au verre, le bol est fermé pour un cycle de vibration de 8 minutes.

A l'issue de la vibration, le verre est orienté vers un trommel de maille 5 mm pour être rincé en premier lieu. Les fines de verre sont repassées dans le bol pour un second cycle de nettoyage.

L'ensemble des eaux de lavage et de rinçage sont indépendamment filtrées et réutilisées en circuit fermé.

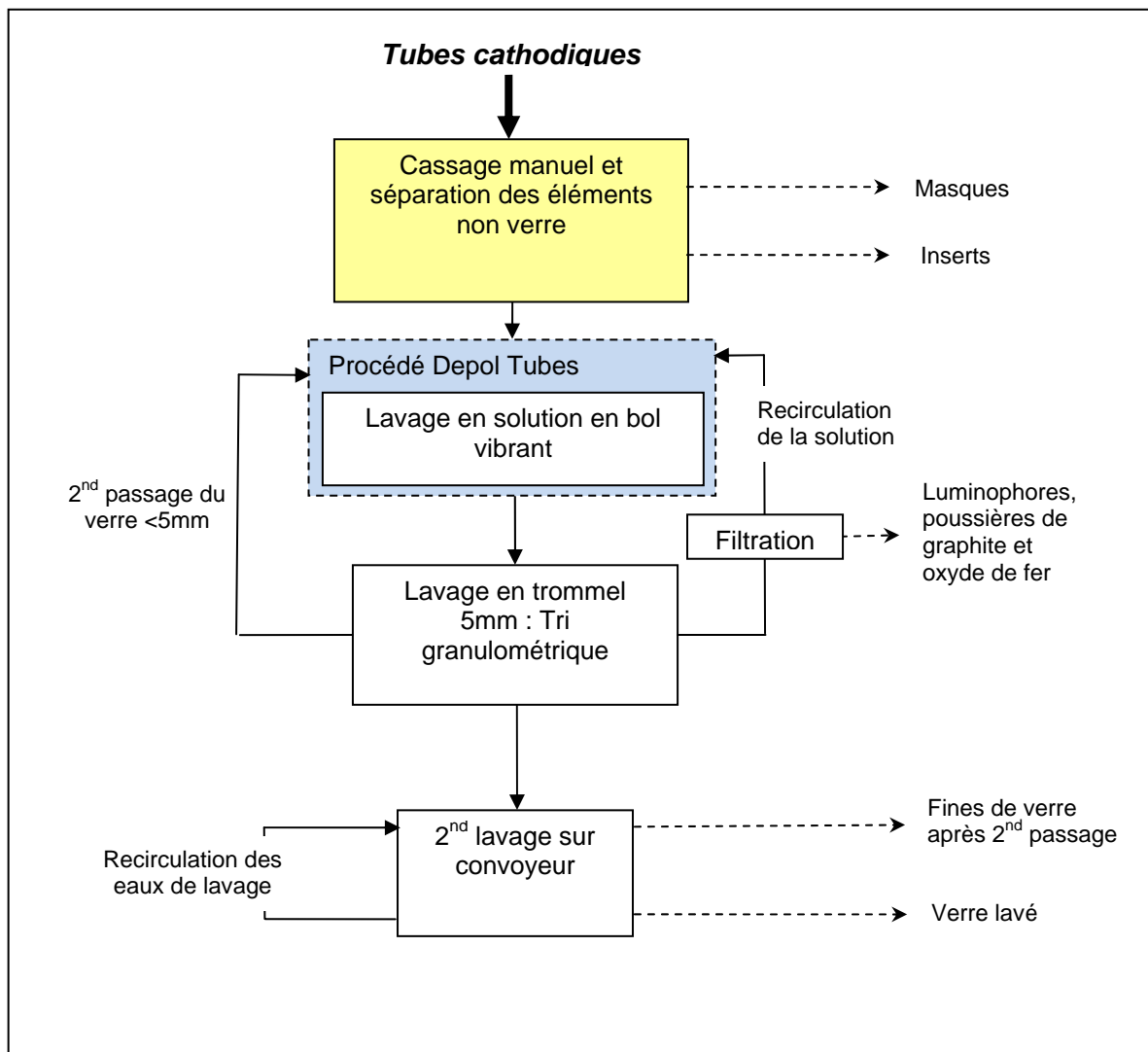
Les luminophores, oxydes de fer et de graphite, sont récupérés par le procédé, conditionnés en big bag, et représentent un taux inférieur à 4 %. Ceux-ci sont traités en D.I.S.

Le verre de granulométrie supérieure à 5 mm subit un second rinçage puis est conditionné avant expédition pour un usage en boucle ouverte (verre de sablage).

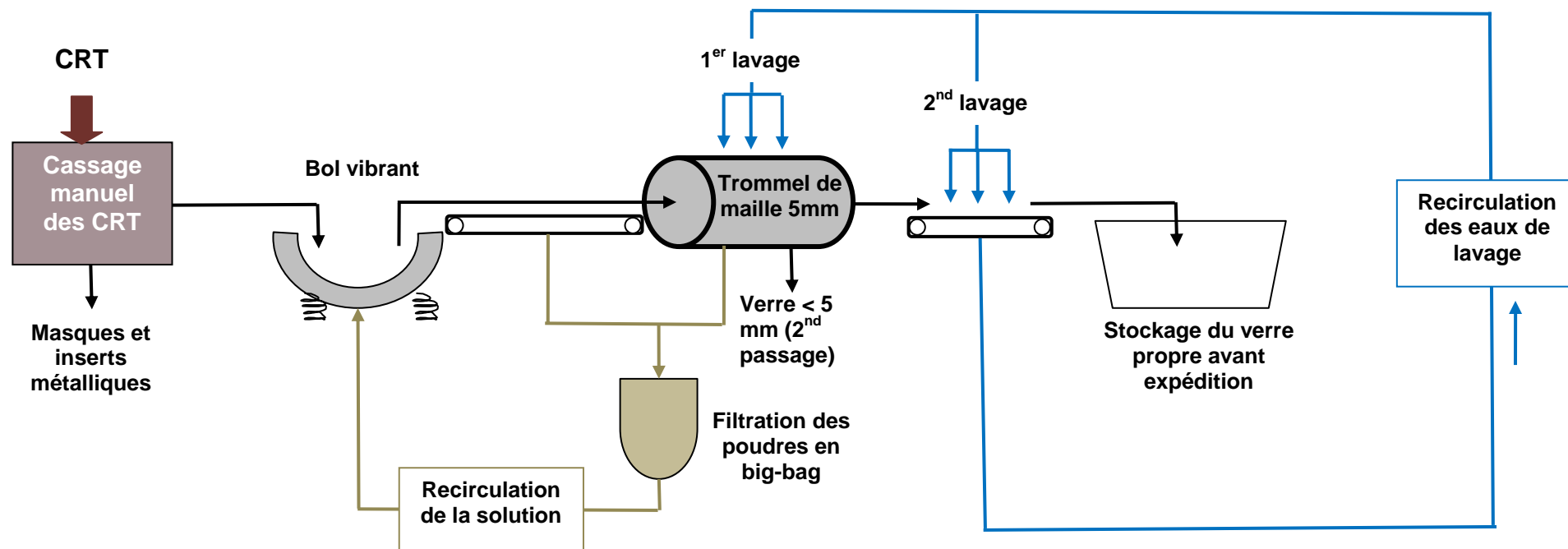
###### **Caractéristiques techniques :**

N.C.

## 4.2. Synoptique des flux



#### 4.3. Schématisation de l'unité de traitement (Cf légende en annexe)



## 5. Indicateurs généraux d'exploitation

- Nombre et nature des fractions sortantes

Ce procédé est avant tout un procédé de dépollution et de préparation des verres issus des tubes cathodiques et non un procédé de séparation. Les fractions sortantes sont, outre les éléments métalliques issus du cassage manuel des tubes, le verre propre valorisable et le mélange de poussières contenant les luminophores et couches recouvrant les surfaces intérieures et extérieures des tubes.

- Indice de recyclabilité des fractions sortantes

Dans le cas du mode d'exploitation de Regain sans séparation de la dalle et du cône des tubes cathodiques, le verre débarrassé des luminophores et des couches de graphite et d'oxyde de fer est directement recyclable pour certaines applications en boucle ouverte (actuellement verre de sablage)

Cependant, la séparation pré- ou post- lavage des verres cône et dalle améliorerait les possibilités de recyclage et permettrait par exemple de valoriser le verre en boucle fermée, filière présentant encore actuellement la meilleure valeur ajoutée.

- Taux et la nature des fractions polluantes extraites (mentionnées dans la directive DEEE)

Suite à la réalisation de tests de lixiviation sur le verre lavé, Regain V.E. indique que le procédé **Dépoll Tubes** permet de retirer plus de 99.9% des poudres luminophores présentes dans les tubes cathodiques.

- Capacité, productivité du procédé

Le procédé fonctionne en cycle de 30 minutes incluant 1/3 de temps au lavage, 1/3 au rinçage, 1/3 au chargement/déchargement. Chaque cycle permet de traiter 500 kg de verre, soit une capacité de 7 tonnes par poste de travail, par jour.

- Coûts, investissements, exploitation

Le cout d'investissement pour une installation comprenant le système de lavage et rinçage est de 150 000 €. Les couts d'exploitation annoncés sont de 150 à 170 € tonnes (incluant le départ du verre en valorisation verre de sablage).

Du fait du pouvoir abrasif important du verre, il est annoncé que le bol doit être démonté et envoyé en maintenance tous les 4 ans.

## **6. Observation de synthèse (points forts, points faibles, limites, obstacles à lever)**

### **Points forts :**

- Retrait total des polluants
- Contrôle des émissions de poussière par voie humide
- Inertage des luminophores
- Gestion des effluents liquides en circuit fermé

### **Points faibles :**

- Absence actuelle de séparation des verres cône et verre dalle, limite des filières de recyclage (lié au mode d'exploitation actuel)

### **Impacts environnementaux :**

Gestion des effluents en circuit fermé

Retrait total des luminophores attesté par test de lixiviation sur le verre

Pas de contrôle des émissions lors de la phase de manuelle de cassage (les opérateurs sont protégés)

## **7. Source, origine des informations, contacts**

Daniel ROUMIER, PDG

Visite du site le 7 août 2008

## FICHE DESCRIPTIVE DE PROCEDE CRT n°8

**TYPE DE FLUX : TUBES CATHODIQUES**

**TYPE DE PROCEDE : Broyage, nettoyage et tri du verre de tubes cathodiques**

**NOM DE L'ENTREPRISE : SwissGlas – Müllheim (Suisse)**

**CONTACT : Jochen Apfel - Project manager**

### 1. Identification et objectif du procédé

La société SwissGlas est l'entité de traitement des tubes cathodiques du leader suisse du traitement des DEEE Immark. Immark a été créé en 1986 pour traiter les premiers appareils électroniques en Suisse et appartient depuis 2004 au fond d'investissement irlandais ONE 51.

L'usine de traitement des tubes cathodiques a été conçue dans une ancienne usine d'incinération et a démarré son activité en 2000. Le procédé actuel décrit dans cette fiche est mis en œuvre depuis 2006, il s'agit d'un procédé de broyage, de nettoyage par voie humide et de tri du verre de tube cathodique afin d'obtenir un produit prêt au recyclage.

### 4. Opérationnalité (propriété industrielle, perspective de développement)

L'usine est avant tout un ensemble de module fournit par différents équipementiers. SwissGlas ne possède pas de brevet sur les équipements présents dans l'usine.

La chaîne de traitement a subi de nombreuses modifications depuis sa mise en route en 2000, en particulier l'installation de l'unité de tri optique rayon X du verre de tubes cathodiques.

### 3. Identification du ou des flux entrants

L'unité accepte des tubes cathodiques de toute nature (TV et moniteurs de toute taille) en vrac en provenance d'unité de démantèlement. L'intégrité des tubes et la présence d'impureté dans le flux n'est pas un problème pour l'obtention d'un flux sortant de verre de qualité.

Les tubes cathodiques sont bennés en vrac dans une alvéole de réception et immédiatement humidifiés afin d'éviter l'envol de poussière.

## **4. Description détaillée du procédé**

### **4.1 Caractéristiques techniques et description de procédé**

#### **Principe de fonctionnement :**

Le procédé consiste en une succession de technologie concourant à l'obtention d'un verre prêt au recyclage : broyage par entrechoquement dans un trommel, tri granulométrique puis enchainement d'étape de nettoyage, préparation granulométrique, extraction des indésirables et enfin tri entre les qualités de verre et contrôle de la qualité du verre trié.

#### **Commentaires sur le synoptique page suivante :**

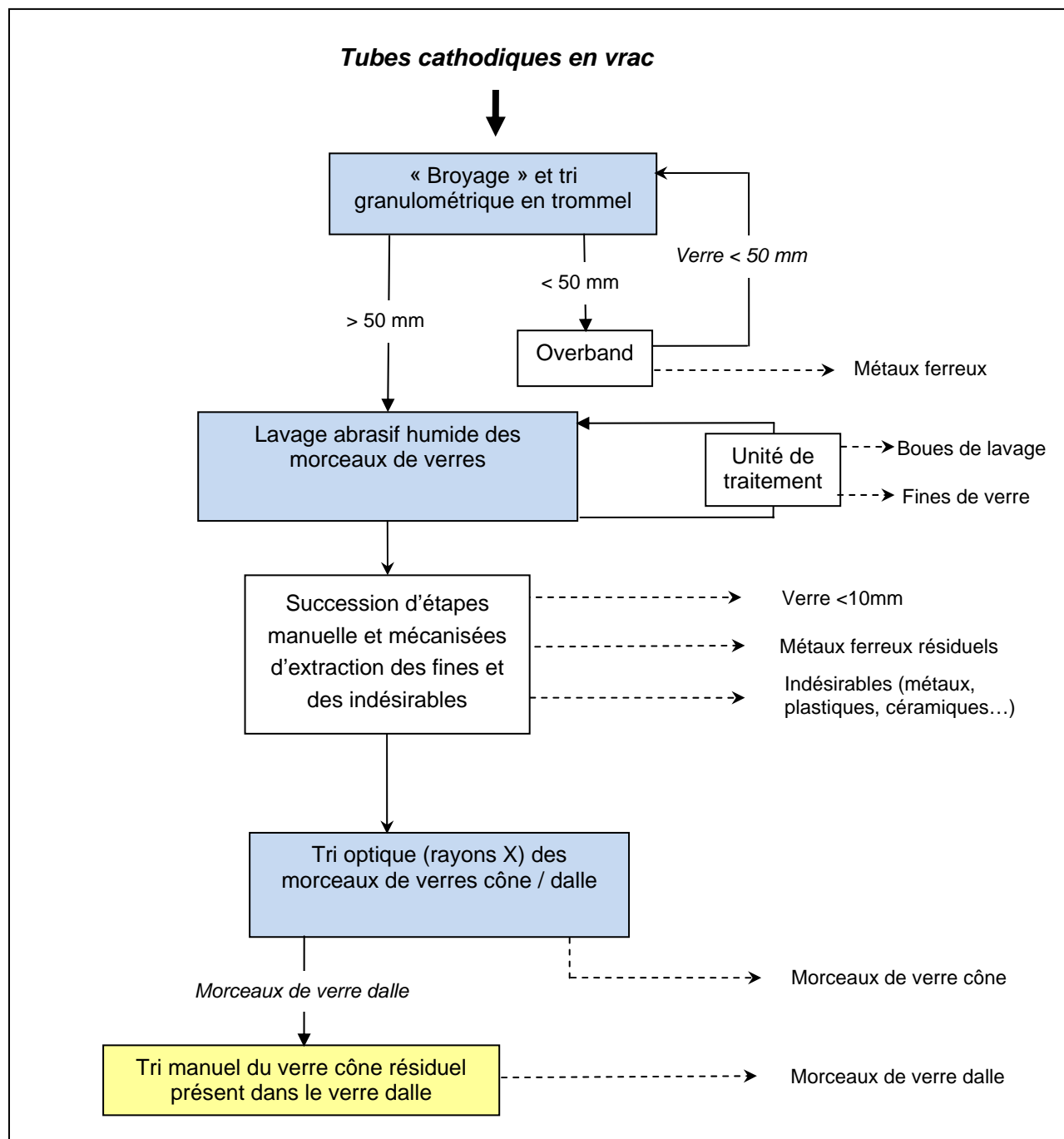
- L'ensemble des fractions métaux ferreux sont regroupées et envoyées chez un seul repreneur
- Les fractions indésirables sont également regroupées
- La première étape de tri manuel occupe 1 personne, la seconde étape 4 personnes

#### **Caractéristiques techniques**

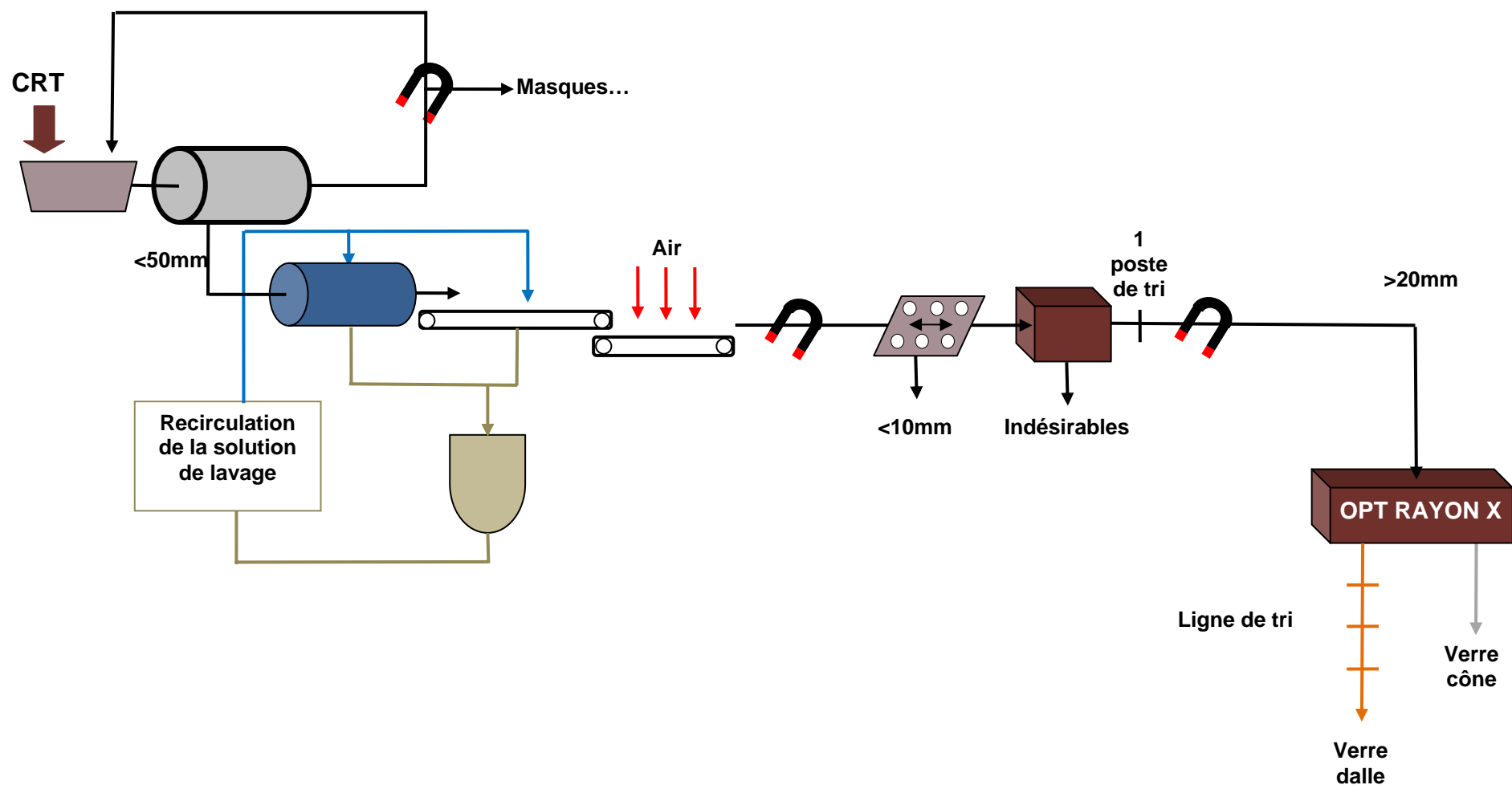
N.C.



## 4.2 Synoptique des flux



### 4.3 Schématisation de l'unité de traitement (Cf légende du guide de lecture)



## 5. Indicateurs généraux d'exploitation

### • Nombre et nature des fractions sortantes

Fractions	Procédés d'obtention	Part relative de chaque fraction	Filières
Métaux ferreux	Tri magnétique	N.C.	Fonderies
Boues issues du traitement	Traitement eaux de lavage	N.C.	NC
Fines de verre	Filtration 0.3mm		Fonderie d'acier
Indésirable + verre	Tri manuel + tri optique		Affinerie de cuivre
Verre mixte 0-10mm	Table vibrante	N.C.	Mélangé au verre cône pour production CRT
Verre cône	Tri optique rayon X		Production CRT
Verre dalle	Tri optique rayon X		Production CRT

### • Indice de recyclabilité des fractions sortantes

L'ensemble des fractions issues de l'installation sont recyclés à 100% (Indice 1) (exceptées les boues).

Les fines de verre et les indésirables (qui contiennent une grande quantité de verre) sont valorisés en laitiers dans les fonderies d'acier et de cuivre (Indice 3)

### • Taux et la nature des fractions polluantes extraites

Les poudres luminescentes sont extraites par l'abrasion des éléments les uns contres les autres et le nettoyage à l'eau du verre. Elles sont filtrées et récupérées par une installation de traitement des effluents.

### • Capacité, productivité du procédé

L'unité a une capacité de traitement de 10 tonnes par heure. Elle traite actuellement 13 000 tonnes par an en une équipe.

## **6. Observation de synthèse (points forts, points faibles, limites, obstacles à lever)**

### **Points forts :**

- Capacité de traitement important en comparaison des procédés avec ouverture de tube cathodique
- Possibilité de traiter des flux de tubes très hétérogènes non débarrassés manuellement de leurs impuretés

### **Points faibles**

- Perte de verre d'environ 15 à 20% pour lequel la valorisation n'a pas de valeur ajoutée (laitiers de fonderie)

### **Impacts environnementaux**

- La consommation d'énergie est de 15kW/h par tonne de tube traitée
- L'ensemble des eaux d'écoulement du site (qui peuvent potentiellement contenir des poudres luminescentes et du plomb) sont récupérées et traitées dans l'unité de traitement des eaux.

## **7. Source, origine des informations, contacts**

Visite de SwissGlas réalisée le 24 septembre 2008

Jochen Apfel, Project Manager SwissGlass

Adrien Antenen, Directeur Général d'Immark France

## FICHE DESCRIPTIVE DE PROCEDE CRT n°9

**TYPE DE FLUX : TUBES CATHODIQUES**

**TYPE DE PROCEDE : Broyage, tri et nettoyage du verre de tubes cathodiques**

**NOM DE L'ENTREPRISE : SIMS RECYCLING SOLUTIONS – Echt (Pays-Bas)**

**CONTACT : Joris Van den Driessche - Directeur commercial Belgique-Luxembourg-France**

### 1. Identification et objectif du procédé

La société Sims Recycling Solutions est une filiale de Sims Metal Management, entreprise Australienne numéro un mondial du recyclage des métaux qui s'est implantée en Europe en 2004, en rachetant entre autre la société de traitement de DEEE Mirec. SIMS est aujourd'hui implanté en Europe (Pays-Bas, Allemagne, Belgique, Royaume Uni,...), en Amérique du Nord (Acquisition récente de la division de recyclage de X-Strata) en Asie et en Australie.

L'usine de traitement des tubes cathodiques est située dans une ancienne briqueterie et a démarré son activité en 2003. Le procédé actuel décrit dans cette fiche est mis en œuvre depuis 2006, il s'agit d'un procédé de broyage des tubes cathodiques, de tri des qualités de verre dalle et cône et de leur nettoyage par voie sèche afin d'obtenir un produit prêt au recyclage.

### 2. Opérationnalité (propriété industrielle, perspective de développement)

L'usine est avant tout un ensemble de modules fournis par différents équipementiers. SIMS ne possède pas de brevet sur les équipements présents dans l'usine.

La chaîne de traitement a subi de nombreuses modifications depuis sa mise en route en 2003, en particulier l'installation de l'unité de tri optique rayon X du verre de tubes cathodiques.

### 3. Identification du ou des flux entrants

L'unité accepte des tubes cathodiques de toute nature (TV et moniteurs de toute taille) en vrac en provenance d'unité de démantèlement. L'intégrité des tubes et la présence d'impuretés dans le flux ne sont pas un problème pour l'obtention d'un flux sortant de verre de qualité.

Les tubes cathodiques sont bennés en vrac dans une alvéole de réception.

#### **4. Description détaillée du procédé**

##### **4.1 Caractéristiques techniques et description de procédé**

###### **Principe de fonctionnement :**

Le traitement des tubes est réalisé en 2 étapes :

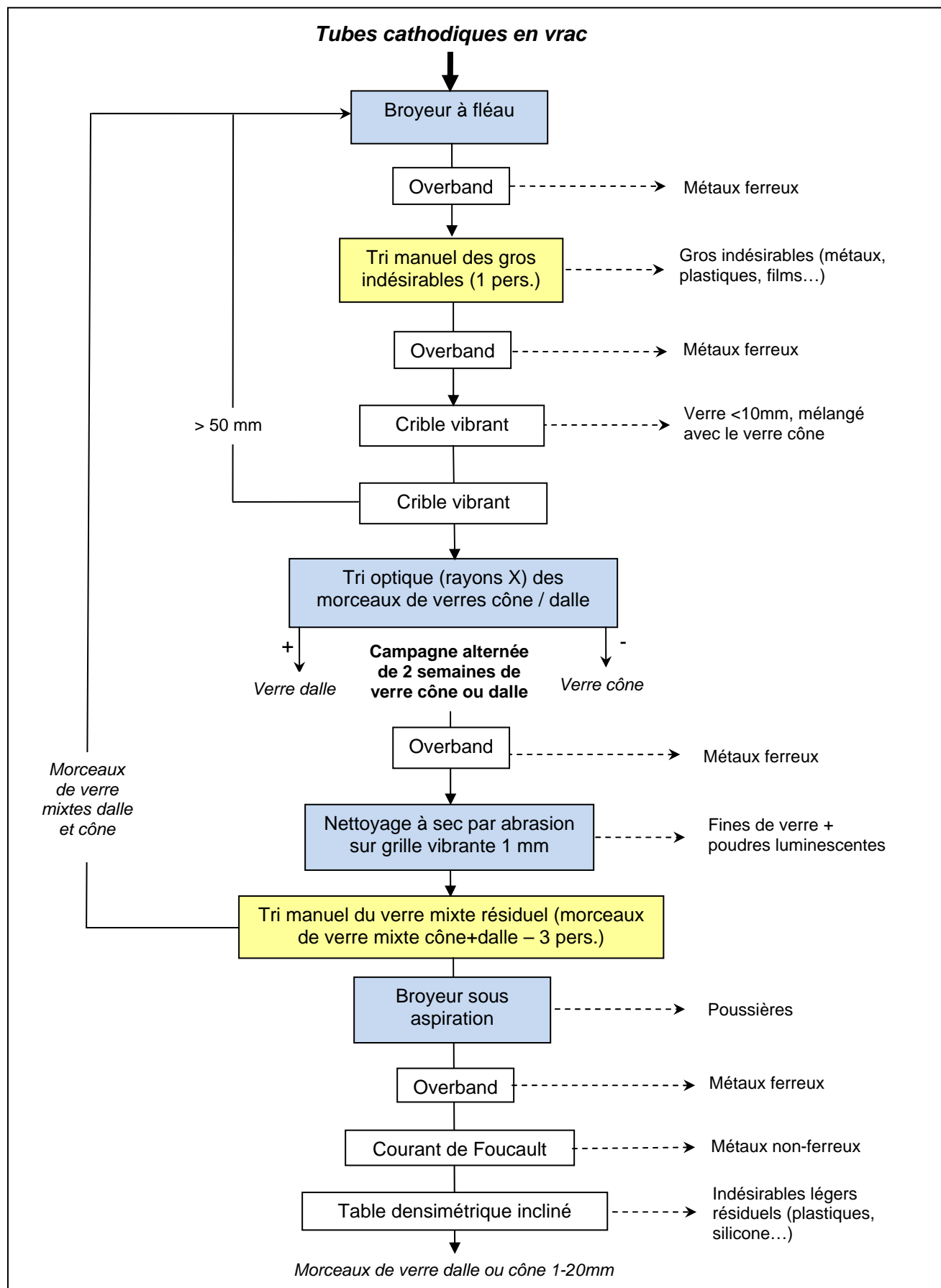
- 1-Le broyage et la séparation des qualités de verre cône et dalle
- 2-Le nettoyage et calibrage du verre cône et dalle par campagne alternée

Au cours de la première étape, le broyage est réalisé par un broyeur à fléau permettant un « cassage » grossier du verre. Il est ensuite débarrassé des plus gros indésirables et trié par une unité de tri optique rayon X. Les produits obtenus sont stockés avant d'être traités alternativement par campagne selon l'étape 2.

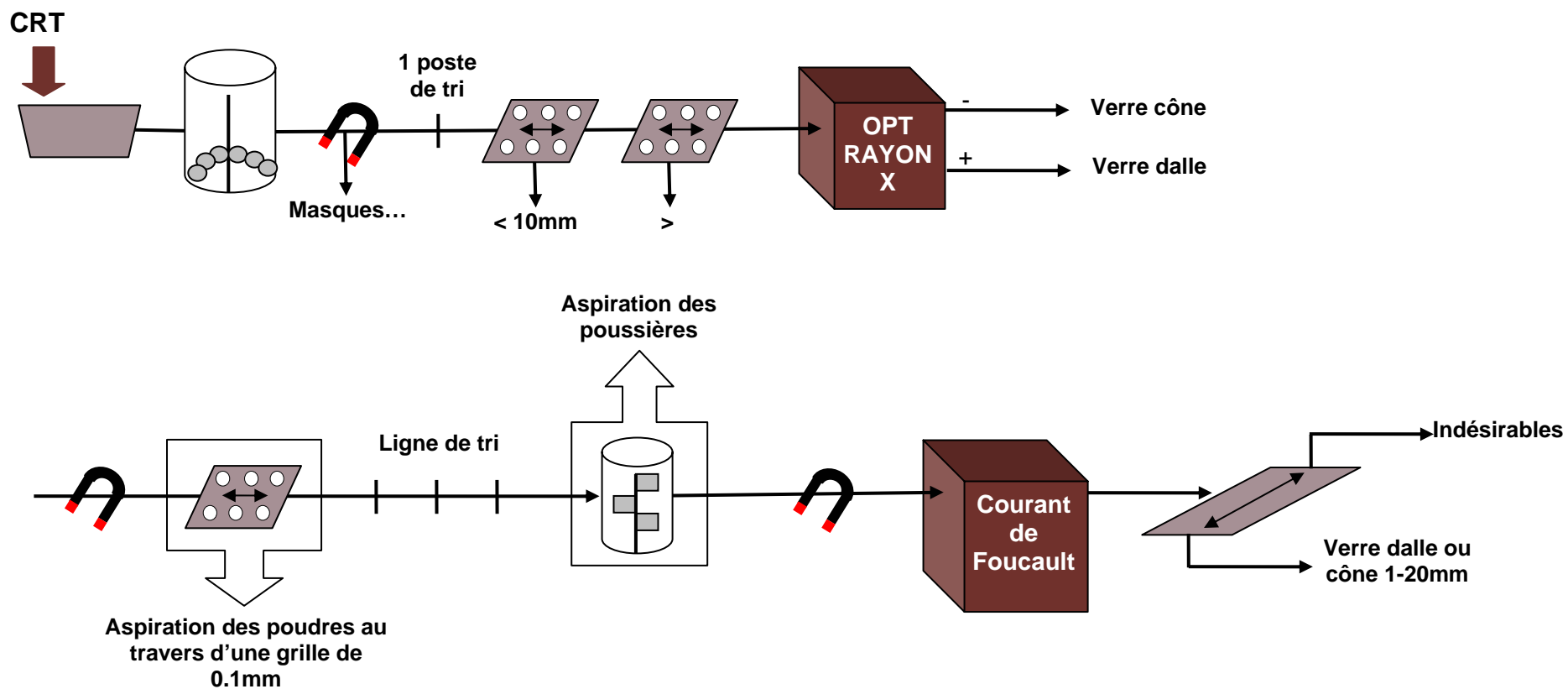
Les lots de verre dalle et cône sont traités alternativement par campagne de 15 jours. Ils subissent successivement une abrasion, un tri manuel, un broyage, une séparation magnétique, une séparation des non-ferreux et une séparation densimétrique des légers résiduels.

Le verre trié est mis en Big-bag puis exporté.

## 4.2 Synoptique des flux



#### 4.3. Schématisation de l'unité de traitement (Cf légende du guide de lecture)





## 5. Indicateurs généraux d'exploitation

- Nombre et nature des fractions sortantes

Le procédé permet la production de 7 fractions. (voir ci-dessous)

- Indice de recyclabilité des fractions sortantes

Fractions	Procédés de séparation	% poids entrants	Technologie filière repreneuse	Indice de recyclabilité
Métaux ferreux	Tris magnétiques	N.C.	Filières métaux	2
Métaux non-ferreux	Courant de Foucault			2
Indésirables	Tri manuel et tri densimétrique		N.C.	3
Fine de verre 0-10mm	Table vibrante		N.C.	N.C.
Poudres issues du nettoyage abrasif	Table vibrante		Enfouissement	3
Verre cône	Tri optique rayon X		Production CRTs	1
Verre dalle	Tri optique rayon X			1

- Taux et la nature des fractions polluantes extraites

Les poudres luminescentes sont extraites par l'abrasion des éléments les uns contre les autres lors de l'étape 2. Le taux d'extraction n'est pas connu.

- Capacité, productivité du procédé

L'unité a une capacité de traitement de 10 tonnes par heure. Elle traite actuellement 40 000 tonnes par an en deux équipes.

- Coûts, investissements, exploitation

NC

## **6. Observation de synthèse (points forts, points faibles, limites, obstacles à lever)**

### **Points forts :**

- Capacité de traitement important en comparaison des procédés avec ouverture de tube cathodique
- Possibilité de traiter des flux de tubes très hétérogènes non débarrassés manuellement de leurs impuretés

### **Points faibles**

- Production de poussière lors de la phase de broyage (le broyeur n'est pas confiné). Un système de sprinkler dans le bâtiment permet de limiter l'atmosphère poussiéreuse. Le bâtiment est interdit d'accès lorsque le broyeur est en fonctionnement, seul le conducteur d'engin dont l'air de la cabine est filtré est présent.

### **Impacts environnementaux**

- Un système de sprinkler (pulvérisation de jus de fruit) permet le contrôle des poussières dans les bâtiments.

## **7. Source, origine des informations, contacts**

Visite de SIMS à Echt le 15 octobre 2008

Contacts:

Joris Van den Driessche Directeur commercial Belgique- Luxembourg-France

Niels Van Steenoven – Operational Manager Glass

## **IV – PROCEDES DE TRAITEMENT PAM**

### **IV.1 Rappel de la délimitation du flux PAM :**

Le flux PAM (« Petits Appareils en Mélange ») est constitué d'un mélange hétérogène de 7 à 8 catégories de la directive 2002/96/CE, regroupant plus de 200 types de produits (SH 4) distincts, plus les indésirables. Le poids unitaire moyen par appareil est de l'ordre de 2 à 3 kg.

Ceci est la réalité observée en France, mais peut différer dans d'autres pays où le PAM ménager est collecté dans 2 flux distincts (exemple en Allemagne : flux 1 : catégories 3 et 4 -> PAM bureautique + électronique grand public + écrans; flux 2 : catégories 2,6,7,8,9 -> PAM autres), réduisant de manière relative la disparité de composition du PAM dans chaque flux et permettant aux opérateurs de conduire des campagnes de traitement séparées pour chacun des flux en vue de récupérer des qualités de matières plus homogènes et plus facilement valorisables (ex : plastiques).

Aux Etats-Unis comme au Japon, il n'existe pas de catégories réglementées PAM faisant l'objet d'une collecte sélective telle qu'on l'entend en Europe. On observe par contre dans ces deux pays des collectes et apports d'équipements informatiques et périphériques en fin de vie, équipements soumis à réglementation au Japon notamment.

Pour les flux professionnels, dans l'organisation actuelle du moins, l'enlèvement se pratique majoritairement par ensembles informatiques et bureautiques complets. A charge dans ce cas, pour l'opérateur de traitement de répartir les appareils présents dans les procédés adaptés ; les procédés PAM pouvant en faire partie, ou certaines fractions pré-désassemblées pouvant y être dirigées.

### **IV.2 Technologies de traitement PAM :**

Le tableau ci-après synthétise les technologies présentées dans le cadre de l'étude sur le traitement du flux PAM.

Pour chaque acteur sont exposées les séquences de technologies couvertes par le procédé.

**Tableau : Technologies de traitement PAM présentées**

ACTEUR	FLUX ENTRANT	SEQUENCES DE TECHNOLOGIES COUVERTES													Nombre de fractions séparées	N° FICHE
Identité	PAM ou fraction de PAM	Extractions manuelles	Broyage / Eclatement			Séparation métaux ferreux	Extractions manuelles post-broyage	Réduction granulométrique		Séparation d'1 mélange de métaux non-ferreux	Séparation d'1 mélange de plastiques	Tri des métaux non-ferreux entre eux	Tri des plastiques entre eux	Valorisat® énergétique plastiques / Production de combustible		
			Désinté-grateur	Cisaille rotative / broyeur à couteaux	Broyeur type VHU			Granulateur	Broyeur à impacts							
Exploitants d'installations :																
ECOTRI (France-29)	PAM	X	X			X	X								de l'ordre de 20 fractions	PAM 1
TRIADÉ (France-49)	PAM	X	X			X	X		X	X	X				de l'ordre de 35 fractions	PAM 2
REMONDIS (All.)	PAM	X		X		X	X	X		X	X	X			de l'ordre de 35 fractions	PAM 3
GALLOO (Bel, France)	PAM	X			X	X				X	X	X	X		de l'ordre de 60 fractions	PAM 4
SIMS (NL)	PAM	X		X		X		X		X	X	X	X		NC	PAM 5
IMMARK (Suisse)	PAM	X	X			X	X	X		X	X	X			NC	
GEEP (Canada)	fraction de PAM <sup>(1)</sup>													X	s.o.	
WERSAG (All.)	fraction de PAM <sup>(1)</sup>												X		NC	
MBA POLYMERS (Autriche)	fraction de PAM <sup>(1)</sup>												X		NC	PAM 6
Fournisseurs d'équipements :																
MEWA (All.)	PAM		X			X		X		X	X				s.o.	PAM 7
BHS (All.)	PAM		X			X			X	X	X				s.o.	PAM 8
ARTECH (All.)	PAM			X				X							s.o.	
PELLENC (France-84)	fraction de PAM <sup>(1)</sup>											X	X		s.o.	OPT1
TITECH (Suède)	fraction de PAM <sup>(1)</sup>											X	X		s.o.	OPT2
HAMOS (All.)	fraction de PAM <sup>(1)</sup>											X	X		s.o.	
FINAXO (France-77)	fraction de PAM <sup>(1)</sup>													X	s.o.	PAM 9
ALPHAKAT (All.)	fraction de PAM <sup>(1)</sup>													X	s.o.	PAM 10

<sup>(1)</sup> Résidus de broyage, mélanges de plastiques

### Commentaires :

Le tableau précédent illustre les diversités d'intégration d'étapes et de technologies de séparation des matières entre les différents acteurs présentés, exploitants d'installations ou fournisseurs de procédés de traitement PAM.

Ces différents niveaux d'intégration sont logiquement corrélés au nombre de fractions séparées par le procédé de traitement. Dans le cas d'un « faible » niveau de séparation des matières, les fractions obtenues qui sont un mélange hétérogène de matières (mélange de métaux non-ferreux/plastiques par exemple) font nécessairement l'objet d'une préparation ultérieure par le(s) ou la chaîne de repreneur(s) dans le but d'aboutir à la production de matières séparées propres à alimenter un procédé de recyclage (affinerie, plasturgie).

On constate que les technologies mécanisées de séparation les plus pointues sont mises en œuvre précisément lors de ces étapes de tri de matières en mélange (métaux non-ferreux, plastiques).

Se dessinent deux typologies principales de traitement du PAM :

- Le traitement en installation dédiée DEEE, basé sur un procédé d'éclatement des appareils (ex : désintégrateur, cisaille rotative) d'une capacité de l'ordre de 4 t/h (en continu), et intégrant une succession plus ou moins poussée d'étapes de séparation des matières et composants – certaines de ces installations peuvent traiter d'autres types de DEEE (cartes électroniques, GEM Froid)
- Le traitement en installation non dédiée DEEE, basé sur un procédé de broyage des appareils (broyeur type VHU) d'une capacité pouvant atteindre 40 t/h (campagnes de quelques jours par mois), et intégrant le traitement des résidus de broyage obtenus pour séparation des matières

Le retrait de la plus grande partie des substances et composants mentionnés dans l'annexe II de la directive 2002/96/CE est dans tous les cas opéré de manière manuelle, que ce soit avant l'étape d'éclatement/broyage des appareils PAM ou après. Sont également retirés à la main lors de ces étapes certains composants à valeur positive faciles d'accès.

Le tableau ci-après présente en complément les différentes technologies de tri de mélange de matières issues du PAM, identifiées dans le cadre de l'étude.

Procédés de tri		Flux triés par procédé			
		Broyats bruts en mélange	Mélanges de métaux non ferreux	Mélanges tous "plastiques" (thermoplastiques, thermodurcissables, mousses...)	Mélanges de polymères à trier
					par nature bromés / non bromés
Overband		X			
Courants de Foucault		X			
Séparations densimétriques voie humide		X <sup>(1)</sup>	X <sup>(2)</sup>	X <sup>(4)</sup>	X <sup>(4)</sup> X
Séparations densimétriques voie sèche			X	X	
Séparations par voie électrostatique					X
Tris optiques	par couleur		X <sup>(3)</sup>		
	magnéto-optique (couleur)				
	proche infrarouge				X <sup>(5)</sup> (sauf les noirs)
	rayons X				X
Systèmes combinés et autres			X	X	X

Indicateurs de capacité (t/h) rencontrés par flux trié :

(1) de l'ordre de 10 à 20 t/h

(2) de l'ordre de 5 à 10 t/h

(3) de l'ordre de 0,6 à 1 t/h

(4) de l'ordre de 5 à 20 t/h

(5) de l'ordre de 2 à 5 t/h (automatique sur convoyeur)

### IV.3 Fiches descriptives

Ci-après sont présentées les 10 fiches descriptives de procédés de traitement de PAM.

## FICHE DESCRIPTIVE DE PROCEDE PAM n°1

**TYPE DE FLUX : PAM**

**TYPE DE PROCEDE : Installation mécanisée de traitement de PAM**

**NOM DE L'ENTREPRISE : Les Ateliers Fouesnantais - Ecotri**

**CONTACT : M. Hervé DANIEL – Responsable DEEE, M. Philippe FILLETTE –  
Directeur Général Ateliers Fouesnantais**

### 1. Identification et objectif du procédé

Ecotri regroupe les activités de traitement des déchets de l'entreprise d'insertion Les Ateliers Fouesnantais. La société exploite depuis mai 2007 sur son site de St Evarzec (29) une ligne de traitement manuelle et mécanisée du PAM, fournie par la société MEWA (cf. fiche MEWA PAM n°7) dont le cœur du système est le désintégreur MEWA QZ 1600.

Cette installation vise à produire un certain nombre de fractions séparées recyclables en l'état mais n'a pas pour objectif de valoriser l'ensemble des matériaux en particulier les plastiques, valorisation nécessitant une massification importante des flux pour amortir les investissements lourds que requiert ces technologies (flottation, tri optique...)

Le choix fait sur cette installation est l'obtention d'un résidu de broyat mixte (plastiques et métaux non ferreux) riche, prêt pour une étape de séparation ultérieure par les repreneurs.

### 2. Opérationnalité, propriété industrielle, perspective de développement

L'installation est totalement opérationnelle.

L'ensemble de l'installation est fournie par la société MEWA qui détient le brevet du procédé (cf. fiche MEWA).

Par ailleurs, Ecotri est en train de monter une ligne de traitement des écrans incluant le traitement des tubes cathodiques. Ecotri ne souhaite pas communiquer pour l'instant sur ce projet.

### 3. Identification du flux entrant et conduite d'exploitation

Ecotri traite principalement dans son installation du PAM ménager mais indique avoir déjà traité du PAM professionnel (gros photocopieur et baies électriques pré-démantelés, coffres-forts plastiques...) ainsi que des flux non PAM (coques plastiques d'écrans...).

Les flux doivent pouvoir être introduit dans une ouverture de 800mm par 800mm.

## 4. Description détaillée du procédé

### 4.1 Caractéristiques techniques et description de procédé

#### Principe de fonctionnement :

L'installation s'articule en 4 grandes étapes :

- Une pré-dépollution du PAM manuelle
- Un déchiquetage mécanisé des produits pré-dépollués (Module MEWA QZ)
- Une extraction des métaux ferreux par overband
- Une extraction manuelle sur lignes de tri sur les flux déchiquetés

Lors de la première étape (extractions manuelles), Ecotri extrait les fractions suivantes :

- Cartons ;
- Tonner ;
- Câbles électriques ;
- Indésirables (écrans, radiateurs bain d'huile...).

Le QZ est un désintégrateur à chaîne (à fléau), l'unité est alimentée par le haut, les appareils tombent et sont entraînés dans un mouvement circulaire par une chaîne. L'entrechoquement des appareils entre eux cause leur éclatement et la séparation des différents constituants.

Le réglage de la taille d'ouverture de la porte de sortie permet d'obtenir des éléments en sortie plus ou moins « éclatés ». L'amplitude d'ouverture proposée sur le QZ 1600 est de 0 à 440mm.

Cette amplitude d'ouverture est programmable et modifiable en permanence. Dans le cas du PAM, Ecotri a établi un programme de conduite de l'installation en partenariat avec MEWA en fixant des temps d'ouverture à différentes tailles : l'ouverture augmente par palier de quelques dizaines de secondes de 350 à 440 mm.

L'augmentation de l'ouverture permet entre autre d'éviter le bourrage en facilitant la sortie des grosses pièces non « éclatables » par les fléaux.

Ecotri indique qu'elle est réglée à 50mm pour des coques plastiques d'écrans.

Afin d'éviter la fonte des plastiques due à l'augmentation de la température et les risques d'explosion liés aux poussières, de la mousse est pulvérisée en permanence dans la chambre de désintégration. Un système de refroidissement liquide (eau dans les parois) permet aussi de réguler la température qui est mesurée en permanence.

En cas de hausse anormale de la température, un système d'inertage au CO<sub>2</sub> se déclenche automatiquement.

Une fois démantelé, le flux est déferrailé (un tri manuel complémentaire est réalisé sur le flux magnétique) puis trié manuellement sur un tapis de tri sur lequel sont extraites les fractions suivantes :

- Cartes électroniques ;
- Condensateurs ;



- Aluminium ;
- Cuivreux ;
- Gros moteur ;
- Transformateur et alimentation UC ;
- Disques durs.

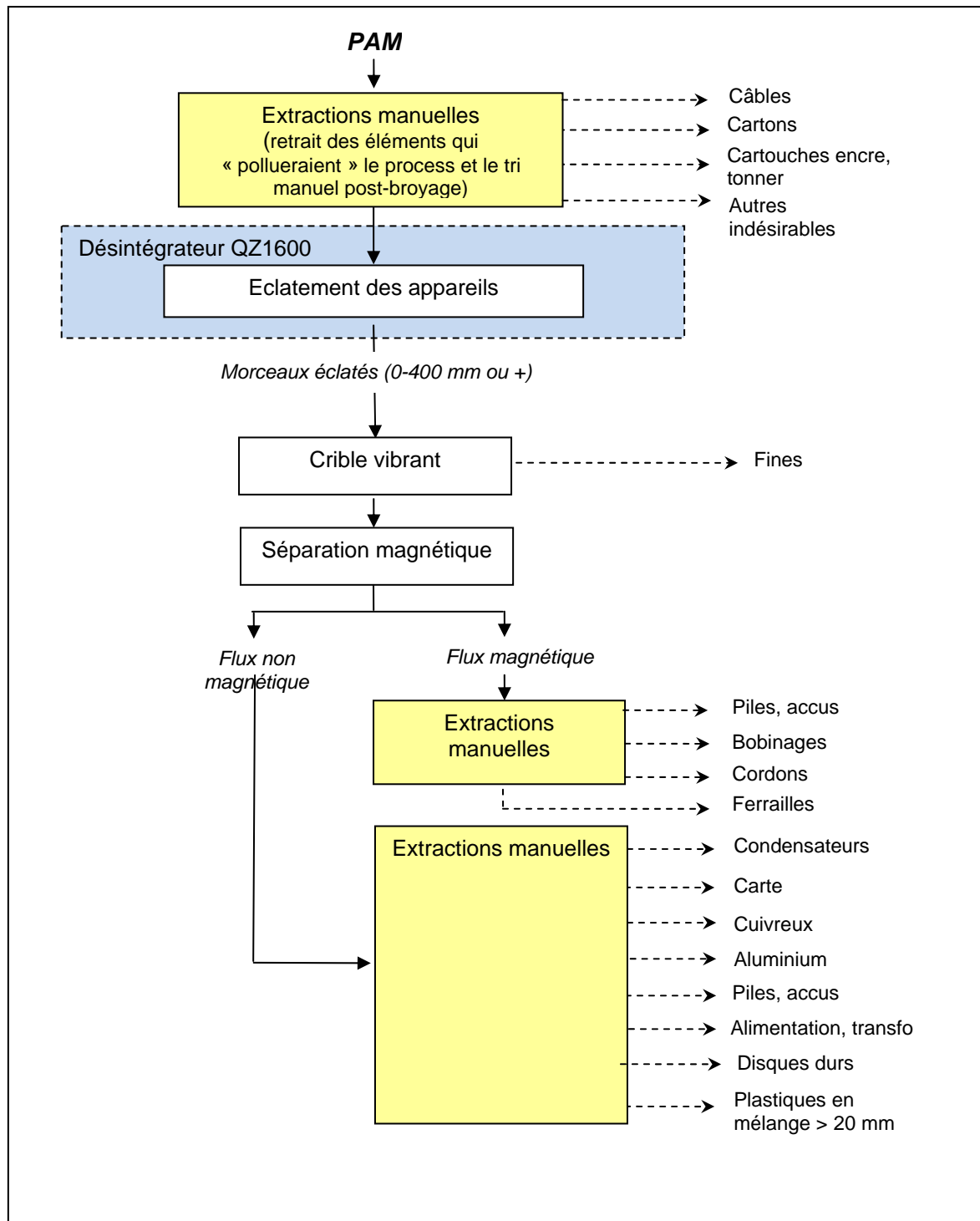
Le flux négatif, composé de plastique et de métaux non ferreux est envoyé pour traitement ultérieure chez Galloo Plastique (Cf. fiche PAM n°4)

**Caractéristiques techniques :**

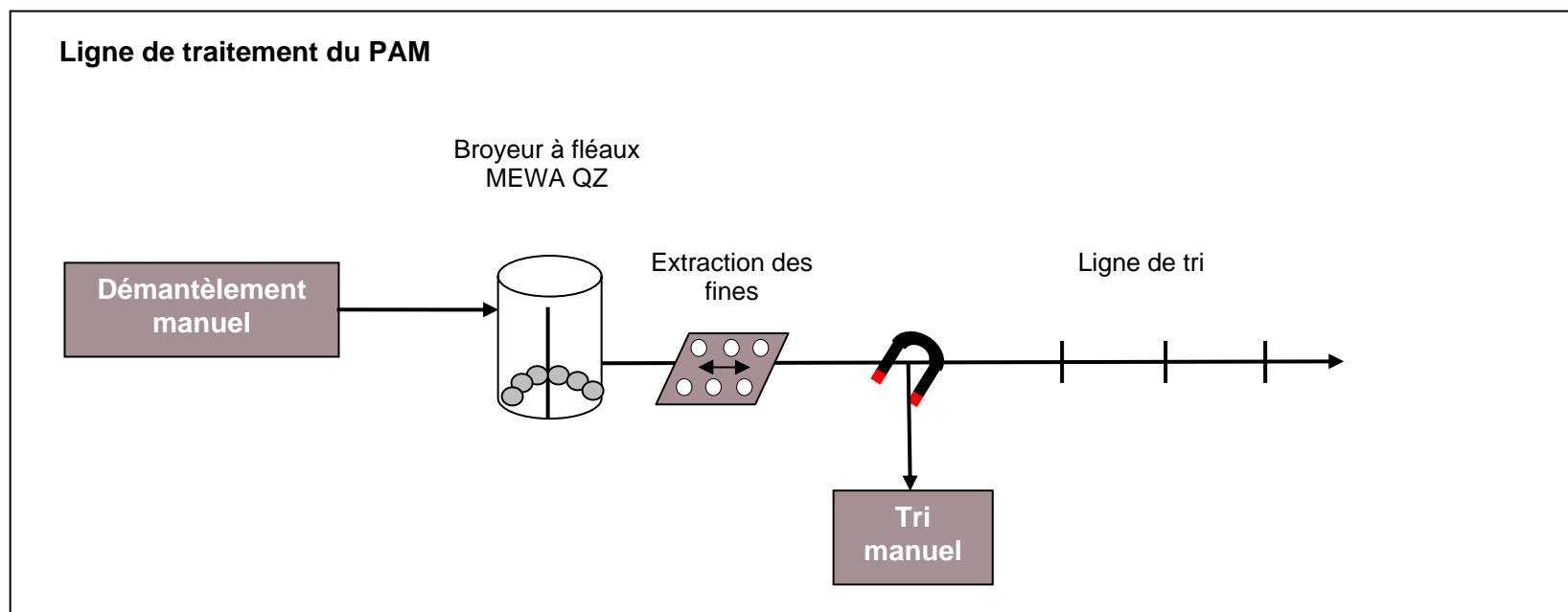
Cf fiche MEWA (Fiche PAM n°7)

## 4.2 Synoptique des flux

Schématisation des technologies en présence (cf. légende en annexe)



#### 4.3 Schéma de principe de la ligne de tri



## 5. Indicateurs généraux d'exploitation

- Nombre et nature des fractions sortantes :

Bilan matières-type obtenu après traitement par le procédé de PAM ménager <sup>(1)</sup>:

Etape de séparation	Fractions séparées	Technologie filière repreneuse	% du poids entrant (1)
Extraction manuelle	DIB	décharge	4%
	Cartons	production de papier / carton	3%
	Encres et toner	réutilisation de composants	
	Câbles	fonderie de cuivre « traditionnelle »	
	Indésirables (écrans, grosses pièces...)		
Overband après broyeur	Métaux ferreux	aciérie « traditionnelle »	45%
Extraction manuelle sur tapis de tri	Cartes pauvres	autres fonderies	2%
	Cartes riches	autres fonderies	
	Alu	fonderie d'aluminium	2%
	Condensateurs	incinération des déchets dangereux	3%
	Zamac	autres fonderies	
	Transfo-Moteurs (cuivre)	fonderie de cuivre « traditionnelle »	
	disques durs	autres fonderies	
	Piles et accus	Filière piles et accus	
Flux "négatif"	Mixtes	Extraction des métaux et recyclage de matières plastiques	41%
<b>Total</b>			<b>100%</b>

(1) valeurs indicatives déclarées par Ecotri ou estimation Terra sur la base de divers retours d'expérience; nécessairement variables en fonction de la composition du flux entrant

### Commentaires :

La stratégie de traitement d'Ecotri consiste à l'obtention d'un flux négatif « riche » susceptible d'intéresser les repreneurs. Une extraction poussée des métaux non-ferreux engendrerait un flux plastique qu'Ecotri ne saurait pas traiter et plus difficile à évacuer vers les filières avalées.

Le taux de recyclage est de 54% sur les flux « purs ». Sur le flux « mixtes », les métaux non-ferreux sont retirés et les matières plastiques sont traitées flottées, le taux de valorisation obtenus sur ce flux sont d'environ 30%, soit un taux de valorisation global de 84%.

En appliquant une valorisation énergétique des pastiques thermodurcissables, le taux de valorisation pourrait atteindre 87%.

- L'indice de recyclabilité des fractions sortantes :

Les fractions hors « mixtes » sont directement valorisées par les filières repreneuses (Indice 1 et 2). La fraction « mixte » est un mélange hétérogène de plastiques, caoutchouc, bois et métaux non ferreux nécessitant un traitement complémentaire poussé (indice 3).

Il s'agit d'un choix de l'exploitant qui a souhaité conserver une fraction hétérogène riche valorisable par certains repreneurs plutôt que de pousser l'extraction plus loin et obtenir une fraction peu valorisable, peu intéressante pour les repreneurs.

- Taux et la nature des fractions polluantes extraites (mentionnées dans la directive DEEE)

Cette technologie de désintégration permet la récupération des polluants tels que condensateurs, piles et accus, cartes électronique contenant des retardateurs de flammes bromés sur tapis de tri.

Le taux d'intégrité de ces éléments ne peut être qualifié de « total » mais apparait « haut » limitant la dispersion des polluants.

- Capacité, productivité du procédé

La capacité nominale annoncée par MEWA du procédé est de 4t/h. La capacité opérationnelle obtenue par Ecotri est en réalité de 3t/h (variation entre 2.8 et 3.5 t/h en fonction du flux entrant et des aléas d'exploitation).

- Coûts, investissements, exploitation

Le QZ1600 est un investissement d'environ 1 million d'euros, la ligne complète (Process et bâtiment) de 3.5 millions d'euros.

## **6. Observations de synthèse (points forts, points faibles, limites, obstacles à lever)**

### **Points forts :**

- Le QZ présente une grande souplesse d'utilisation en permettant la désintégration d'équipements variés.
- Il permet une récupération des fractions séparées intègres (cartes électroniques, disques durs...)

### **Points faibles :**

- La valorisation matière nécessite des opérations de tri des métaux et plastiques en aval.

### **Impacts environnementaux**

Les composants polluants sont récupérés sur la chaîne de tri.

## **7. Source, origine des informations, contacts**

M. Hervé DANIEL, Responsable de l'activité DEEE

M. Philippe FILLETTE, Directeur Général Ateliers Fouesnantais

Visite du site le 24 juin 2008

## FICHE DESCRIPTIVE DE PROCEDE PAM n°2

**TYPE DE FLUX : PAM**

**TYPE DE PROCEDE : Installation mécanisée de traitement de PAM**

**NOM DE L'ENTREPRISE : Triade Electronique Saint Sylvain d'Anjou**

**CONTACT : Mr. Gallard, directeur industriel**

### 1. Identification et objectif du procédé

Triade exploite depuis Avril 2008 sur son nouveau site de Saint Sylvain d'Anjou (49) une ligne de traitement mécanisée du PAM, fournie par la société BHS (cf. fiche BHS). Cette installation vise à produire des fractions séparées recyclables en l'état ou prêtes pour une étape de séparation ultérieure par le repreneur ou en interne sur site ou prêtes pour un traitement spécialisé (ex : polluants).

### 2. Opérationnalité, propriété industrielle, perspective de développement

L'installation récente (avril 2008) est opérationnelle même si des réglages réguliers sont encore nécessaires (partie mécanisée à l'arrêt le jour de la visite pour cause de réglage/entretien de la trémie d'alimentation).

L'ensemble de l'installation est fournie par la société BHS (sauf certains éléments de transitique) qui détient le brevet du procédé (cf. fiche PAM n°7). Le procédé est encore en phase d'évolution et de calage.

Une installation complémentaire de séparation des plastiques (notamment thermoplastiques à usage industriel) est en projet dans un autre bâtiment sur le site Triade Saint Sylvain d'Anjou.

### 3. Identification du flux entrant et conduite d'exploitation

L'installation traite tous types de PAM et cartes électroniques pauvres, avec des campagnes séparées pour :

- Le PAM ménager (campagnes distinctes par éco-organisme)
- Le PAM professionnel (bureautique, matériel professionnel...)

La taille des appareils entrants dans le broyeur rotatif BHS ne doit pas dépasser 600x600x600mm.

- Les cartes électroniques pauvres (issues de PAM ou d'écrans), l'étape préalable d'extractions manuelles (cf. 4.1) n'existant pas pour ce flux ; les cartes électroniques riches (issues d'écrans plats, de DEEE professionnels...) sont reprises en l'état par des affineurs de métaux précieux.

## **4. Description détaillée du procédé**

### **4.1 Caractéristiques techniques et description de procédé**

#### **Principe de fonctionnement :**

Le procédé s'articule en 4 grandes étapes :

- Une pré-dépollution manuelle du PAM
- Un déchiquetage mécanisé des produits pré-dépollués
- Une étape complémentaire d'extractions manuelles sur lignes de tri sur les flux déchiquetés
- Une préparation de certaines fractions à dominante plastique : séparation des métaux, des poussières et des plastiques.

#### **Commentaires du synoptique de flux ci-après :**

Lors de la première étape (extractions manuelles), Triade extrait des fractions supplémentaires par rapport au « strict minimum » préconisé par BHS (cf. fiche PAM n°7):

- Corps étrangers (bouteilles de gaz, écrans) ;
- Grosses pièces (tondeuses, gros moteurs, matériels divers...) ;
- Cartes électroniques libres ;
- Piles et accumulateurs libres ;
- Huiles de friteuse ;
- Bois d'enceintes ;
- Radiateurs à bain d'huile.

La fraction « plastiques en mélange > 20 mm » est doublée chez Triade Saint Sylvain d'une fraction « grosses pièces plastiques » retirée à la main en cabine, qui est dirigée vers un procédé de reconnaissance par infrarouge de la nature du plastique (PS, ABS, PP, ABS-PP, etc.) et de son caractère bromé ou non (passage « à la main » de chaque pièce plastique devant la cellule d'identification du polymère). Les pièces plastiques ainsi séparées sont ensuite réduites au moyen d'un granulateur, avant reprise par un plasturgiste.

La fraction « plastiques en mélange > 20 mm » d'une granulométrie moyenne autour de 100 mm est déclarée par Triade devoir être traitée à terme sur un procédé approprié (en projet – déclaré confidentiel) de séparation des plastiques par nature sur le site de Triade Saint Sylvain d'Anjou. Le but de ce procédé sera de séparer :

- Les thermoplastiques par nature (ABS, PS, PE, PMMA, ABS-PC...) et selon leur caractère bromé ou non -> reprise des plastiques ainsi séparés en plasturgie (les plastiques bromés ne pouvant servir à la refabrication d'équipements électriques et électroniques mais devant trouver d'autres applications) ;
- Des thermodurcissables (époxy, polyester...) -> qui seront au mieux valorisés énergétiquement ou à défaut enfouis en CET.

En attendant que ce procédé soit opérationnel, cette fraction « plastiques en mélange > 20 mm » est dirigée aujourd'hui vers le « broyeur différentiel RPMV », après passage au « broyeur RS » pour réduction granulométrique.

### **Caractéristiques techniques :**

#### **Broyeur rotatif BHS (dit « RS »)**

Cette technologie également appelée « désintégrateur » est destinée à « ouvrir » les produits, et à obtenir des morceaux les plus gros possibles et les plus homogènes possibles

- Dimensions de la chambre de broyage (modèle RS2018) : 2m (diamètre) x 1,8m (hauteur)
- Poids : ~21,5 t
- Matériau de construction du cylindre : ardox (alliage)
- Technologie d'éclatement des produits : nombre variable au choix de 6 à 10 pales rectangulaires métalliques (non coupants) montés sur un axe vertical rotatif – vitesse de rotation réglable : de 500 à 900 tr/min
- Chargement des produits par le haut
- Ouverture en bas réglable : de 0 à 200 mm
- Cylindre étanche avec système d'aspiration des poussières (15000 m<sup>3</sup>/h) relié à un filtre à poussières
- Température interne inférieure à 50°C grâce à la ventilation (pas de fusion des plastiques, qui démarre à partir de 70-80°C)
- Productivité de 4 à 5 t/h pour les PAM (Modèle RS2018)
- Puissance d'entraînement (max) : autour de 110 kW

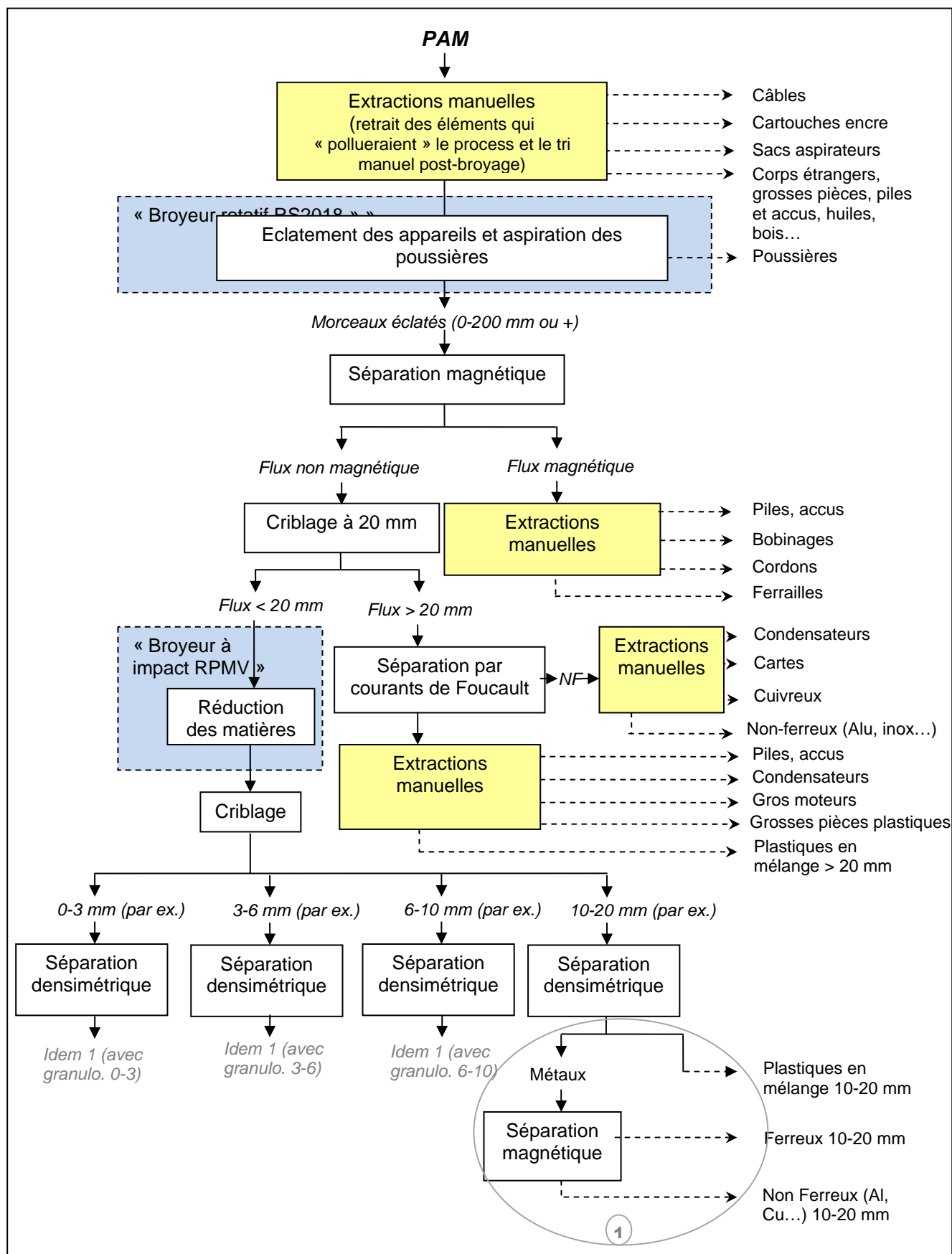
#### **Broyeur à impact BHS (dit « RPMV »)**

Cette technologie également appelée « broyeur différentiel » est destinée à broyer et réduire la taille des matières cassantes et dures (ex : plastiques durs) et à transformer en billes les métaux non ferreux ; Elle est la version « perfectionnée » du moulin à impacts utilisé depuis plusieurs décennies dans les carrières.

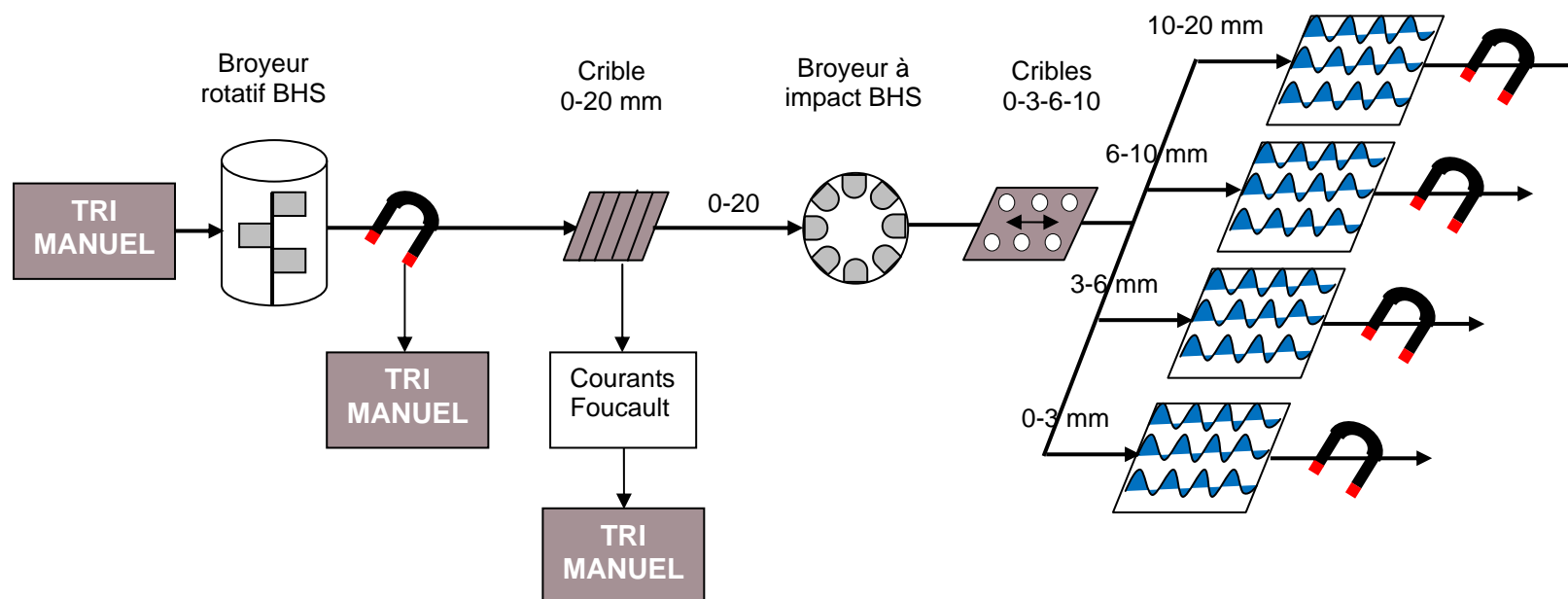
- Technologie de réduction de volume : nombre variable au choix de 6 à 12 marteaux en forme de fer à cheval disposés à l'intérieur du cylindre sur les parois – vitesse de rotation réglable du cylindre : autour de 1500 tr/min.
- Ouverture pour libération des extrants à 20 mm
- Productivité : jusqu'à 5t/h pour les DEEE



## 4.2 Synoptique des flux



#### 4.3. Schématisation des technologies en présence (cf. légende en annexe)



## 5. Indicateurs généraux d'exploitation

- Nombre et nature des fractions sortantes : cf. synoptique des flux, de l'ordre de 35 fractions (variable suivant la composition du flux entrant et les choix opérationnels de l'exploitant)
- Indice de recyclabilité des fractions sortantes : NC
- Taux et nature des fractions polluantes extraites : NC
- Capacité, productivité du procédé :
  - Productivité déclarée étape 1 manuelle (8 pers.) : 6 à 7 t/h
  - Productivité installation mécanisée à partir du broyage RS : 4 t/h
- Coûts investissement, exploitation :
  - Exploitation :
    - o Nombres de postes affectés au tri manuel : 8 pers. (étape 1) + 10 personnes en cabine
    - o Fonctionnement en 2 équipes / jour
  - Coûts, investissement : NC

## 6. Observations de synthèse

### Points forts:

- Broyeur RS combiné à overband/courant de foucault : Capacité de séparation de « plastiques en mélange » de granulométrie autour de 100mm, propres à être séparés ultérieurement par le procédé en projet
- Procédé RPMV : bonne performance de séparation des métaux entre eux (d'une bonne qualité de pureté) et des poussières présentes dans les fractions plastiques en mélange
- Technologie de reconnaissance des plastiques (grosses pièces) avec retardateurs de flamme

### Point faible / limite :

- Nécessité de retirer les objets de grande taille du flux entrant, avant l'étape de broyage/éclatement

### Impact environnemental:

- Contrôle des émissions : filtre à poussières sortie aspirations (15000 m3/h sur broyeur RS, 60000 m3/h pour l'installation complète inclus RPMV)
- Cabines de tri équipées d'air pulsé dirigé afin d'éviter les turbulences et suspensions de poussières sur tapis de tri

## 7. Source, origine des informations, contacts

M. Gallard, M. Fournier (Triade Electronique) ; visite d'installation du 28/05/08

## FICHE DESCRIPTIVE DE PROCEDE PAM n°3

**TYPE DE FLUX : PAM**

**TYPE DE PROCEDE : Installation mécanisée de traitement de PAM**

**NOM DE L'ENTREPRISE: REMONDIS ELEKTRORECYCLING, Allemagne**

**CONTACT: Nico Krukenberg, Project manager**

### 1. Identification et objectif du procédé

Procédé mécanisé de traitement du PAM exploité par Remondis sur son site de Luenen en Allemagne.

### 2. Opérationnalité (propriété industrielle, perspective de développement)

Remondis a mis en exploitation en mars 2006 sur son site de Luenen une ligne mécanisée de traitement du PAM, qui va relativement loin dans la séparation des matières notamment métalliques non ferreuses.

L'installation se compose de différents modules qui ont été pour la plupart développés et mis sur le marché par des fournisseurs ; la conception générale de la ligne de traitement, notamment le choix des technologies de tri (modules) et leur positionnement dans la ligne de traitement revient à Remondis.

### 3. Identification du flux entrant

L'installation type traite 95% de PAM ménager et de 5% de PAM professionnel (PAM détenus par des entreprises).

Concernant le PAM ménager, celui-ci est collecté en 2 flux distincts en Allemagne :

- Le PAM ménager listé dans les catégories 3 (Equipements informatiques et de télécommunication) et 4 (Matériel grand public) de la directive 2002/96/CE (inclus écrans collectés en mélange avec le PAM de ces catégories) <sup>1</sup>
- Le PAM ménager listé dans les autres catégories 2, 6, 7, 8 et 9

Ces 2 flux sont stockés dans 2 alvéoles distinctes à réception et sont traités alternativement en campagnes séparées sur la même ligne de traitement (1x8h : campagne PAM catégories 3 et 4 ; 2x8 h : campagne PAM autres catégories).

<sup>1</sup> Les écrans (à tube cathodique, écrans plats, ordinateurs portables) sont triés et retirés du « PAM » à la main avant toute opération de traitement, pour être redirigés vers une ligne de démantèlement dédiée « écrans ».

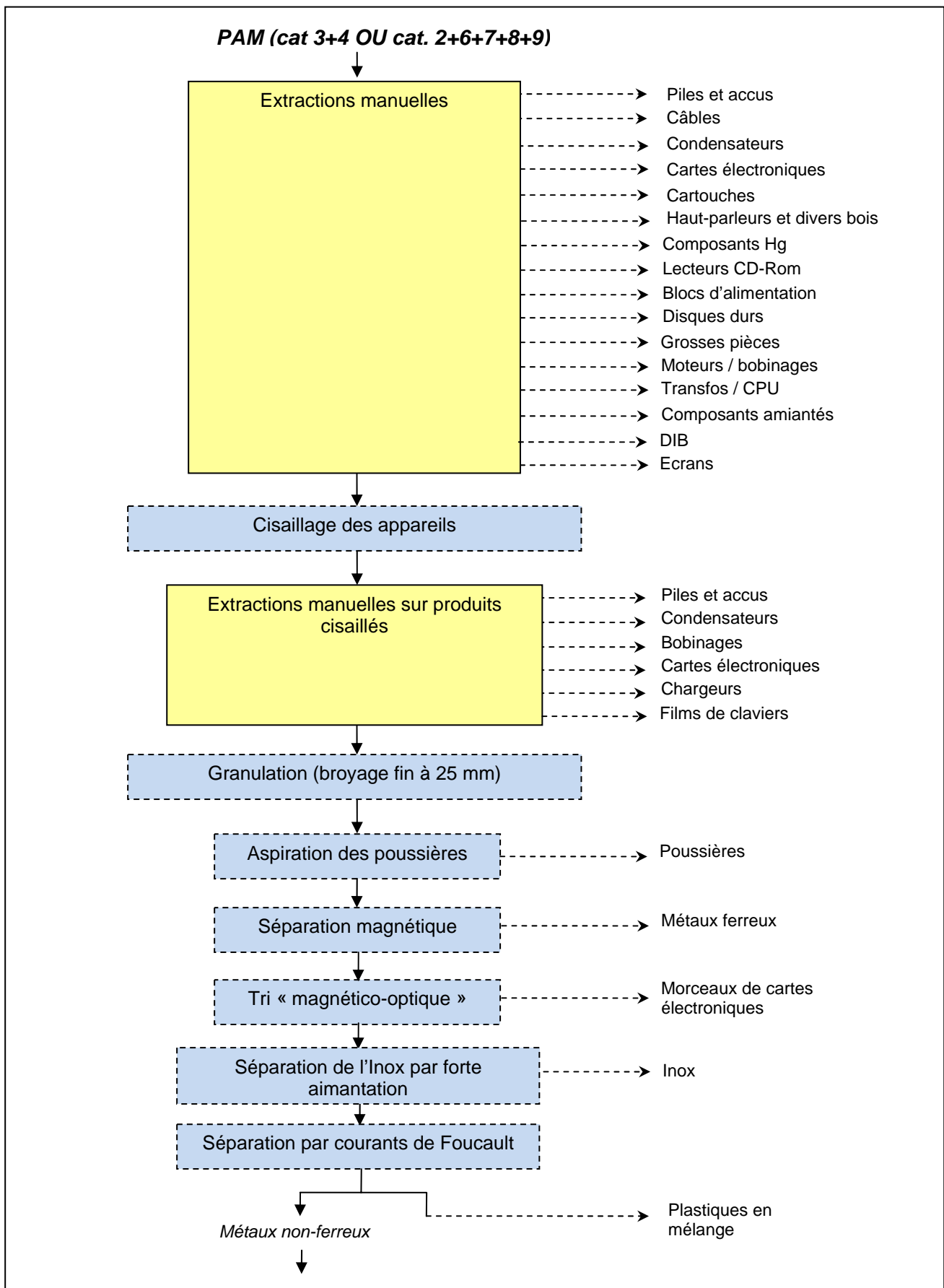
## **5. Description détaillée du procédé**

### **4.1 Principe de fonctionnement**

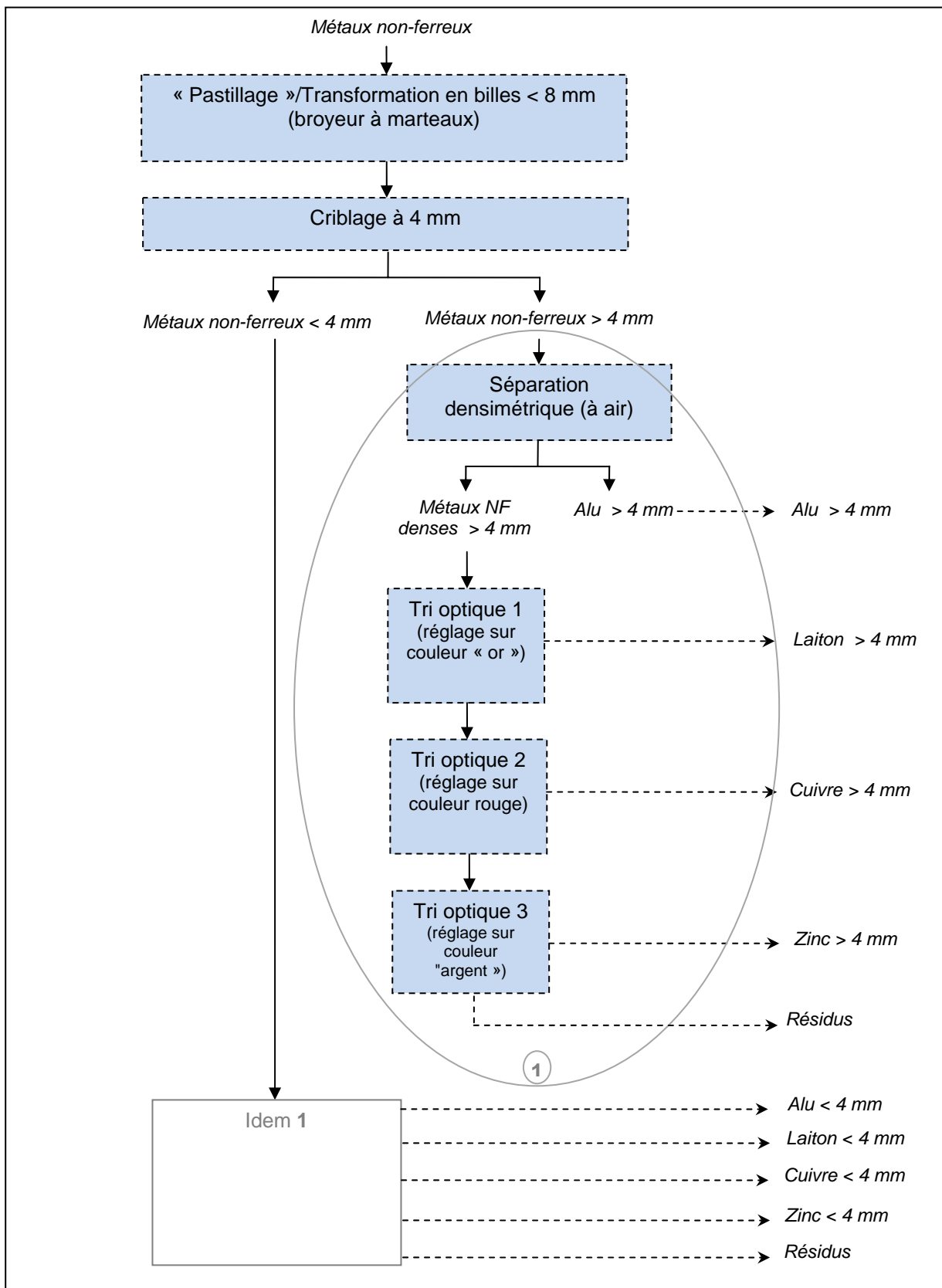
Le procédé s'articule autour des étapes principales suivantes :

- Une pré-dépollution manuelle du PAM
- Un « cisailage » rotatif des produits pré-dépollués
- Une étape complémentaire d'extractions manuelles post-cisailage
- Une « granulation » à 25mm du flux suivie d'une aspiration des poussières
- Une séparation magnétique des métaux ferreux
- Une extraction mécanisée par tri optique des morceaux de cartes électroniques
- Une séparation des métaux non-ferreux par courants de Foucault suivie d'une séparation poussée des différents types de métaux non ferreux basée principalement sur une technologie de séparation densimétrique (par air) et tri optique

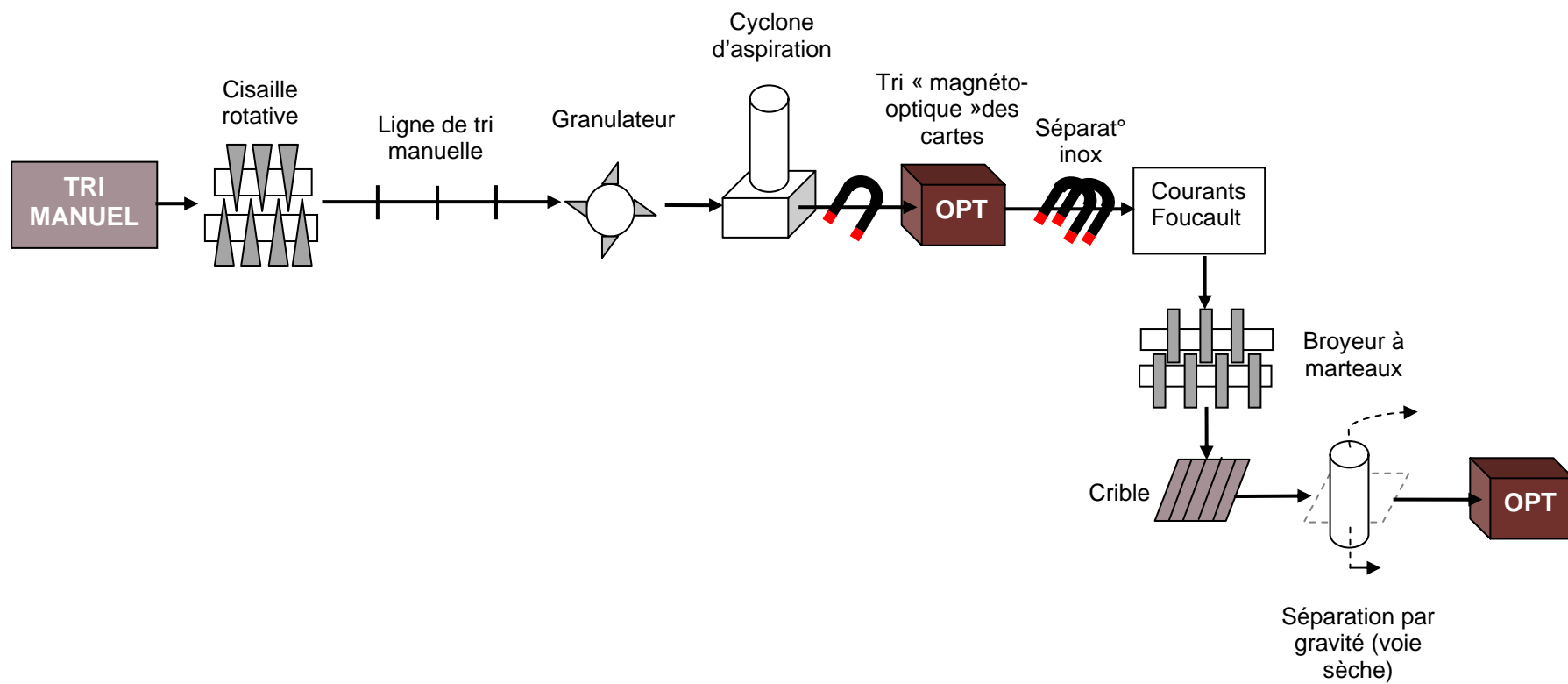
## 4.2 Synoptique (simplifié) des flux



## 4.2 Synoptique (simplifié) des flux (suite)



#### 4.2. Schématisation des technologies en présence (Cf légende du guide de lecture)





## **5. Indicateurs généraux d'exploitation**

- Nombre et nature des fractions sortantes : cf. synoptique des flux, de l'ordre de 35 fractions (variable suivant la composition du flux entrant)
- Indice de recyclabilité des fractions sortantes : NC
- Taux et nature des fractions polluantes extraites : NC
- Capacité, productivité du procédé : NC
- Coûts, investissement, exploitation : NC

## **6. Observations de synthèse**

### **Points forts**

- Séparation poussée des métaux non-ferreux entre eux par voie mécanisée
- Extraction poussée des (fractions de) cartes électroniques, par voie manuelle et mécanisée
- Séparation de plastiques en mélange propres à être repris par des installations mécanisées spécialisées de tri/préparation des plastiques pour recyclage
- Conduite de campagnes de traitement séparées PAM-bureautique (catégories 3 et 4) / PAM-autres (catégories 2, 6, 7, 8, 9) permettant d'obtenir des qualités de matières plus homogènes

### **Points faibles**

- Pas d'opération de séparation de plastiques entre eux réalisée en propre à ce jour

### **Impact environnemental**

- Contrôle des émissions : filtres à poussières sortie aspirations, nettoyage régulier du sol des ateliers

## **7. Source, origine des informations, contacts**

Nico Krukenberg (Remondis Luenen, Allemagne)

Visite d'installation le 25/06/08

## FICHE DESCRIPTIVE DE PROCEDE PAM n°4

**TYPE DE FLUX : PAM**

**TYPE DE PROCEDE : dépollution, broyage et tri post-broyage**

**NOM DE L'ENTREPRISE : GALLOO, France/Belgique**

**CONTACT : Mr. O. François, Directeur du développement**

### 1. Objectif

Procédé complexe exploité par la société franco-belge Galloo pour le traitement du PAM.

### 2. Opérationnalité (propriété industrielle, perspectives de développement)

Le procédé est exploité pour du gisement « PAM » depuis 2001 à hauteur d'environ 1000 t/mois.

Le procédé fait l'objet de brevets pour les sous-ensembles (ou parties de) suivants, développés et mis en exploitation pour certains à partir des années 1980 (notamment pour d'autres flux que les DEEE comme les VHU) :

- Ligne de tri des résidus de broyage (LTRB) (Galloo France, F-Halluin)
- Séparation des métaux non-ferreux (Galloo Metal, B-Menen)
- Séparation et production de granulés plastiques (Galloo Plastics, F-Halluin)

### 3. Identification du ou des flux entrants

Le procédé dans son ensemble peut traiter (aux particularités près) des DEEE (flux GEM HF, flux PAM) et des VHU. Concernant le PAM, tous types d'appareils entrants sont acceptés par le procédé. La majeure partie est constituée de PAM ménager.

Chaque flux fait l'objet d'un traitement par campagne séparée (l'étape préliminaire de tri manuel voire l'étape de broyage qui s'ensuit pouvant être effectuées sur des installations différentes suivant les flux).

Les procédés LTRB, Galloo Metal et Galloo Plastics reçoivent également des déchets (ex : résidus de broyage) à traiter en provenance de sociétés (de broyage notamment) autres que Galloo.

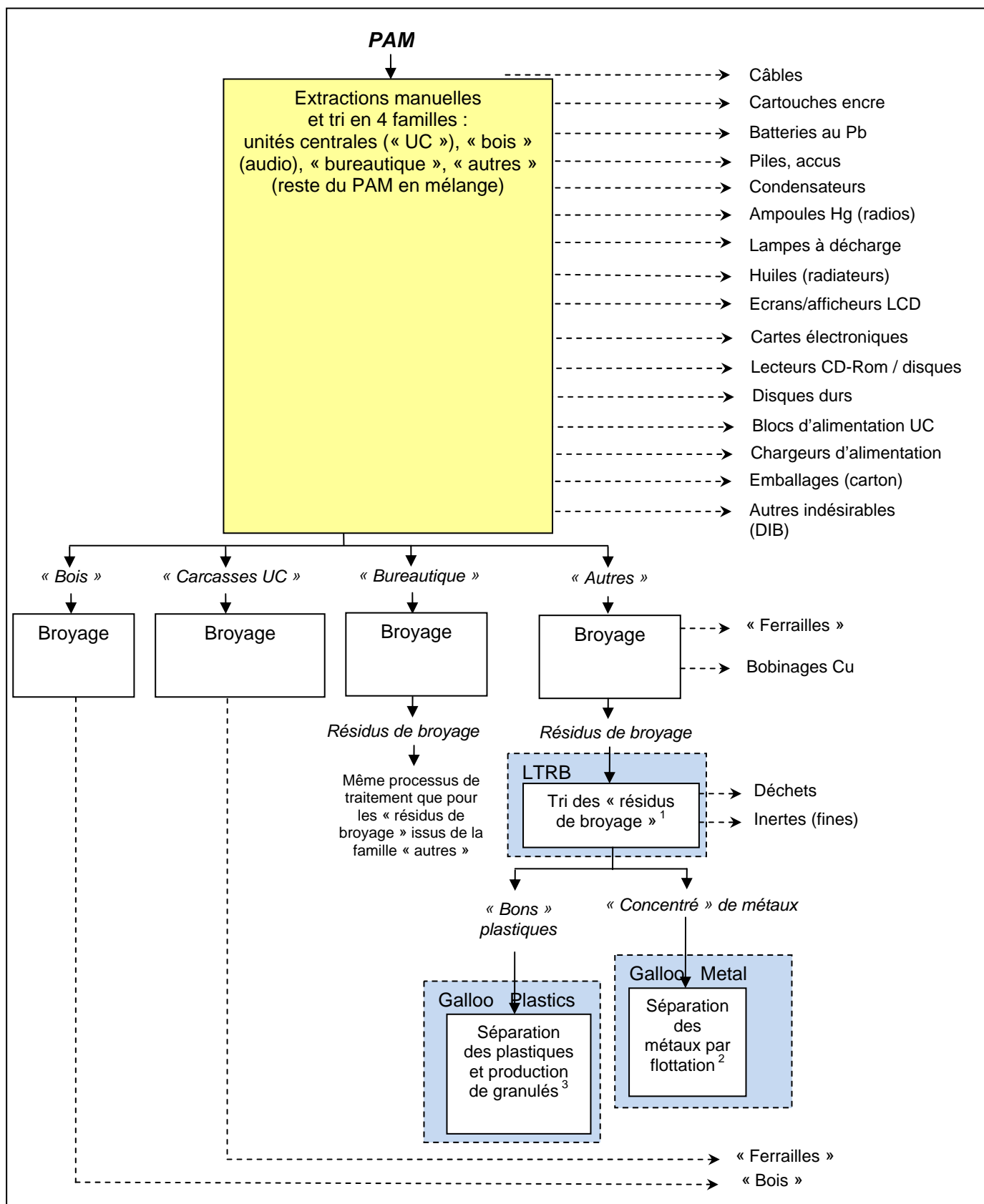
## **4. Description détaillée du procédé**

### **4.1. Principe de fonctionnement général**

Le procédé Galloo s'articule autour des étapes principales suivantes :

- Dépollution manuelle du PAM et tri en 4 familles : Bois, Bureautique, UC et autres
- Broyage de chaque famille séparément en campagne sur des broyeurs type VHU
- Tri des résidus de broyage obtenus séparément sur une « Ligne de Tri des résidus de Broyage (« LTRB »), également exploitée par ailleurs pour des résidus de broyage de VHU
- Séparation du concentré de métaux non-ferreux obtenu en sortie de LTRB, au moyen d'une série de procédés de séparation (flottation par exemple) sur le site Galloo Metal
- Séparation et production de granulés plastiques sur le site de Galloo Plastics à partir du concentré de plastiques issus de la LTRB

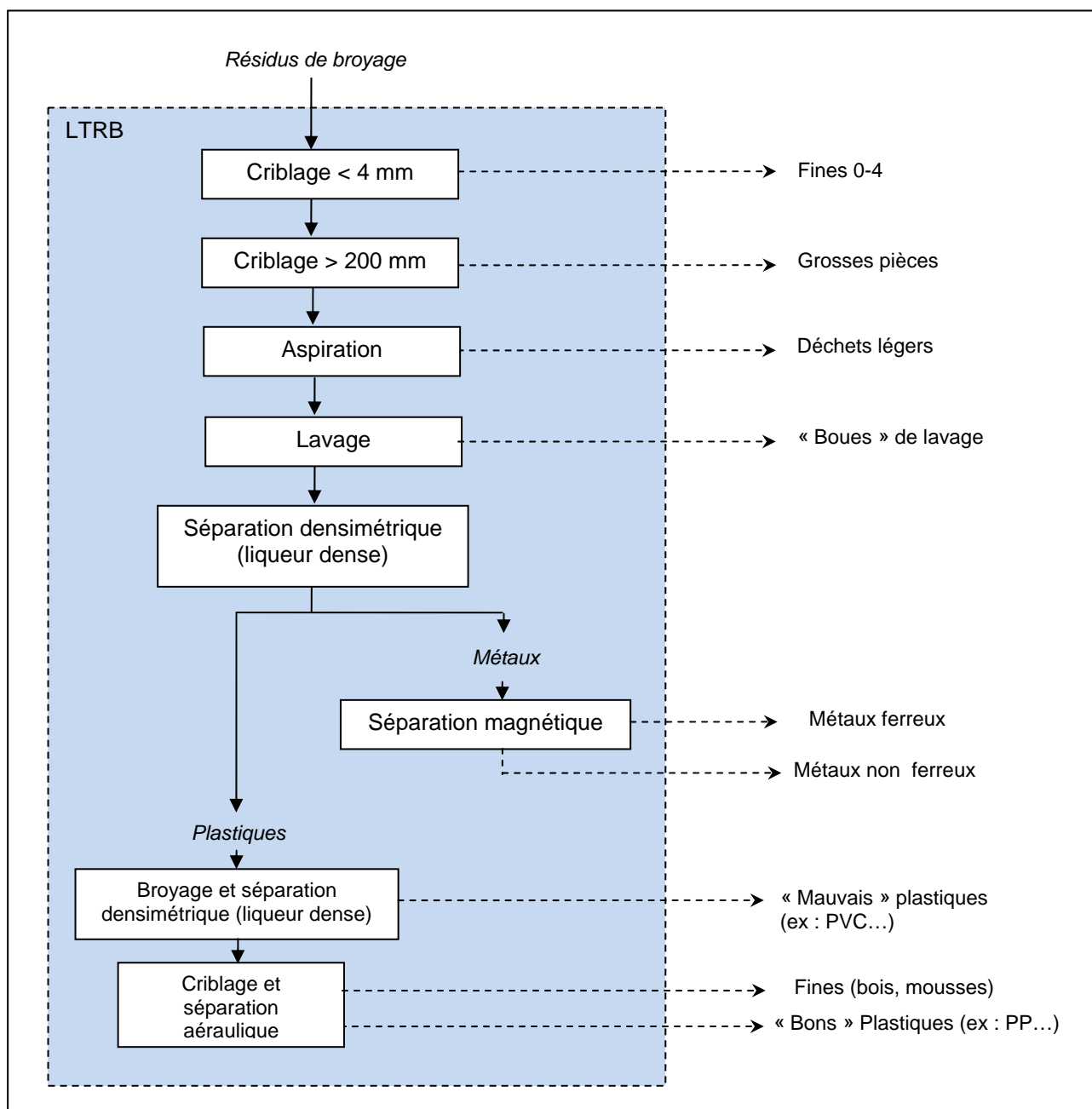
## 4.2. Synoptique simplifié des flux – vue d'ensemble



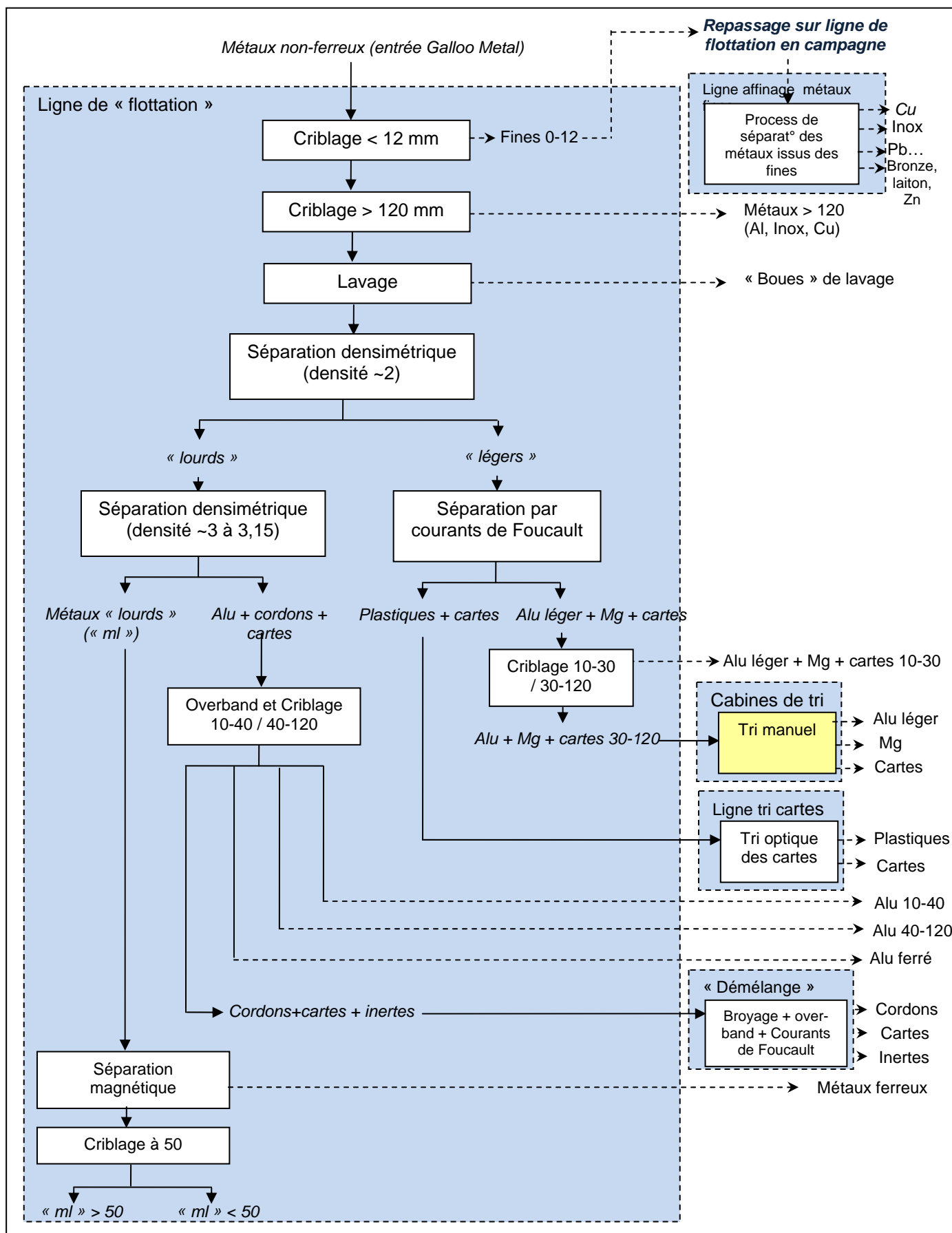
<sup>1</sup>cf. 4.2.1 ; <sup>2</sup> cf. 4.2.2 ; <sup>3</sup> cf. 4.2.3

## 4.2. Synoptiques détaillés pour les procédés LTRB, Galloo Metal et Galloo Plastics

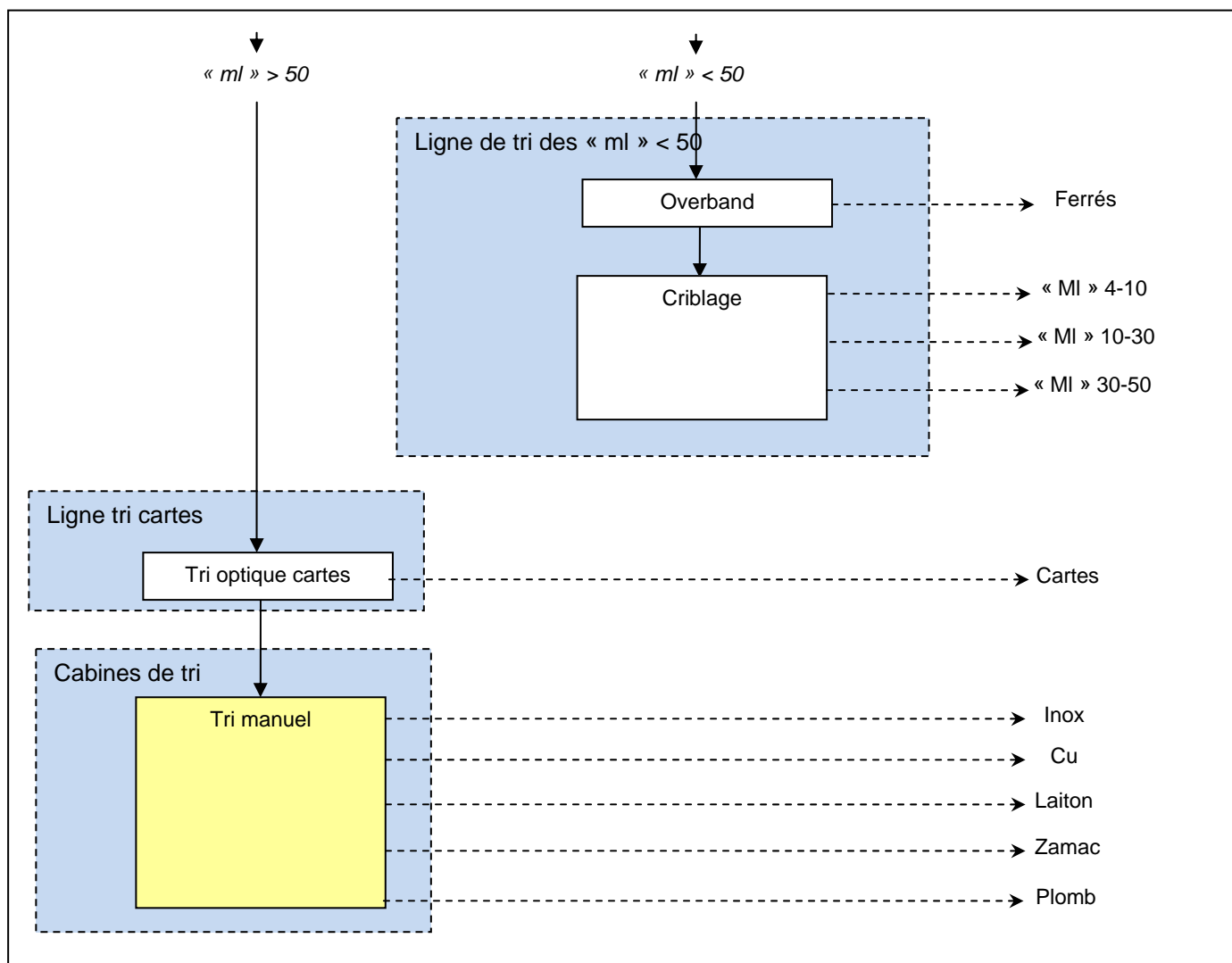
### 4.2.1. Synoptique détaillé des flux LTRB (Ligne de Tri des résidus de broyage)



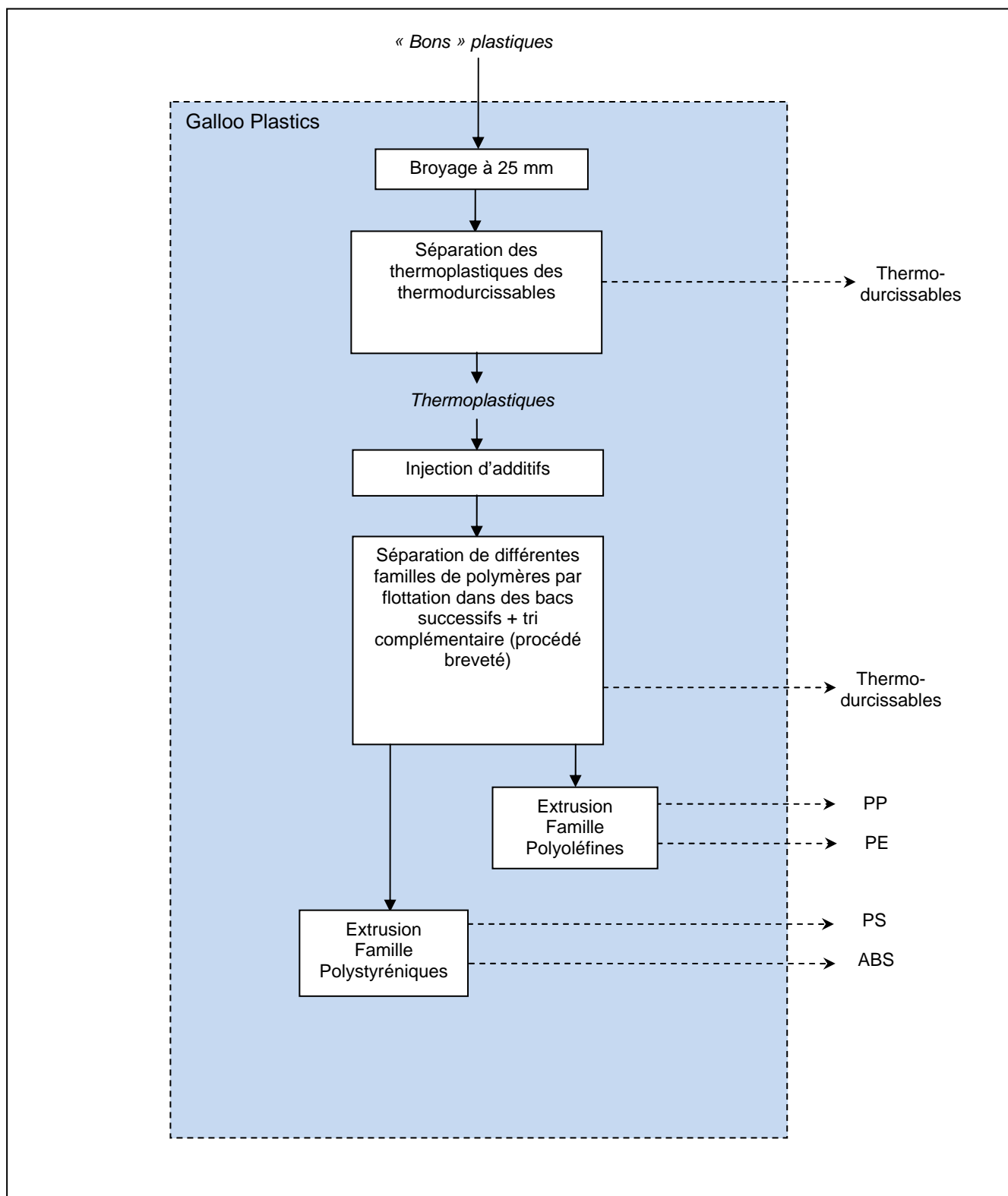
#### 4.2.2. Synoptique détaillé des flux Galloo Metal (séparation des non-ferreux)



#### 4.2.2. Synoptique des flux Galloo Metal (suite)

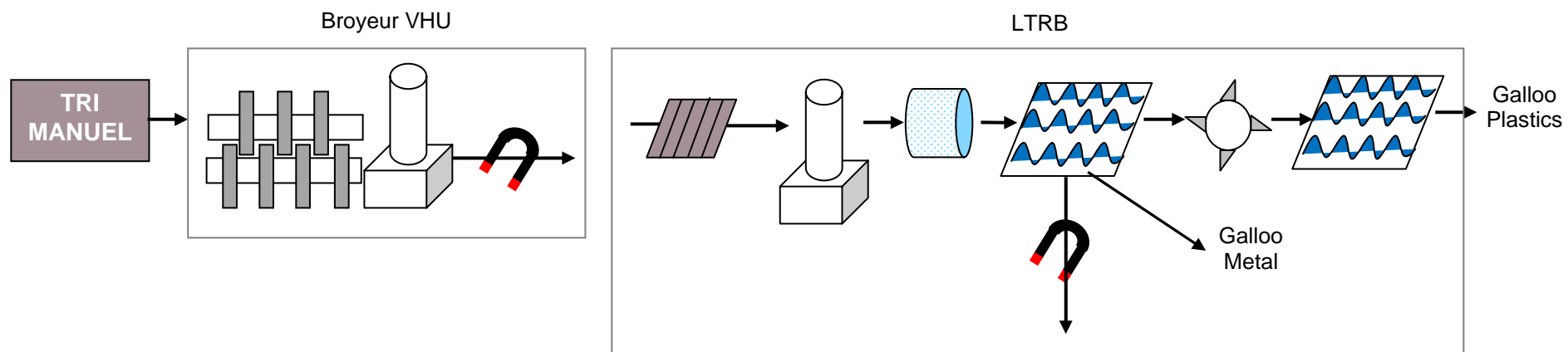


#### 4.2.3. Synoptique simplifié des flux Galloo Plastics





#### 4.3. Schématisation simplifiée des technologies en présence (Cf légende du guide de lecture)



## 6. Indicateurs généraux d'exploitation

- Nombre et nature des fractions sortantes : cf. synoptiques précédents ; de l'ordre de 60 fractions séparées (variable en fonction de la composition du flux entrant)
- Indice de recyclabilité des fractions sortantes : NC ; Taux de recyclage tout PAM : de l'ordre de 80%
- Taux et nature des fractions polluantes extraites : NC
- Capacité, productivité du procédé :
  - Etape 1 : Extractions manuelles -> de l'ordre de 2 à 3 t entrantes de PAM/homme/jour
  - Etape 2 : broyage (type VHU) -> de l'ordre de 40 t de flux entrant / heure
  - Etape 3 : LTRB -> de l'ordre de 20 t de flux entrant / heure (100.000 t /an)
  - Etape 4 : Galloo Metal -> de l'ordre de 5 à 10 t de flux entrant /heure
  - Etape 5 : Galloo Plastics -> de l'ordre de 20 à 30 t de flux entrant / heure
- Coûts, investissement, exploitation :
  - Exploitation : nombre de postes affectés au tri manuel : de l'ordre de 15 à 20 personnes
  - Coûts, investissement : NC

## 6. Observations de synthèse

### ▪ Points forts :

- Séparation très poussée des métaux non-ferreux entre eux et des plastiques entre eux
- Dépollution manuelle pré-broyage poussée et combinée à un tri par famille, permettant de conduire des campagnes de broyage distinctes par famille (bureautique, bois, autres...) aboutissant à l'obtention de qualités de matières plus homogènes
- Procédé en capacité « d'absorber » de gros volumes

### ▪ Point faible / limite : investissements lourds nécessitant de gros volumes sur la durée pour atteindre le point de rentabilité

### ▪ Impact environnemental: contrôle des émissions :

- Broyage : filtre à poussières en sortie d'aspiration
- LTRB : arrosage régulier à hauteur des installations pour éviter l'envol de poussières
- Séparation densimétrique voie humide : récupération eaux du site et de lavage pour traitement dans station d'épuration sur site

## 7. Source, origine des informations, contacts

M. Olivier François (GALLOO)

Visite d'installations le 17/07/08

## FICHE DESCRIPTIVE DE PROCEDE PAM n°5

**TYPE DE FLUX : PAM**

**TYPE DE PROCEDE : Installation mécanisée de traitement de PAM**

**NOM DE L'ENTREPRISE : SIMS RECYCLING SOLUTIONS – Eindhoven (Pays-Bas)**

**CONTACT : Joris Van den Driessche - Directeur commercial Belgique-Luxembourg-France**

### 1. Identification et objectif du procédé

La société Sims Recycling Solutions est une filiale de Sims Metal Management, entreprise Australienne numéro un mondial du recyclage des métaux qui s'est implantée en Europe en 2004 en rachetant entre autre la société de traitement de DEEE Mirec. SIMS est aujourd'hui implanté en Europe (Pays-Bas, Allemagne, Belgique, Royaume Uni,...), en Amérique du Nord (Acquisition récente de la division de recyclage de X-Strata) en Asie et en Australie.

L'usine de traitement d'Eindhoven, traite actuellement 70.000 tonnes de DEEE (PAM ménager et professionnel, démantèlement d'écrans, toner) dont 30.000 tonnes de PAM.

La ligne de traitement du PAM consiste en un broyeur et une succession d'unité de séparation des matériaux.

### 2. Opérationnalité (propriété industrielle, perspective de développement)

L'usine est avant tout un ensemble de module fournit par différents équipementiers. Sims ne possèdent pas de brevet sur les équipements présents dans l'usine.

L'usine créée en 2000, a été acquise par Sims en 2004 et évolue en continue depuis sa création.

### 3. Identification du ou des flux entrants

Le PAM ménager, est collecté en 2 flux distincts au Pays-Bas :

- Le PAM ménager listé dans les catégories 3 (Equipements informatiques et de télécommunication) et 4 (Matériel grand public) de la directive 2002/96/CE (inclus écrans collectés en mélange avec le PAM de ces catégories)<sup>1</sup>. Ce PAM « riche » est géré par l'Eco-Organisme ICT Milieu.
- Le PAM ménager listé dans les autres catégories 2, 6, 7, 8 et 9, géré par l'éco-organisme NVMP.

Ces 2 flux sont stockés dans 2 alvéoles distinctes à réception et sont traités alternativement en campagnes séparées sur la même ligne de traitement.

<sup>1</sup> Les écrans (à tube cathodique, écrans plats, ordinateurs portables) sont triés et retirés du « PAM » à la main avant toute opération de traitement, pour être redirigés vers une ligne de démantèlement dédiée « écrans ».

## **4. Description détaillée du procédé**

### **4.1 Caractéristiques techniques et description de procédé**

#### **Principe de fonctionnement :**

Après dépollution manuelle du PAM, celui-ci subi un broyage (broyeur à couteau) avant une succession d'étape de séparation :

- Extraction des métaux ferreux
- Extraction de l'aluminium
- Séparation des plastiques

Le produit obtenu après extraction de ces éléments est un mélange qualifié de « cuivreux » par les exploitants.

Ce produit, composé de cartes, de fils électriques, de petites bobines mais aussi de plastiques, de mousse...etc..., est soit :

- Réduit en granulométrie pour des séparations complémentaires des métaux ferreux, aluminium et plastique et l'obtention d'un mélange « cuivreux » enrichi ;
- Envoyé en l'état en pyro-métallurgie (procédé type UMICORE – cf fiche CARTE n°1).

#### **Caractéristiques techniques :**

##### **Le broyeur à couteau :**

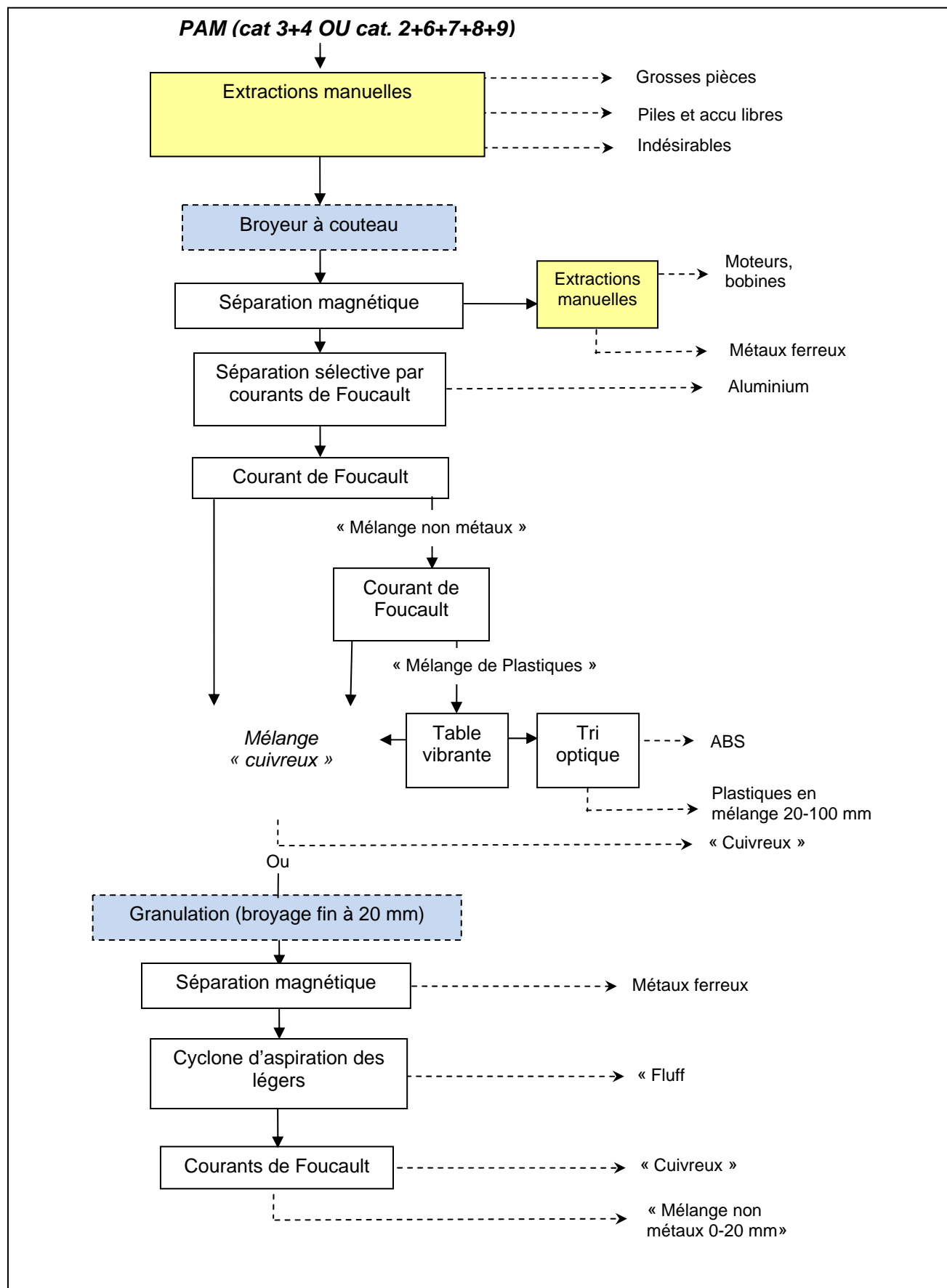
Le broyeur, développé par le bureau d'étude de Sims (partenariat avec des constructeurs) permet l'obtention d'éléments de 0 à 100mm.

Les couteaux doivent être changés toutes les 2000 heures de fonctionnement.

##### **Séparation de l'aluminium**

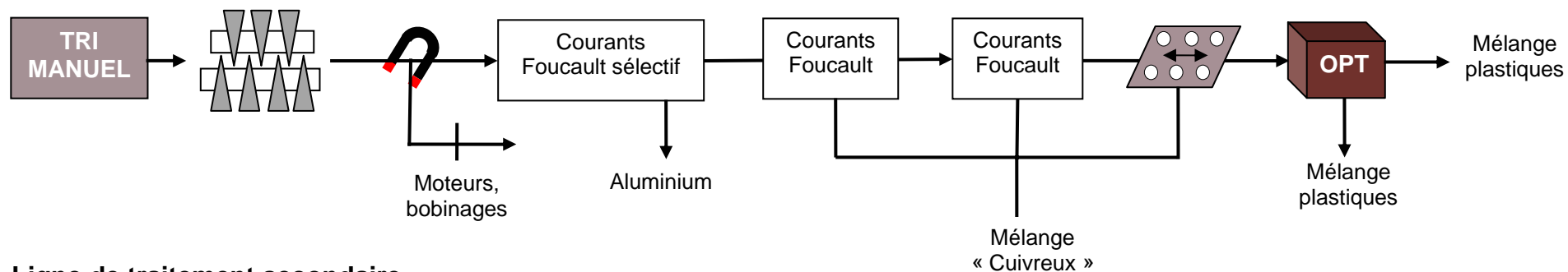
Il s'agit d'une séparation par courant de Foucault sélective qui n'éjecte que l'aluminium : la technologie est basée sur la conductivité de l'aluminium (la plus élevée des métaux non-ferreux présent dans les DEEE) et sa faible densité.

## 4.2 Synoptique des flux

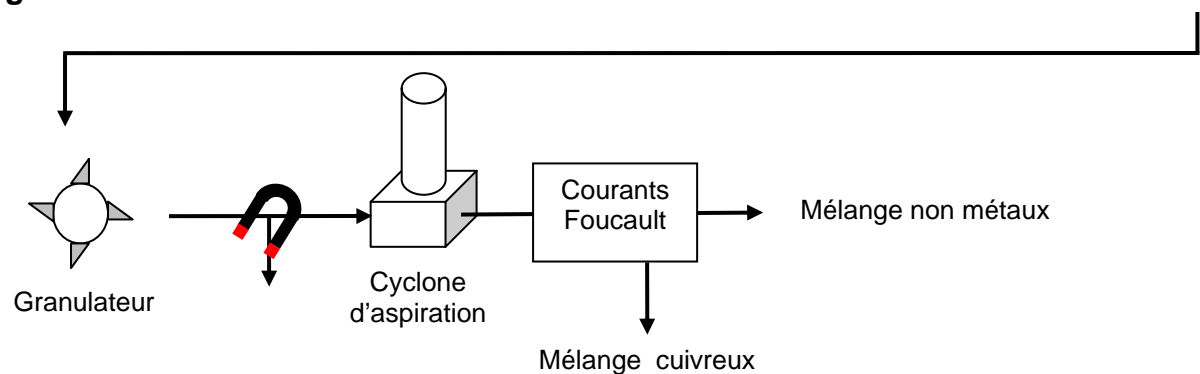


#### 4.3 Schématisation de l'unité de traitement (Cf légende du guide de lecture)

##### Ligne de traitement primaire



##### Ligne de traitement secondaire



## 5. Indicateurs généraux d'exploitation

### • Nombre et nature des fractions sortantes (Issues du traitement primaire)

Fractions	Procédés de séparation	Part relative de chaque fraction	Technologies filières repreneuses
Grosses pièces	Tri manuel	N.C.	Broyeur type VHU
Moteurs et bobines	Tri manuel	N.C.	Affinerie
Métaux ferreux	Tri magnétique	N.C.	Fonderie
Aluminium	Courant de Foucault « sélectif »	N.C.	Affinerie
Plastiques en mélange	Flux « négatif »	N.C.	Séparation par nature
ABS	Tri optique Infrarouge	N.C.	Recyclage
Mélange « cuivreux »	Courant de Foucault	N.C.	Affinerie

### • Indice de recyclabilité des fractions sortantes

Les fractions métalliques « pures » sont recyclées en totalité (indice 2)

La fraction « cuivreux » qui est composée de :

- Fils de cuivres
- Morceaux de cartes électroniques
- Eléments métalliques non-ferreux divers (cuivre, laiton, zinc...) liés ou non avec des éléments non métalliques (principalement plastiques) est envoyée en l'état en affinerie.

Les éléments organiques de cette fraction sont brûlés et apportent de l'énergie au four (substitue une part du charbon => X-Strata indique que 3 tonnes d'« e-scrap » remplace 1 tonne de charbon – présentation au colloque IERC Toronto 2008)

Sims indique qu'environ 50% de la fraction plastique en mélange est recyclée. (indice 2)

### • Taux et la nature des fractions polluantes extraites

Il n'y a pas d'extraction de piles, accumulateurs et condensateurs.

- Capacité, productivité du procédé

L'unité a une capacité de traitement de 10 tonnes par heure. Elle traite actuellement 50.000 tonnes par an de PAM.

- Coûts, investissements, exploitation

N.C.

## **6. Observation de synthèse (points forts, points faibles, limites, obstacles à lever)**

### **Points forts :**

- Obtention d'un flux de plastiques en mélange « propre » à être séparés ultérieurement par les technologies appropriées.
- Obtention d'un aluminium « propre ».
- La valorisation des « cuivreux » en affinerie permet de n'envoyer aucun flux en élimination (CET), les éléments organiques sont valorisés thermiquement.

### **Points faibles :**

- Pas de retrait des polluants potentiels qui se retrouvent dans les flux de métaux ferreux et non ferreux (piles, accumulateurs, condensateurs) => ces éléments sont envoyés vers les fonderies et affineries.

### **Impacts environnementaux :**

- Les polluants potentiels ne sont pas retirés à ce stade.

## **7. Source, origine des informations, contacts**

### **Contacts :**

Joris Van den Driessche - Directeur commercial Belgique- Luxembourg-France  
Vincent Gheerebaert directeur des opérations.

Visite de SIMS à Eindhoven le 15 octobre 2008



## FICHE DESCRIPTIVE DE PROCEDE PAM n°6

**TYPE DE FLUX : Plastiques issus de DEEE**

**TYPE DE PROCEDE : Procédé mécanisé de tri et valorisation des plastiques**

**NOM DE L'ENTREPRISE: MBA POLYMERS AUSTRIA**

**CONTACT: Chris Slijkhuis, Director Sourcing Europe**

### 1. Identification et objectif du procédé

Procédé mécanisé de tri et valorisation des plastiques exploité par MBA Polymers Austria (site de Kematen a/d Ybbs).

### 2. Opérationnalité, propriété industrielle, perspective de développement

MBA exploite depuis 2005 sur son site autrichien un procédé mécanisé de tri et de valorisation de plastiques issus de DEEE. MBA Polymers exploite également d'autres unités de tri et valorisation de plastiques aux USA (Californie) et en Chine. Un autre site est en projet en Angleterre.

L'installation se compose de différents modules développés par MBA Polymers et fait l'objet de brevets.

### 3. Identification du flux entrant

L'installation traite principalement des plastiques en mélange issus de DEEE. Les lots réceptionnés proviennent d'installations mécanisées de traitement de DEEE (PAM, GEM F...) situés notamment en Autriche, Suisse, Allemagne ou Italie. Ces installations séparent une fraction « plastiques » après broyage qui contient au minimum de l'ordre de 80% de plastiques.

La granulométrie de ces matières entrantes varie dans une fourchette de 10 à 100 mm environ.

Chaque lot entrant fait l'objet d'un prélèvement d'échantillon pour analyse sur site de composition propre au lot (cf. 4.1 ci-après) ; le lot est stocké en tas au sol avant traitement.

Des lots de clients différents peuvent être traités en mélange dans l'installation.

## **4. Description détaillée du procédé**

### **4.1 Principe de fonctionnement**

#### **Analyse préalable de composition sur échantillon :**

Un échantillon d'environ 1kg est prélevé sur chaque lot entrant (méthode de quartage).

Celui-ci est trié à la main par type de matières (bois, mousses, verre, métaux, plastiques...). Tous les éléments plastiques sont passés « à la main » devant une cellule proche infrarouge à fin de reconnaissance du type de polymère (et présence ou non de retardateur de flamme). Chaque fraction est pesée ; un bilan matière de l'échantillon est réalisé et restitué au client.

#### **Principe de fonctionnement du procédé :**

Le procédé s'articule autour des étapes principales suivantes :

- le retrait des fractions minérales (verre, cailloux, poussières) et de certaines fractions organiques (bois, caoutchouc)
- l'homogénéisation granulométrique du concentré de plastiques (petite granulométrie)
- le lavage et séchage du concentré de plastiques
- la séparation des différentes familles de polymères<sup>1</sup> (dont retrait des thermodurcissables et plastiques avec retardateurs de flamme) pour production finale de granulats ABS, HIPS et PP directement utilisables en plasturgie selon 3 « grades » (plastique pour injection, plastique pour extrusion, utilisation générale)

<sup>1</sup> L'ensemble des procédés aboutissant à ces séparations n'a pas été détaillé par l'exploitant

### **4.2 Synoptique des flux**

NC

### **4.3 Schéma de principe**

NC

## 5. Indicateurs généraux d'exploitation

- Nombre et nature des fractions sortantes, Bilan-matières, indices de recyclabilité :

Le tableau ci-dessous illustre à titre indicatif les parts relatives et devenir de certaines familles de fractions séparées, pour un lot de plastiques issus de PAM (provenance Europe) :

Exemple de fractions séparées par MBA	% poids lot entrant <sup>1</sup>	Technologie filière repreneuse	Indice de recyclabilité
ABS	50 à 60%	Utilisation en plasturgie	1
HIPS			
PP			
Plastiques avec retardateurs de flamme	~5%	Incinération avec récupération d'énergie <sup>2</sup>	
Autres plastiques, caoutchouc...	30 à 40%		
Mousses, bois, fines...			

<sup>1</sup> Lot de plastiques issus de PAM (provenance Europe)

<sup>2</sup> En Autriche, Suisse et Allemagne, la réglementation interdit d'enfouir en CET des fractions plastiques ou organiques et impose de les incinérer

- Taux et nature des fractions polluantes extraites : plastiques avec retardateurs de flamme (de l'ordre de 5% des plastiques issus de PAM)
- Capacité, productivité du procédé : NC
- Coûts, investissements, exploitation :
  - Investissement : 30 millions de \$ ont été investis dans la technologie par MBA Polymers dans les 12 dernières années
  - Exploitation :
    - Tonnage annuel traité : 40000 t /an (2007)
    - Fonctionnement de la ligne 24 h/24 ; 5 j. / 7
    - Nombre de salariés sur site : de l'ordre de 60 personnes (toutes fonctions confondues)

## 6. Observations de synthèse

- **Points forts** :
  - Séparation des plastiques avec retardateurs de flamme ; production de granulés pour utilisation directe en plasturgie
- **Point faible / limite** : un trop fort taux d'humidité dans le flux entrant peut nuire à la performance de séparation des matières
- **Observations** :
  - Marché de reprise des plastiques recyclés loin d'être saturé
  - Les capacités de traitement et valorisation de MBA sont en mesure de pouvoir être augmentées, notamment au regard de la croissance du gisement potentiel de plastiques issus de DEEE
- **Impact environnemental** : NC

## **7. Source, origine des informations, contacts**

Chris Slijkhuis (MBA Polymers)

Visite d'installation le 26/08/08 en présence (et sur invitation) de IMMARK

## FICHE DESCRIPTIVE DE PROCEDE PAM n°7

**TYPE DE FLUX : PAM**

**TYPE DE PROCEDE : installation modulaire de traitement de PAM**

**NOM DE L'ENTREPRISE : MEWA, Allemagne**

**CONTACT : Piet Gilbos, Area Sales Manager**

### 1. Identification et objectif du procédé

La société MEWA fondée en 1980 est un constructeur allemand d'installations mécanisées spécialisées pour des applications dans le domaine du recyclage (dont installations modulaires de traitement de DEEE), le résultat ici étant l'obtention de matières séparées commercialisables en l'état ou prêtes pour une étape de séparation ultérieure par le repreneur ou prêtes pour un traitement spécialisé (ex : polluants).

### 2. Opérationnalité, propriété industrielle, perspective de développement

Cette installation modulaire est installée pour le traitement du PAM chez plusieurs exploitants en Europe et en Amérique (Allemagne, France, Norvège, Angleterre, Espagne, Roumanie, Canada, Etats-unis...).

Une installation comparable est également opérationnelle pour le traitement du GEM Froid (avec compléments d'installation notamment pour la récupération des CFC) et est en exploitation dans plusieurs pays également.

Le procédé fait l'objet d'un brevet MEWA (seuls les modules de séparation par overband, courants de Foucault et tri optique ne sont pas fabriqués par Mewa mais achetés auprès d'autres constructeurs).

### 3. Identification du flux entrant et conduite d'exploitation

L'installation type peut traiter tous types de PAM voire également du GEM dont GEM Froid (avec complément d'installation). Le « désintégrateur ou broyeur à fléaux QZ » (cf. description ci-après) situé à l'entrée de la ligne existe en plusieurs tailles :

- modèle QZ1200 1.2m de diamètre x 1.2m de haut ; ouverture de 600x600 mm : adapté au petit PAM (de l'ordre de 15 kg/app.)
- modèle QZ1600 1.6m de diamètre x 1.6m de haut ; ouverture de 800x800 mm : adapté au PAM (de l'ordre de 20-25 kg/app.)
- modèle QZ2000 2m de diamètre x 2m de haut ; ouverture de 1000x1000 mm : adapté au PAM et gros éléments (de l'ordre de 50 kg/app.)
- modèle QZ2500 2.5m de diamètre x 2.5m de haut ; ouverture de 1500x1500 mm : adapté au GEM (dont GEM Froid avec compléments d'installation)

L'installation est inadaptée au traitement de pièces massives de grande compacité (ex : coffre-fort).

Une même installation de type QZ2500 (avec modules MEWA appropriés) pourrait traiter en campagnes séparées du GEM Froid et du PAM.

## **4. Description détaillée du procédé**

### **4.1 Caractéristiques techniques et description de procédé**

#### **Principe de fonctionnement :**

Le procédé s'articule autour des différents modules et étapes principaux ci-dessous :

- Le broyeur à fléaux ou « désintégrateur » (cf. ci-dessous)
- Etapes recommandée par Mewa d'extractions manuelles post-désintégration
- Un granulateur (cf. ci-dessous) destiné à réduire la granulométrie des fractions post-dépollution manuelle, souvent couplé avec des procédés de séparation des métaux ferreux et non-ferreux (overband, courants de Foucault)

#### **Caractéristiques techniques :**

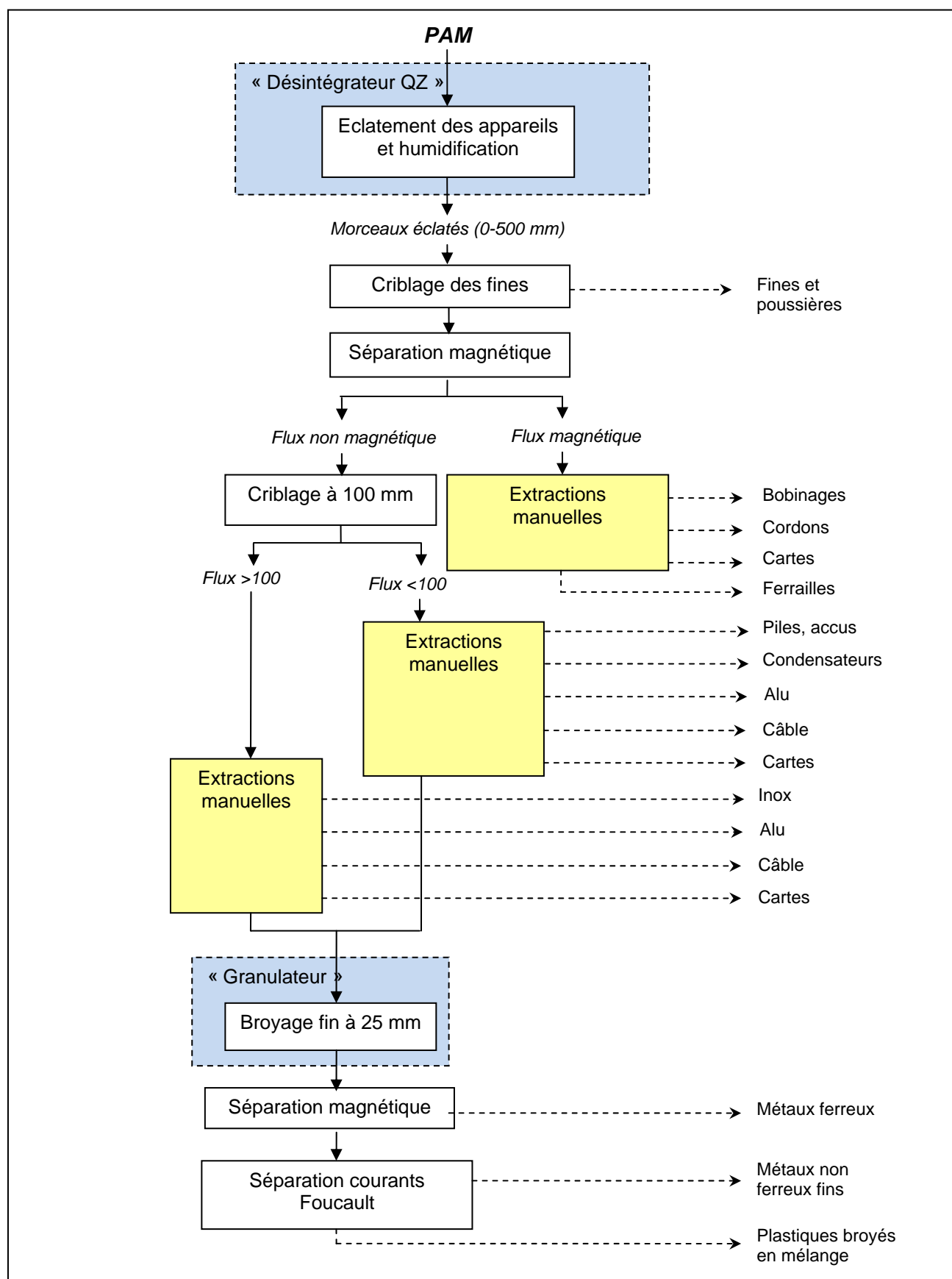
##### **▪ Broyeur à fléaux QZ**

- Cette technologie est destinée à « ouvrir » les produits, et à obtenir des morceaux les plus gros possibles et les plus homogènes possibles
- Poids du cylindre : ~30 t
- Matériau de construction du cylindre : Hardox (alliage) (12 mm paroi intérieure), manteau extérieur de 50 mm d'épaisseur
- Système de refroidissement du cylindre (tubes avec fluide de refroidissement autour du cylindre) – température interne > 60°C
- Technologie d'éclatement des produits : 2 chaînes en molybdène de maillons plus ou moins gros suivant les modèles de QZ, montées sur axe vertical
- rotatif – vitesse de rotation réglable : de 500 à 800 tr/min
- Chargement des produits par le haut
- Ouverture en bas réglable : de 0 à 500 mm – ouverte en continu pour le PAM, fermée en cycles de 3 min. pour le traitement de GEM F pour récupération des CFC de la charge de GEM F dans le cylindre
- Capteurs de fumée interne
- Humidification régulière (mélange eau+mousse) des produits à l'intérieur de la chambre de broyage (effet anti-explosion)
- Caisse d'insonorisation en option
- Niveaux de productivité :
  - QZ1200 : 2 t/h
  - QZ 1600 : 3-4 t/h
  - QZ 2000 : 7-8 t/h
  - QZ 2500 : 10 t/h

##### **▪ Granulateur Mewa**

- Tambour avec couteaux tranchants
- Productivité : 2,5 t/h

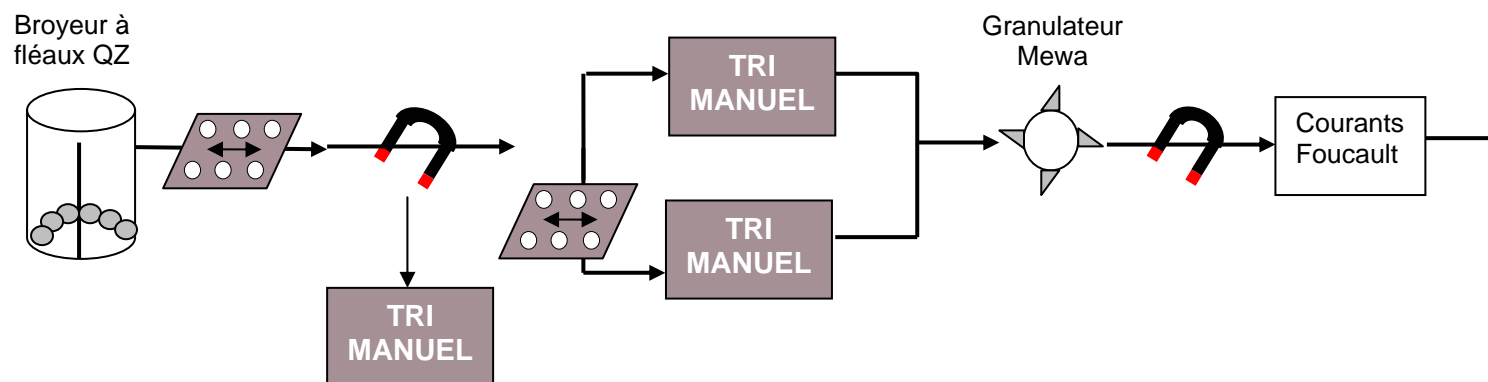
## 4.2. Synoptique des flux



**Commentaires :**

- MEWA préconise l'extraction manuelle préalable à l'introduction dans le QZ des sacs d'aspirateurs et des cartouches d'encre, afin de rendre le tri manuel moins pénible (sinon mélange de poussières de sacs d'aspirateurs et d'encres sur les fractions à trier).
- Le criblage à 100 mm présenté dans le synoptique est optionnel et conseillé par MEWA pour des rendements > 5 t/h (ex : QZ2000), là encore pour faciliter le tri manuel.
- Un module complémentaire de tri optique des plastiques est proposé par MEWA avant le granulateur (préparation éventuelle des matières pour une granulo entre 20 et 50mm lors du passage au tri optique) ; au moins 2 installations sont équipées en Europe; ce module permet sur les plastiques non noirs (de l'ordre de 60% de tous les plastiques) de séparer les plastiques de spectre proche (mélange ABS/PS -> de l'ordre de 50% des plastiques non noirs).

#### 4.3. Schématisation des technologies en présence pour l'installation type ci-avant (cf légende du guide de lecture)





## **5. Indicateurs généraux d'exploitation**

- Nombre et nature des fractions sortantes : cf. synoptique, variable selon la conduite d'exploitation de l'équipement
- Indice de recyclabilité des fractions sortantes : NC
- Taux et nature des fractions polluantes extraites : variable selon la conduite d'exploitation de l'équipement
- Capacité, productivité du procédé : de 2 à 10 t de PAM entrant /h selon modèle
- Coûts, investissements, exploitation : NC

## **6. Observations de synthèse**

- **Points forts :**
  - Temps de remplacement pièces d'usure moindre
  - Les pièces d'usure durent plus longtemps que les marteaux/couteaux classiques
  - Bon éclatement des produits avec endommagement minimum des matières
  - Alternative récente du tri optique des plastiques avant granulation
- **Point faible / limite**
  - nécessite un retrait préalable du flux entrant des objets de grande taille avant l'étape de broyage/éclatement
- **Impact environnemental**
  - Chambre de broyage entièrement étanche et contrôlée en température, contrôle des émissions -> poussières humides récupérées par criblage

## **7. Source, origine des informations, contacts**

Piet Gilbos (MEWA), Area Sales Manager

Site Internet : <http://www.mewa-recycling.de>

## FICHE DESCRIPTIVE DE PROCEDE PAM n°8

**TYPE DE FLUX : PAM**

**TYPE DE PROCEDE : Installation modulaire de traitement de PAM**

**NOM DE L'ENTREPRISE : BHS Sonthofen GmbH, Allemagne**

**CONTACT : Mr. Ritzmann, Van-Tech (06), représentant pour la France de BHS Sonthofen**

### 1. Identification et objectif du procédé

La société BHS est un constructeur allemand d'installations mécanisées dans plusieurs domaines dont les installations modulaires de traitement de DEEE et de RBA (résidus de broyage automobile). Ce procédé permet d'obtenir des matières séparées commercialisables en l'état ou prêtes pour une étape de séparation ultérieure par le repreneur ou prêtes pour un traitement spécialisé (ex : polluants).

### 2. Opérationnalité, propriété industrielle, perspective de développement

Cette installation modulaire est installée pour le traitement du PAM chez plusieurs exploitants en Europe et pour le traitement des RBA sur plusieurs sites également – installation légèrement différente pour les RBA (cribles supplémentaires...).

Une installation comparable est également opérationnelle pour le traitement du GEM Froid (avec compléments d'installation et tailles de broyeurs plus conséquentes).

Le procédé fait l'objet d'un brevet BHS au moins pour 2 modules-clé que sont le « broyeur rotatif RS » et le « broyeur à impacts RPMV ».

### 3. Identification du ou des flux entrants

L'installation type peut traiter tous types de PAM voire également du GEM Froid (avec complément d'installation). Le « broyeur rotatif RS » situé à l'entrée de la ligne existe en plusieurs tailles : modèle RS1515 1.5m de diamètre x 1.5m de haut (plutôt adapté au petit PAM) ; modèle RS2018 2m de diamètre x 1.8m de haut (adapté au PAM) ; modèle RS3218 3,2m x 1,8m (adapté au GEM Froid).

Dans le cas du modèle installé le plus couramment pour le PAM (RS2018), la taille du flux entrant ne doit pas dépasser 600x600x600 mm, dans le cas contraire une réduction de volume préalable (par déchiquetage par exemple) des produits entrants est nécessaire.

Le poids par appareil entrant ne doit pas dépasser 40 kg/app. (petits photocopieurs acceptés).

L'installation est inadaptée au traitement de pièces massives de grande compacité (ex : coffre-fort).

## **4. Description détaillée du procédé**

### **4.1 Caractéristiques techniques et description de procédé**

#### **Principe de fonctionnement :**

##### **Broyeur rotatif BHS (dit « RS »)**

Cette technologie également appelée « désintégrateur » est destinée à « ouvrir » les produits, et à obtenir des morceaux les plus gros possibles et les plus homogènes possibles.

##### **Broyeur à impact BHS (dit « RPMV »)**

Cette technologie également appelée « broyeur différentiel » est destinée à broyer et réduire la taille des matières cassantes et dures (ex : plastiques durs) et à transformer en billes les métaux non ferreux. Elle est la version « perfectionnée » du moulin à impacts utilisé depuis plusieurs décennies dans les carrières.

#### **Caractéristiques techniques :**

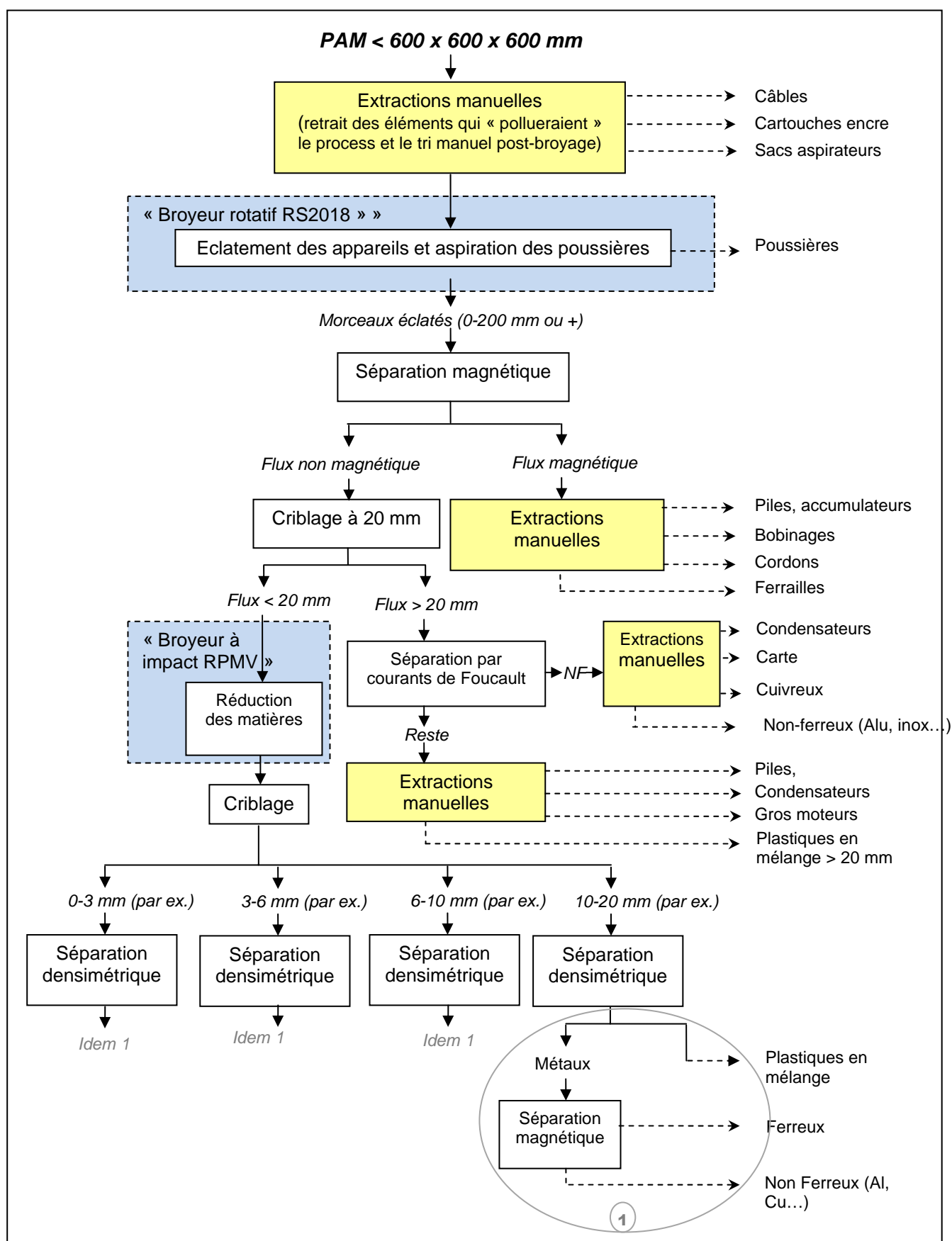
##### **Broyeur rotatif BHS (dit « RS »)**

- Dimensions de la chambre de broyage (modèle RS2018, installé le plus couramment) : 2m (diamètre) x 1,8m (hauteur)
- Poids : ~21,5 t
- Matériau de construction du cylindre : ardox (alliage)
- Technologie d'éclatement des produits : nombre variable au choix de 6 à 10 pales rectangulaires métalliques (non coupants) montées sur un axe vertical rotatif – vitesse de rotation réglable : de 500 à 900 tr/min
- Chargement des produits par le haut
- Ouverture en bas réglable : de 0 à 200 mm
- Cylindre étanche avec système d'aspiration des poussières (15000 m<sup>3</sup>/h) relié à filtre à poussières
- Température interne inférieure à 50°C grâce à la ventilation (pas de fusion des plastiques, qui démarre à partir de 70-80°C)
- Productivité de 4 à 5 t/h pour les PAM (Modèle RS2018)
- Puissance d'entraînement (max) : autour de 110 kW

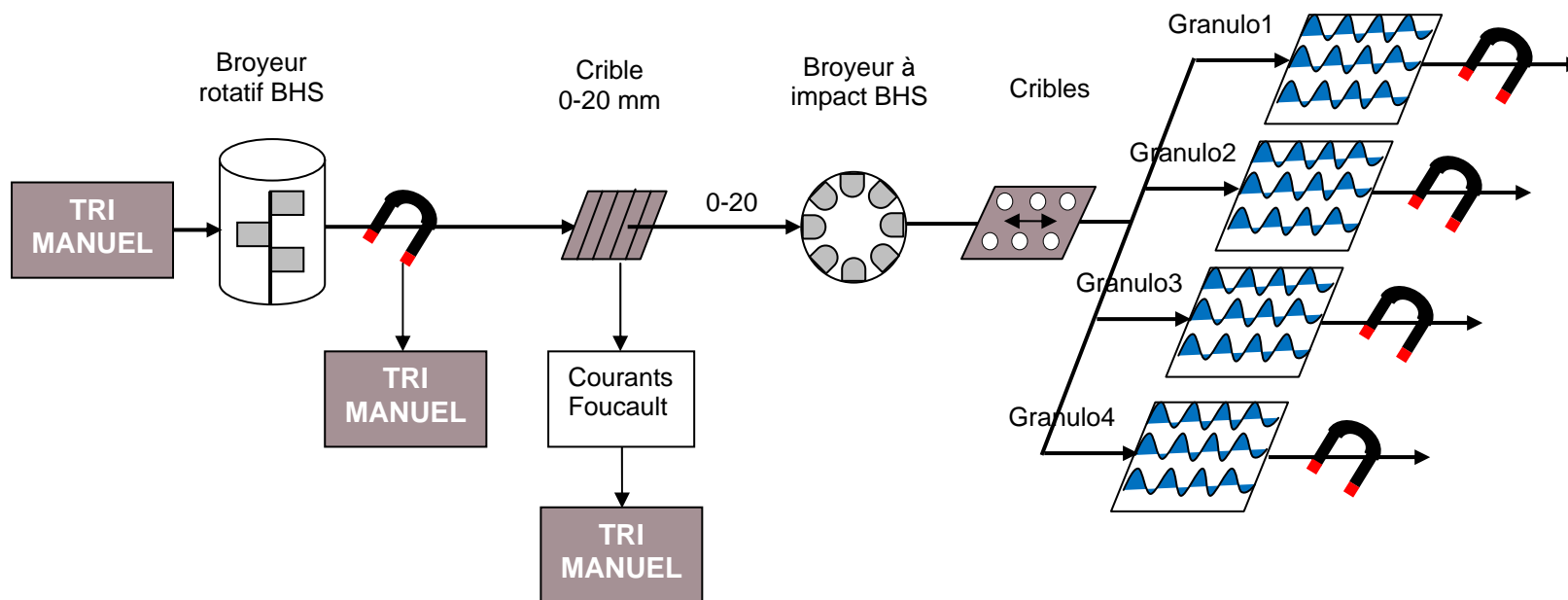
##### **Broyeur à impact BHS (dit « RPMV »)**

- Dimensions du cylindre : 0,8 à 1,7m (diamètre) x 2 à 2,7m (hauteur) selon grosseur de modèles
- Technologie de réduction de volume : nombre variable au choix de 6 à 12 marteaux en forme de fer à cheval disposés à l'intérieur du cylindre sur les parois – vitesse de rotation réglable du cylindre : autour de 1500 tr/min.
- Ouverture pour libération des extrants à 20 mm
- Productivité : jusqu'à 5t/h pour les DEEE (selon les grosseurs de modèles – 3 modèles) ; de 1 à 8 t/h pour l'Alu provenant du tri sélectif ; de 15 à 35 t/h pour les RBA
- Puissance d'entraînement (max) : de 45 à 160 kW (selon modèles)

## 4.2 Synoptique des flux (cas d'une installation type – broyeur RS2018)



### 4.3 Schématisation des technologies en présence pour l'installation type ci-avant



## 5. Indicateurs généraux d'exploitation

- Nombre et nature des fractions sortantes : cf. synoptique, variable suivant la composition du flux entrant et la conduite d'exploitation de l'équipement
- Indice de recyclabilité des fractions sortantes : NC
- Taux et nature des fractions polluantes extraites : variable selon la conduite d'exploitation de l'équipement
- Capacité, productivité du procédé : productivité de l'installation complète de 4 à 5 t/h (cas avec broyeur RS2018)
- Coûts, investissements, exploitation : NC

## 6. Observations de synthèse

### Points forts :

- Temps de remplacement pièces d'usure réduits
- Les pièces d'usure durent plus longtemps que les marteaux/couteaux classiques
- Consommation d'énergie réduite
- Séparation de fractions « polluantes » propres à pouvoir subir un traitement spécialisé
- Séparation de plastiques de tailles moyennes à grandes (> 20 mm), plus facilement commercialisables auprès de repreneurs qui peuvent les identifier plus aisément

### Point faible / limite :

- Nécessite un retrait préalable du flux entrant des objets de grande taille avant l'étape de broyage/éclatement

### Impact environnemental :

- Contrôle des émissions : filtre à poussières sortie broyeur RS, aspirations à divers points de l'installation

## 7. Source, origine des informations, contacts

M. Ritzmann (Van-Tech)

Site Internet : <http://www.bhs-sonthofen.de>

Par téléphone et messages électroniques courant mai 2008

## FICHE DESCRIPTIVE DE PROCEDE PAM n°9

**TYPE DE FLUX : Cartes électroniques et plastiques issus du PAM**

**TYPE DE PROCEDE : Pyro-gazéification selon la technologie**

**« PYROBIO Energy + »**

**NOM DE L'ENTREPRISE : CVG, Centre technique en charge de la validation  
procédé avec Finaxo (France)**

**CONTACT : Claude JAMROZIK et Philippe DAVID (Centre de Valorisation des  
Glucides)**

### 1. Identification et objectif du procédé

Finaxo est initialement une société spécialisée dans la conception et la construction de matériel de traitement d'effluents liquides. Suite à l'acquisition d'une société, Finaxo est en cours de développement d'un procédé de traitement par Pyro-gazéification, appelé PYROBIO Energy +.

Le fabricant considère que ce procédé, susceptible de valoriser en énergie toute chaîne carbonée d'origine biologique ou fossile, moyennant des vérifications techniques, pourrait valablement trouver une application pour le traitement des plastiques et mélanges plastiques/métaux issus des DEEE.

### 2. Opérationnalité (propriété industrielle, perspective de développement)

Ce procédé a été conçu par Finaxo qui en a la propriété industrielle par le biais d'un brevet (Brevet n°0309592 protégeant principalement le principe de l'utilisation des billes comme media caloporteur).

Aujourd'hui, il existe deux unités pilotes :

- Une au CVG (Centre de Valorisation des Glucides) à Dury dans la Somme qui contribue au développement technique de l'unité avec Finaxo. Cette unité a déjà tourné environ 1 millier d'heures en 2007 et 2008 et des essais ont été réalisés sur différents substrats organiques biologiques, principalement des vinasses issues de la production de bioéthanol. Des essais préliminaires ont également été conduits sur des matières lignocellulosiques ainsi que sur des résidus de traitement des matières organiques très riches en minéraux. D'autres essais sont programmés, en particulier avec des déchets de pneus, ainsi qu'envisagés avec des déchets de plastique. Ce pilote, polyvalent, est destiné à valider la technologie sur les vinasses de betterave puis sur d'autres produits.
- Une seconde unité de démonstration de même capacité (15 kg/h) a été installée dans une ZAC de Marne-la-Vallée pour le traitement des déchets d'emballage (cartons et palettes de bois).

Un projet industriel d'une capacité de 15 000 t/an est à l'étude pour la valorisation de vinasses de betterave issues de la production de bioéthanol. Ce projet associant TEREOS, FINAXO et le CVG est soutenu par le pôle de compétitivité Agro-Ressources de la région Picardie. L'objectif de Finaxo est de développer un procédé clé en main livrable à l'industrie du recyclage. Finaxo déclare que l'installation présente une grande modularité et serait conteneurisable.

### 3. Identification du flux entrant

Les produits potentiellement valorisables par ce procédé sont :

- Les broyats de plastiques en mélange (contacts en cours) ;
- Les broyats de cartes électroniques.

La préparation de la charge à incorporer est essentielle pour le bon fonctionnement du procédé dont l'efficacité dépend du bon écoulement de la matière dans le four de pyrolyse, de son temps de séjour et d'un bon transfert thermique.

Les produits à pyrolyser (échelle industrielle) doivent donc avoir une granulométrie inférieure à 30 mm et présenter une humidité plutôt faible, présentant un taux de matière sèche de 50 à 60% au minimum, sur la base des produits testés à ce jour.

Concernant les teneurs en composés halogénés (Cl et Br) des plastiques, les essais sur vinasse semblent indiquer que le Chlore est principalement concentré dans les résidus solides. Par ailleurs, la formation éventuelle de gaz HCl serait facilement éliminable par un système de lavage des fumées (disponible sur le pilote de Dury).

Dans le cas des plastiques, la production de dioxines ou de molécules similaires liées à la présence des retardateurs de flamme bromés est annoncée comme impossible du fait des conditions réactionnelles de pyrolyse puis de combustion du gaz produit.

Sous réserve d'essais et d'analyses plus approfondis, la présence limitée de PVC ou de retardateurs de flamme bromés dans le flux à pyrolyser n'apparaît donc pas comme limitante avec ce procédé.



## **4. Description détaillée du procédé**

### **4.1 Principe de fonctionnement et caractéristiques techniques**

#### **Principe de fonctionnement :**

La Pyrolyse est la décomposition thermochimique d'une matière en l'absence d'oxygène, à une température fixée typiquement de 450 à 900°C. Les produits de cette décomposition thermique sont un gaz combustible, en fonction des matières et des conditions opératoires, une huile organique éventuelle et un résidu solide minéral inerte contenant une petite fraction de coke (carbone pur). L'originalité de ce procédé est le couplage avec une gazéification (décomposition à température élevée en présence d'eau) permettant de valoriser immédiatement une bonne partie du coke et l'huile de pyrolyse éventuelle formés précédemment.

Les seuls produits obtenus sont donc le gaz combustible et le résidu solide (minéraux et coke, mais sans résidus organiques). Ce couplage de réaction est permis grâce à la maîtrise de l'écoulement de la matière dans le four et à un très bon transfert thermique assuré par des billes d'acier chauffées et un système de vis sans fin. Ce système permet de contrôler les températures de travail et les temps de séjour.

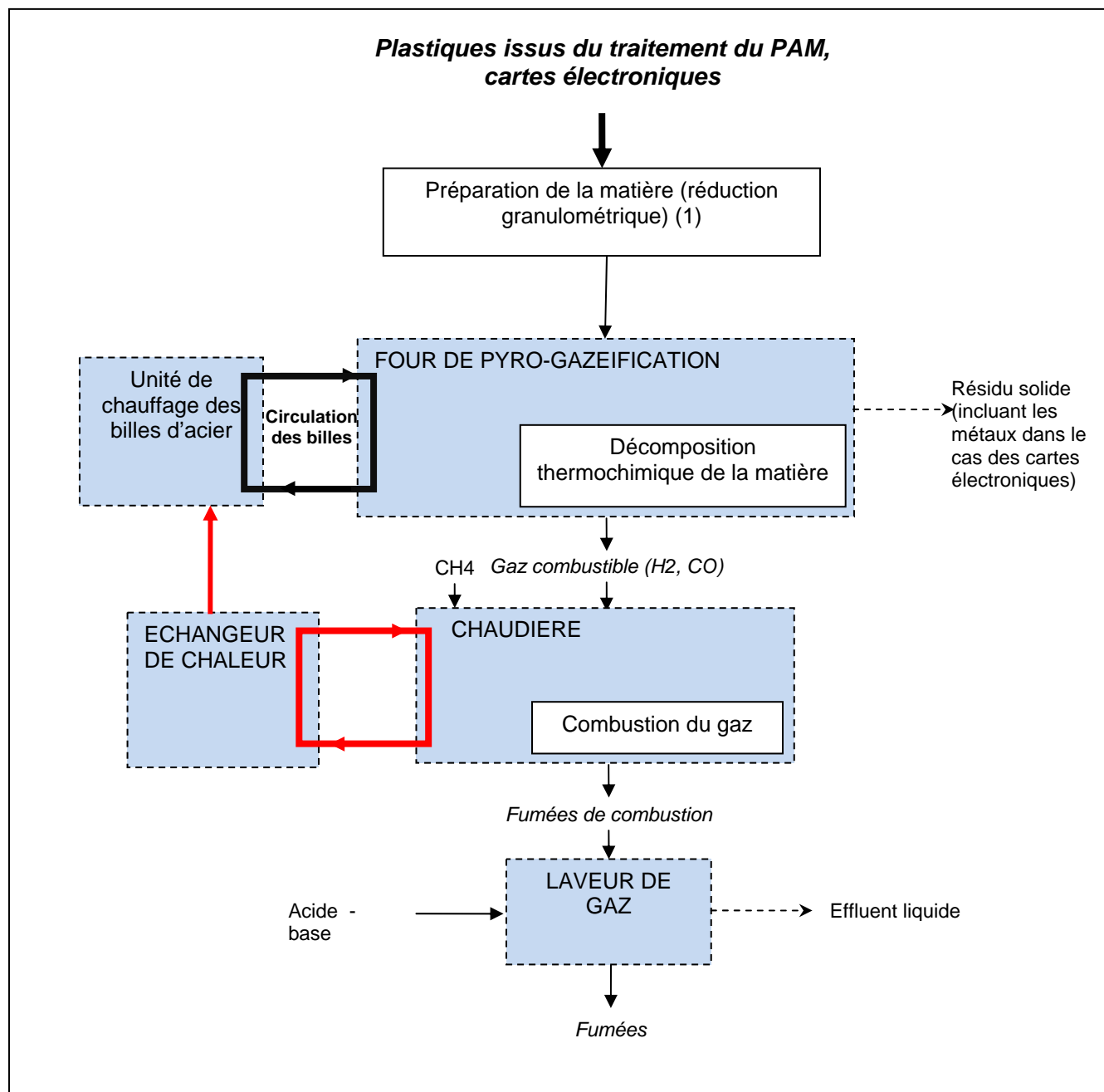
Le traitement des cartes électronique devrait permettre de récupérer les métaux (à valider).

#### **Caractéristiques techniques**

Pour le pilote de Dury, afin d'assurer le démarrage de l'installation (chauffage des billes), l'installation consomme du gaz naturel. L'alimentation en gaz sert également à réguler la combustion en chaudière en cas de baisse de la production de gaz combustible. Afin de limiter les phases de montée en température (consommation de CH<sub>4</sub>) ce procédé est prévu pour fonctionner 24h sur 24h (intégré dans la conception du pilote industriel suivant de plus grande capacité).

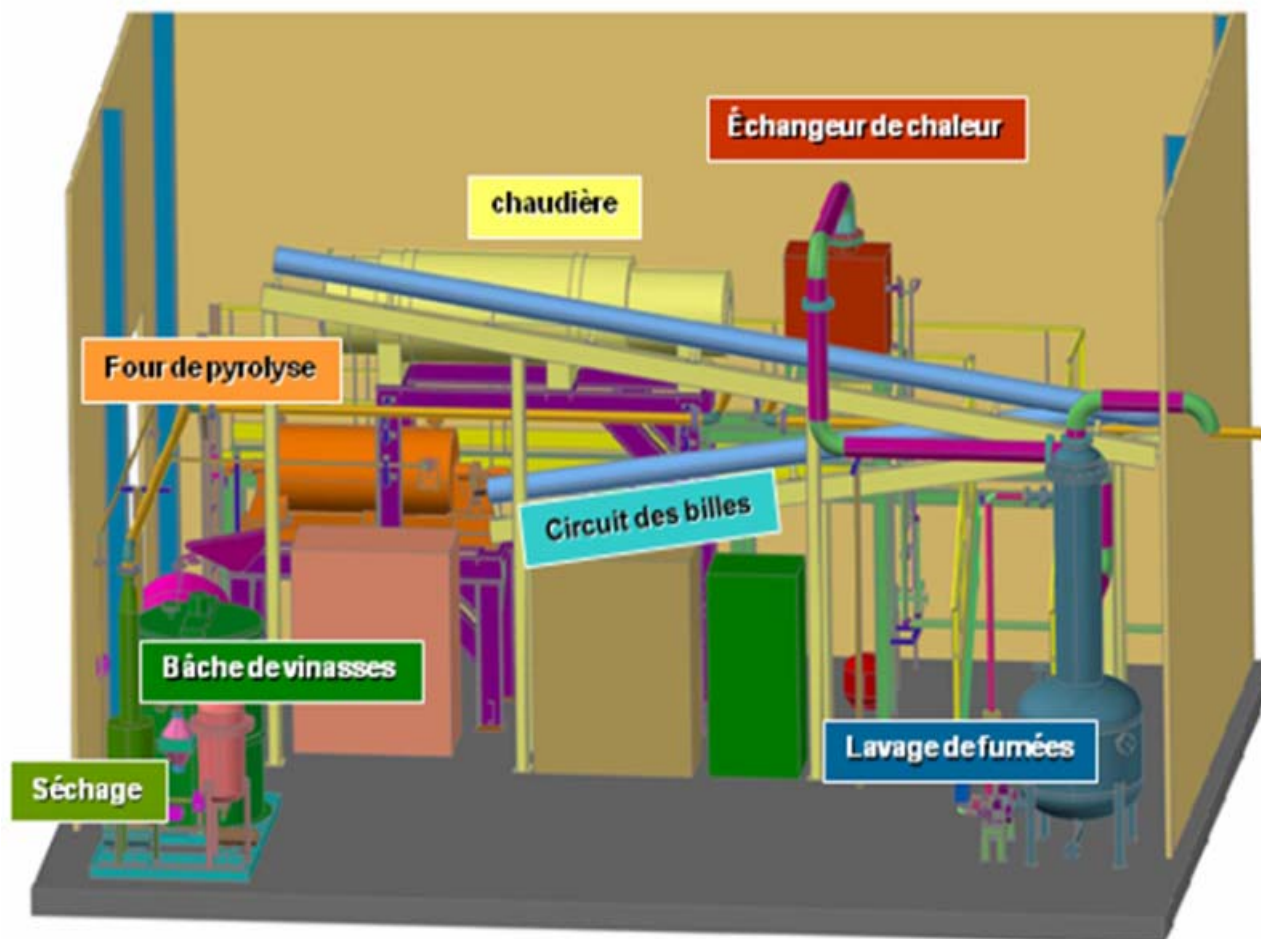
- Le pilote a une capacité de 15 kg/h.
- Temps de séjour des déchets : 12 minutes
- Température dans le four : entre 500 et 900°C Les vis et le four sont conçus en Inox Incoloy®, alliage conçu pour résister à la chaleur.
- Les billes sont fabriquées en un alliage haute température
- Diamètre des billes : 23 mm

## 4.2. Synoptique des flux



(1) Ou réception de broyats produits en amont

#### 4.3. Schématisation de l'unité de traitement (pilote de Dury)



Source : CVG

## 5. Indicateurs généraux d'exploitation

- Nombre et nature des fractions sortantes :

Gaz combustible principalement composé de H<sub>2</sub>+CO et résidus solides (minéraux et coke résiduel). La partie coke peut éventuellement être éliminée et produire de l'énergie additionnelle dans une combustion séparée.

- Indice de recyclabilité des fractions sortantes :

La part des résidus minéraux est très variable selon le produit pyrolysé (20% de matière minérale dans les vinasses, 1% dans les plastiques)

La forme des métaux issus par exemple du traitement des cartes n'est pas encore connue, le CVG indique que l'objectif du procédé est de pouvoir les récupérer pour recyclage.

- Taux et la nature des fractions polluantes extraites (mentionnées dans la directive DEEE)

Dans le cas des plastiques contenant des retardateurs de flamme bromés, ces substances devraient pouvoir être captées dans les résidus solides ou éliminées sous forme de gaz « lavable » dans un laveur de fumées.

- Capacité, productivité du procédé

Capacité : le pilote a une capacité de 15 kg/h (soit environ 100 tonnes par an si le pilote était conçu pour fonctionner en continu). Finaxo indique développer une gamme capable de traiter 100 à 30 000 tonnes /an.

- Coûts, investissements, exploitation

Coût du pilote : 400 000 € (prix du prototype incluant des modifications/améliorations successives et non représentatif d'une production industrielle future).

A ce stade, pour une installation industrielle clé en main, les coûts d'investissement sont estimés à « plusieurs millions d'euros en fonction de la capacité de traitement ». Pour le projet de traitement de vinasses de betterave (issu de la production de bioéthanol), le temps de retour sur investissement sur l'unité industrielle projetée est annoncé de 3 à 4 ans.

Les consommables sont principalement les billes d'acier (pas de remplacement pour l'instant après environ 1000 h de fonctionnement du pilote).

## **6. Observations de synthèse (points forts, points faibles, limites, obstacles à lever)**

### **Points forts :**

- Utilisation des billes permettant un transfert thermique efficace et une pyrolyse « rapide »
- Les résidus classiques de la pyrolyse sont directement valorisés en gazéification
- Seuls restent les résidus minéraux (environ 1% dans les plastiques)
- Neutralisation probable des retardateurs de flamme (partie organique de la molécule détruite et captation de l'atome d'halogène)
- Le contenu énergétique des plastiques est important

### **Points faibles :**

- Coût prévu de l'installation (mais retour sur investissement annoncé rapide par FINAXO)
- Séparation des métaux non validée

**Obstacles à lever :** le procédé doit être validé pour les plastiques pour lesquels encore aucun essai n'a été réalisé (essai prévus sur des broyats de pneus et envisagés sur les plastiques)

## **7. Source, origine des informations, contacts**

Claude JAMROZIK – Chef de projet R&D au CVG

Philippe DAVID – Responsable études et management de projets innovants

[www.finaxo.fr](http://www.finaxo.fr)

Visite du pilote de Dury le 30 mai 2008

## FICHE DESCRIPTIVE DE PROCEDE PAM n°10

**TYPE DE FLUX : Plastiques issus du PAM**

**TYPE DE PROCEDE : Dépolymérisation catalytique basse pression**

**NOM DE L'ENTREPRISE : Alphakat GmbH - Allemagne**

**CONTACT : M. Inhoff – Project manager.**

### 1. Identification et objectif du procédé

La société Alphakat a été créée en 2000 par Christian Koch sur la base d'un brevet sur une technologie de dépolymérisation catalytique à basse pression, un système baptisé KDV (Katalytische Drucklose Verölung).

L'objectif du procédé est la production d'un combustible liquide de type diesel à partir de matériaux composés de chaînes carbonées complexes, tels que les plastiques.

### 2. Opérationnalité (propriété industrielle, perspective de développement)

Alphakat dispose d'un brevet international sur cette technologie.

La société indique qu'à l'heure actuelle, la technologie est en cours de développement et n'est pas encore éprouvée pour des applications industrielles à grande échelle.

Cependant le procédé fonctionne déjà sur une dizaine d'unité de petite taille en Europe (principalement en Allemagne) et au Canada.

Au Canada, la société GEEP, filiale du groupe irlandais One 51 (également propriétaire de la société suisse Immark) exploite sur son site de Barrie (Canada - Ontario) depuis 2006 la plus grosse unité KDV en fonctionnement.

Cette unité est pour l'instant capable de produire 500 litres par heure de diesel à partir d'un mélange de plastique issu de DEEE (30%) et d'huile usagée non régénérable (70%)

### 3. Identification du ou des flux entrant

Les produits capables d'être traités par ce procédé sont les suivants :

- Tous types de plastiques, y compris les PVC
- Caoutchouc et pneus
- Huiles usagées, fluides hydrauliques, cires, graisses diverses
- Déchets de raffineries type bitume...
- Déchets organiques agricoles, industriels, ménagers

Concernant les plastiques, ceux-ci doivent être exempts d'éléments métalliques et inertes. Ils doivent également être séchés et finement broyés afin d'obtenir une poudre qui pourra être pulvérisée dans le réacteur.

## **4. Description détaillée du procédé**

### **4.1 Principe de fonctionnement et caractéristiques techniques**

#### **Principe de fonctionnement :**

La formation du combustible est permise par une réaction de catalyse dans un milieu sans oxygène, la « même » que celle du processus naturel de formation du pétrole.

Le matériau doit être finement broyé, additionné d'un catalyseur minéral (entre 0.5 et 3%) et mélangé mécaniquement. Il s'ensuit deux réactions :

- La production de CO<sub>2</sub> qui permet l'extraction de l'oxygène des molécules (sans extraction de l'hydrogène)
- La dépolymérisation des molécules organiques en chaînes plus courtes

Cette réaction a lieu aux alentours de 280°C, température permettant l'évaporation des molécules légères qui formeront le diesel.

Ces molécules sous forme de gaz sont condensées puis distillées afin d'obtenir un combustible de type diesel.

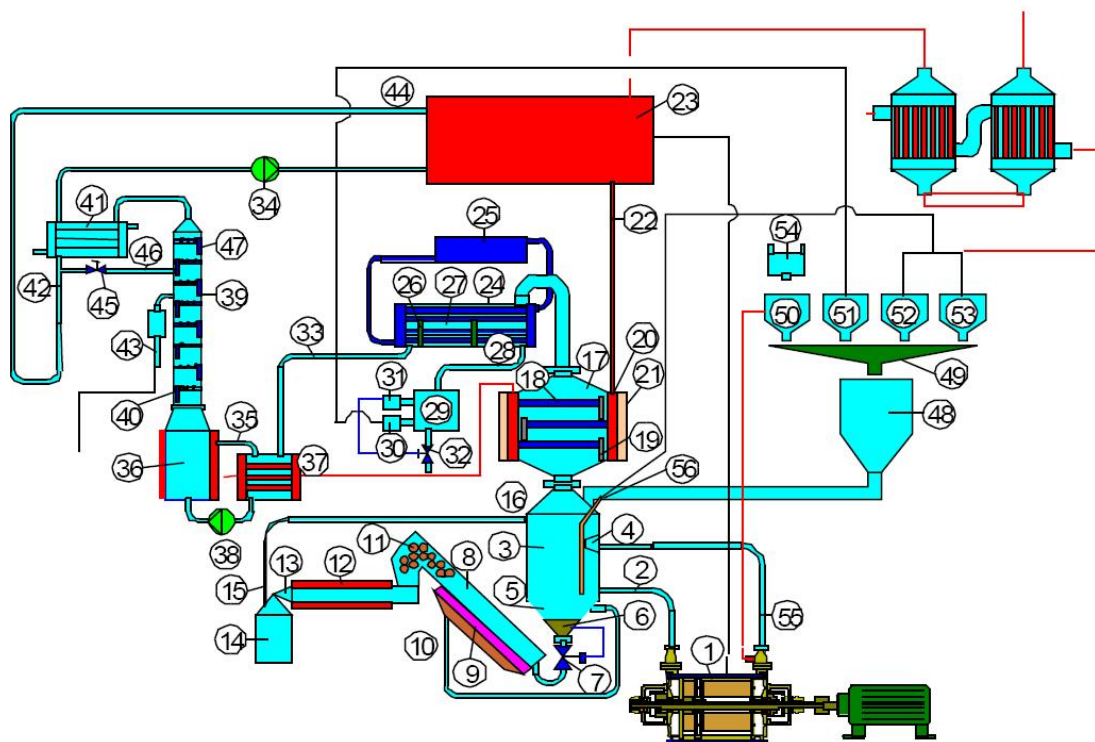
En fonction des intrants, un réactif basique (chaux) est ajouté (1 à 5% en fonction de la teneur en halogène) et permet de piéger les halogènes (par exemple le chlore des PVC ou le brome des retardateurs de flamme bromés) sous forme de sels. Cela évite la formation de dérivés halogénés de type dioxines.

#### **Caractéristiques techniques :**

### **4.2 Synoptique des flux**

N.C

#### 4.3 Schématisation de l'unité de traitement



1. Chambre de mélange haute puissance	20. Chauffage électrique	41. Condenseur
2. Tube d'alimentation sous vide	21. Isolation	42. Produit du générateur
3. Séparateur	22. Tube d'échappement des gaz	43. Produit final
4. Bec de connexion	23. Générateur	44. Connection au generateur
5. Partie conique du séparateur	24. Condenseur	45. Valve de reflux
6. Résidu solide	25. Cycle de refroidissement	46. produit recyclé
7. Valve de sortie	26. séparateur	47. Niveau haut de la colonne de distillation
8. Presse convoyeur	27. Débord	48. Entrée des matières premières et déchets
9. Filtre	28. Séparateur de l'eau	49. Tube d'entrée
10. Tube de recyclage vapeur	29. Contrôle pH	50. Dosage du catalyseur
11. Résidus compactés	30. pH-mètre	51. Dosage des neutralisants
12. Serpentin de chauffage	31. Mesure conductivité	52. Entrée déchets liquide
13. Bec	32. Valve de sortie	53. Entrée déchets solide
14. Réservoir des inorganiques	33. Tube pour diesel	54. Big-bag de dosage
15. Tube de recyclage vapeur	34. Pompe à vide	55. Contrôle de température
16. Distillat intermédiaire	35. Cycle de chauffage de l'huile	56. Contrôle de niveau
17. Chambre de vaporisation	36. Circuit d'évaporation	
18. Distillat	37. Tube	
19. Canal de recyclage	38. Pompe de circulation	
	39. Distillation	
	40. Compteur	

Source : Alphakat (documentation fournisseur)



## 5. Indicateurs généraux d'exploitation

- Nombre et nature des fractions sortantes :

Fractions	Part relative de chaque fraction	Filière
Diesel	Représente environ 80 à 90% de la valeur calorique du flux entrant	Valorisé comme combustible
« Boues » minérales	Dépend de la teneur en matière minérale du flux entrants	NC
Gaz non condensables	Dépend du flux entrant	En fonction de leur pouvoir calorifique : valorisés comme combustible
Eau «salée»	Dépend du flux entrant	NC

- Indice de recyclabilité des fractions sortantes :

Le procédé Alphakat n'est pas un procédé de recyclage mais de valorisation thermique

- Taux et la nature des fractions polluantes extraites (mentionnées dans la directive DEEE)

Dans le cas de plastiques de DEEE, les polluants tels que les retardateurs de flamme bromés (PBDE) sont détruits et le brome est lié dans des sels.

- Capacité, productivité du procédé

Pour l'instant la plus grosse unité en fonctionnement est capable de produire 500 litres par heure de diesel à partir d'un mélange d'huile usagée (70%) et de plastiques (30%)

- Coûts, investissements, exploitation

NC

## **6. Observations de synthèse (points forts, points faibles, limites, obstacles à lever)**

### **Points forts :**

- La possibilité de traiter des natures de plastiques en mélange
- Le piégeage des halogènes sous forme de sels
- Le rendement énergétique annoncé

### **Points faibles :**

- Le procédé est encore en cours de développement et doit être validé pour un fonctionnement avec 100% de plastiques.
- Le coût d'investissement d'une telle installation pour des capacités de traitement pour l'instant faible

### **Impact environnementaux**

2 à 5% du diesel généré est utilisé pour l'apport énergétique

Tous les halogènes sont liés sous forme de sels

## **7. Source, origine des informations, contacts**

M. Inhoff – ALPHAKAT

Entretien téléphonique le 26 septembre 2008

[www.alphakat.de](http://www.alphakat.de)

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

## V – PROCÉDES DE TRAITEMENT DES CARTES ÉLECTRONIQUES

### V.1 Description des cartes électroniques

Une carte électronique (ou circuit imprimé, en anglais « PCB » pour Printed Circuit Board) est un support, généralement une plaque, destiné à regrouper des composants électroniques, afin de réaliser un système plus complexe.

Le circuit imprimé est une plaque fabriquée à partir de matériaux composites (anciennement bakélite, de couleur marron, puis résine époxy, de couleur verte) et doublée d'une ou plusieurs fines couches de cuivre. Cette plaque, de longueurs et largeurs très variables, a une épaisseur de l'ordre du millimètre (standard = 16/10 mm).

On distingue les cartes dites « riches » des cartes dites « pauvres » à la quantité et la qualité des composants présents sur les cartes :

- Les cartes « riches » sont principalement présentes dans les micro-ordinateurs, les téléphones mobiles ou certains DEEE professionnels. Elles sont particulièrement riches en composants de connectique sur lesquels sont déposées les couches de métaux précieux.
- Les cartes « pauvres » sont présentes dans les écrans, l'appareillage électroménager, le Hi-fi grand public, les imprimantes...

Certains repreneurs distinguent 3 qualités de cartes selon leur teneur en métaux précieux :

	Cartes "pauvres"	Cartes "intermédiaires"	Cartes "riches"
Or	1 à 50 g/t	50 à 150 g/t	> 150 g/t
Argent	150 à 250 g/t	250 à 500 g/t	> 500 g/t
Cuivre	15%	15 à 20%	15 à 20%

Source : Regain

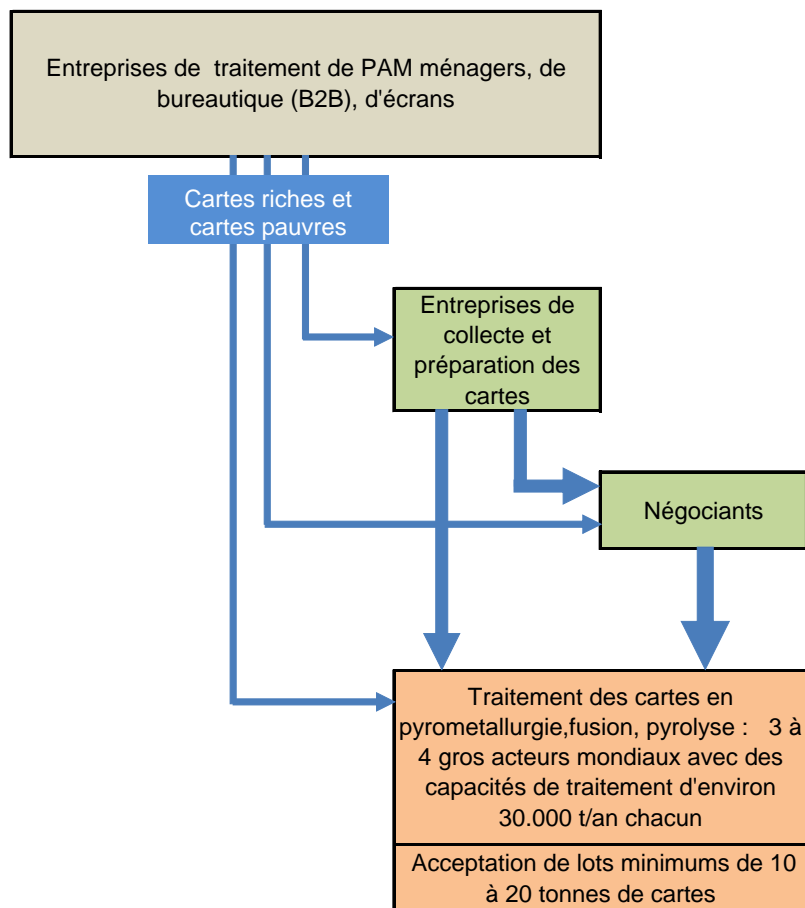
### V.2 La filière de collecte et traitement

Dans les DEEE, les cartes électroniques ne sont pas un flux collectés spécifiquement mais sont extraites par les opérateurs de traitement de PAM ménagers et professionnels, des écrans et de plus en plus de GEM.

Leur préparation et leur regroupement est réalisé le plus souvent par des entreprises spécifiques qui massifient, réalisent le tri et le broyage. L'expédition vers les centres de traitement finaux est assurée par ces préparateurs, par des négociants spécialisés sur la valeur des métaux et, de plus en plus, par les opérateurs de traitement des DEEE qui tendent à vouloir contrôler le devenir de leur flux de cartes.

Le traitement final est assuré par 3 grands acteurs mondiaux, à la base affineurs de métaux non-ferreux et de métaux précieux issus de minerais. Les procédés de traitement par pyrométallurgie sont des installations très lourdes ne présentant pas véritablement de caractère innovant.

Le diagramme ci-dessous illustre l'organisation de la filière cartes.



### Détermination des prix de reprise

Le prix de reprise des cartes est basé sur 2 aspects :

- Le prix du traitement des cartes proposé par les affineurs
- Le cours des métaux au moment où le fournisseur de cartes choisit de vendre les métaux qui lui appartiennent au repreneur de son choix (peut être l'affineur des cartes lui-même)

### V.3 Identification des principaux acteurs de préparation et traitement des cartes

ACTEURS	Flux entrant	Technologie	Capacité de traitement	N° de fiche correspondante
<b>Opérateur de traitement du PAM assurant une préparation et un tri des cartes; préparateurs de cartes</b>				
Triade Electronique (France -49)	Cartes pauvres <sup>(1)</sup>	Désintégrateur et broyeur à impact	NC	PAM 2
Remondis (Allemagne)	Cartes riches issues du PAM <sup>(2)</sup>	Tri optique	NC	PAM 3
Cornec (France - 60)	Cartes riches, cartes pauvres	Tri, broyage et deferraillage	NC	-
AC2E (France - 59)	Cartes pauvres <sup>(3)</sup>	Broyage et deferraillage	NC	-
<b>Affineurs de cartes</b>				
Umicore (Belgique)	Cartes (ou broyats) de cartes riches, broyats de cartes pauvres	Pyro métallurgie	de l'ordre de 30.000 t/an	CARTE 1
Boliden (suède)			de l'ordre de 30.000 t/an	-
X-Strata (Canada)			NC	-
Terra Nova (France)		Pyrolyse	Projet de 30.000 t/an	CARTE 2

<sup>(1)</sup> Des lots de cartes pauvres issues du traitement des écrans ou du PAM sont constitués pour traitement en campagne dans l'installation mécanisé de traitement du PAM. Les cartes riches sont elles dirigées en l'état vers des procédés d'affinage "métaux précieux"

<sup>(2)</sup> Les cartes font l'objet d'une attention particulière, étant extraites lors du traitement du PAM à 3 niveaux ; avant d'être dirigées sur des procédés d'affinage "métaux précieux"

- étape d'extraction manuelle préalable
- étape d'extraction manuelle post broyage
- étape mécanisée de tri "magnétique optique" sur résidus de broyage de PAM

<sup>(3)</sup> Les cartes sont préparées en concentrés/ broyats avant d'être dirigées sur des procédés d'affinage "métaux précieux"

### V.4 Fiches descriptives

Ci-après sont présentées les 2 fiches descriptives de procédés de traitement de CARTES ELECTRONIQUES.

## FICHE DESCRIPTIVE DE PROCEDE CARTES n°1

**TYPE DE FLUX :** Cartes et composants électroniques (et téléphones portables)

**TYPE DE PROCEDE :** Récupération des métaux précieux et non-ferreux par une technologie intégrée de fusion et affinage, une combinaison de pyro- et hydrométallurgie.

**NOM DE L'ENTREPRISE :** Umicore Precious Metals Refining, Belgique

**CONTACT :** Mr. Steven Art, Sales Manager (E-waste supply)

### 1. Identification et objectif du procédé

Le procédé exploité par la société Umicore sur son site de Hoboken en Belgique est basé principalement sur une technologie de fusion suivie de procédés d'affinage de composés métalliques ; il est destiné en priorité à la récupération des métaux précieux.

### 2. Opérationnalité, propriété industrielle, perspective de développement

Les opérations d'affinage du plomb et de désargentation ont débuté en 1887 sur le site de Hoboken et ont évolué depuis vers une technologie métallurgique spécialisée dans le traitement de matières complexes. Des projets d'augmentation de capacité de traitement sont aujourd'hui en cours au sein d'Umicore, notamment au regard de la croissance potentielle du gisement de DEEE (cartes et composants électroniques, téléphones portables) et de la limite technique d'acceptation de ce type de gisement dans le four (de l'ordre de 10% de la charge totale maximum).

### 3. Identification du ou des flux entrants

L'installation traite en mélange :

Des déchets dits « recyclables » (certains types de DEEE<sup>(1)</sup> ; pots catalytiques...) : 13% du tonnage entrant annuel (DEEE = environ 10% du tonnage entrant annuel)

- Des déchets métallurgiques (boues d'électrolyse, sulfate de plomb, scories, ciments de cuivre...) : 70% du tonnage entrant annuel
- Des minerais complexes : 17% du tonnage entrant annuel

(1) Les DEEE ou composants de DEEE suivants sont acceptés par Umicore :

- a. les cartes électroniques riches ;
- b. les cartes électroniques pauvres ayant subi une préparation/concentration (retrait des pièces lourdes ou massives de métaux ferreux et Alu) ;
- c. les composants électroniques riches (ex : processeurs informatiques) ;
- d. les téléphones portables préalablement débarrassés de leur accumulateur ;
- e. et divers déchets de production contenant des métaux précieux.

### **Analyse des lots entrants par échantillonnage** (pour détermination de la valeur de reprise) :

La taille minimale d'un lot entrant de DEEE accepté par Umicore est de l'ordre de 10 t, avec des variations selon le type et la qualité des DEEE.

Chaque lot de DEEE entrant (cartes électroniques, téléphones portables débarrassés de leurs accumulateurs,...) est soumis à une procédure d'échantillonnage. Afin d'obtenir des échantillons représentatifs, la procédure se compose de différentes étapes, dont 2 étapes de broyage (aboutissant à des matières d'une granulométrie de 7x7 mm). Un système d'aspiration permet de récupérer les poussières qui seront remélangées proportionnellement au lot. Après le premier broyage, plus de 1000 prélèvements ('incréments') sont effectués sur le flux pour subir un deuxième broyage. Au final, 16 échantillons d'environ 100g seront constitués. Umicore procède à l'analyse de composition sur 4 échantillons parmi les 16 ; 2 échantillons sont envoyés au client, les autres échantillons sont conservés en cas d'arbitrage.

## **4. Description détaillée du procédé**

### **4.1 Principe de fonctionnement**

La composition de chaque lot entrant (déchets recyclables, métallurgiques, autres) est analysée par échantillonnage et analyse chimique suivant une procédure spécifique à chaque type de matière. Avant échantillonnage, chaque lot est stocké de manière séparée dans une alvéole identifiée. Après échantillonnage, le résidu de matière sera stocké dans des compartiments de stockage, en mélange avec des matières de qualité et composition identiques.

Pour chaque batch, une charge pour le four d'entrée est constituée à partir d'un mélange défini de différentes qualités de matières disponibles (mélange de DEEE, déchets métallurgiques et minerais complexes), suivant un plan de production visant à conserver les paramètres du four d'entrée stables.

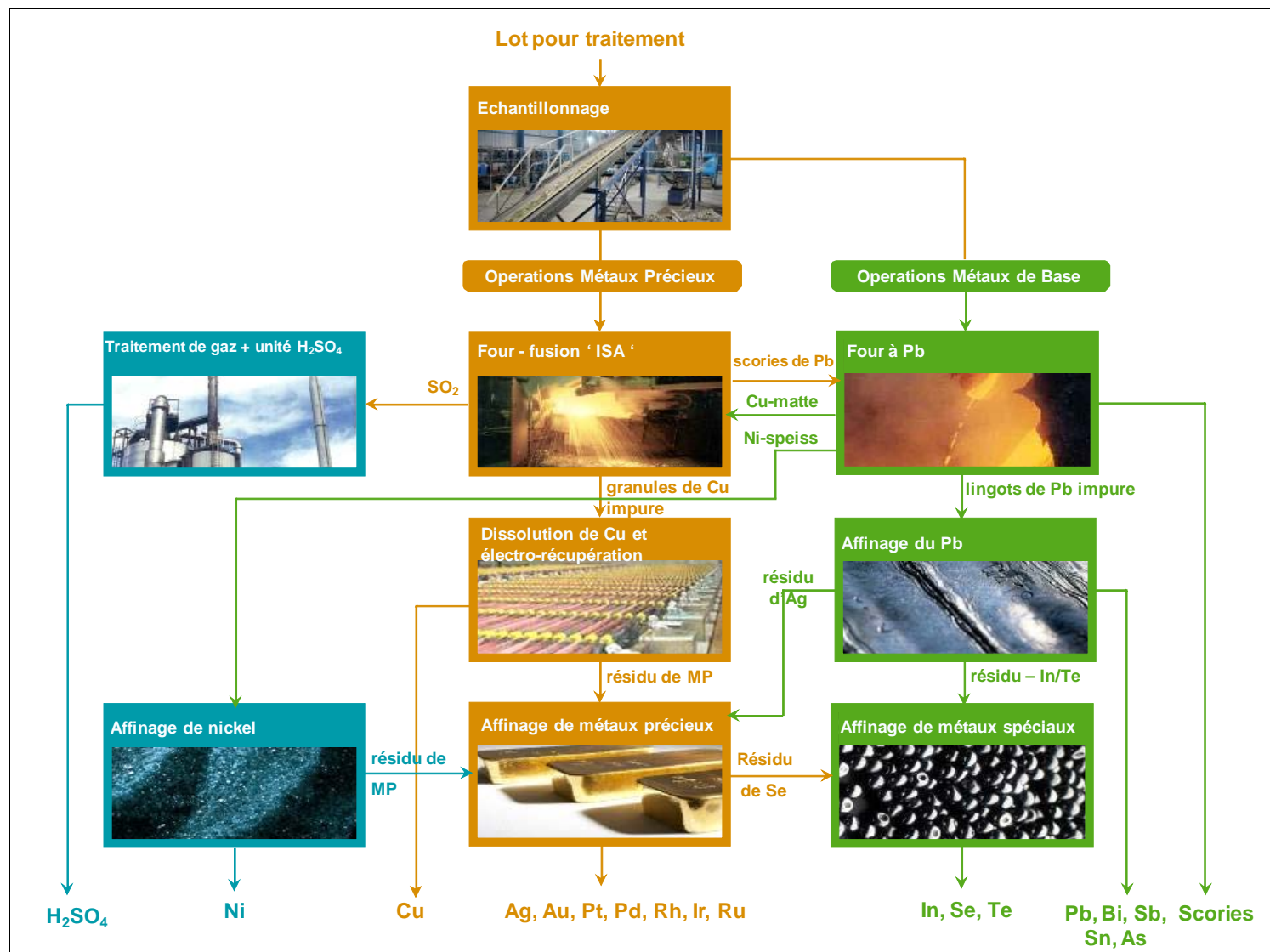
Le **procédé** se décompose en plusieurs étapes :

- Four ISA avec récupération et traitement des fumées (neutralisation des composés halogénés par voie humide et récupération du SO<sub>2</sub> pour production d'acide sulfurique sur site). Le four produit 2 fractions : la fraction cuivreuse avec les métaux précieux sous forme de granules et la fraction de plomb avec les impuretés sous forme de scories.
- Four à plomb pour les scories de plomb
  - o Séparation des scories contenant les métaux « inertes » (Fe, Al, Si, Mg, ...)
  - o Affinage du plomb avec les métaux spéciaux (Bi, In, Te, ...)
- Granulation puis dissolution en bain d'acide sulfurique de la fraction cuivreuse et séparation par électrorécupération :
  - o Du cuivre
  - o Des résidus contenant les métaux précieux qui vont être ensuite concentrés et suivre un affinage spécifique pour séparation et récupération de 7 types de métaux précieux (Argent, Or, Platine, Palladium, Rhodium, Iridium, Ruthénium)

### **Caractéristiques techniques** sur le four ISA :

- Capacité : 1000 t / jour
- Fonctionnement 24 h/24
- Température de 1100°C grâce à source d'énergie combinée air+dioxygène+carburant
- « Rebriquage » du four tous les 16 mois

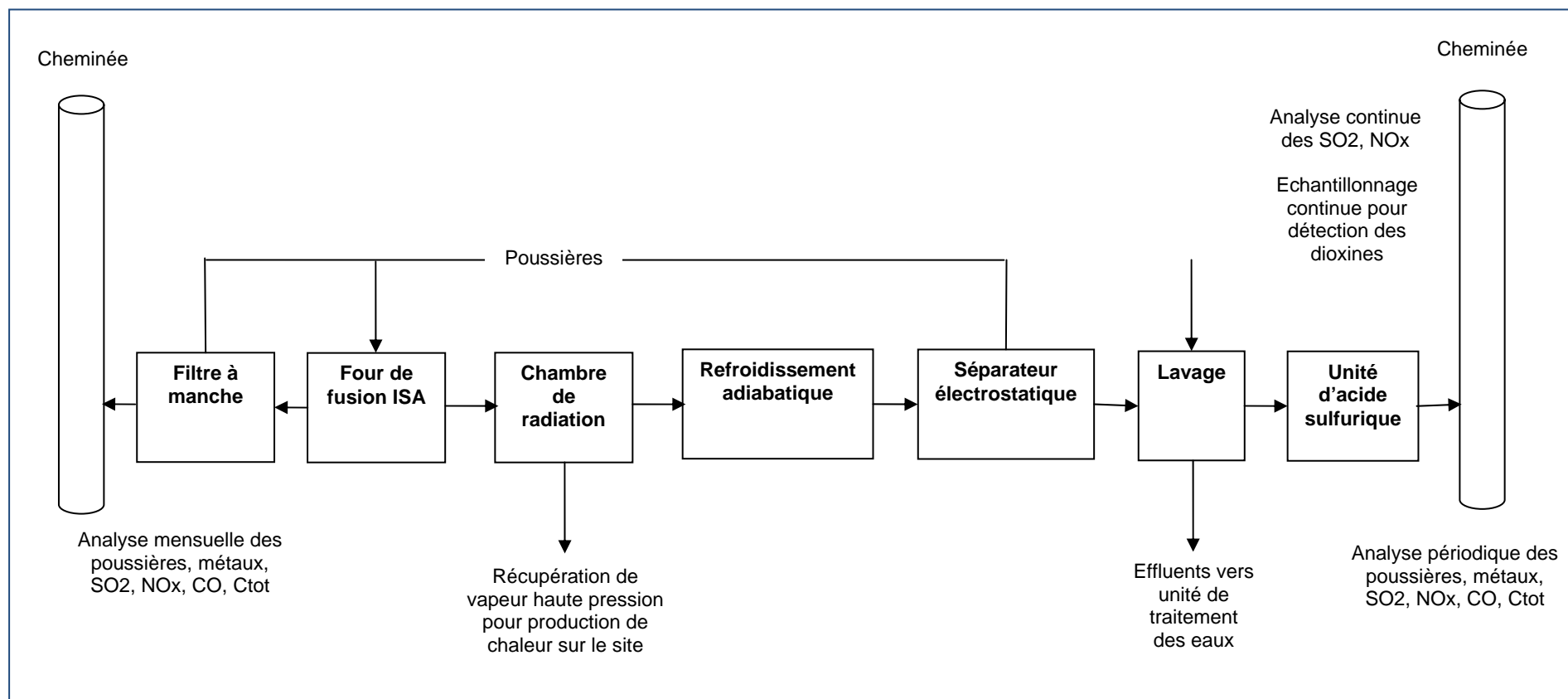
## 4.2. Synoptique des flux



Source : Umicore Precious Metals Refining



#### 4.3. Détail des installations de contrôle des émissions produites par le procédé Four ISA



Source : Umicore Precious Metals Refining

#### 4.4. Schéma du processus d'échantillonnage d'un lot entrant

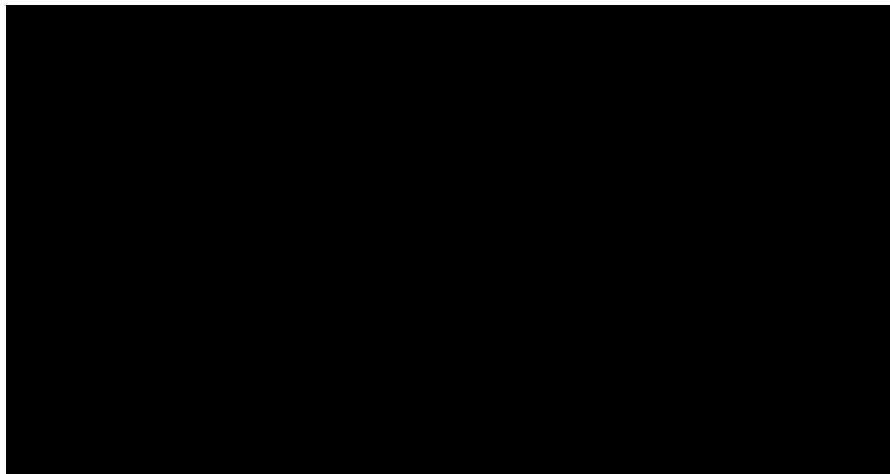


Source : Umicore Precious Metals Refining

## 5. Indicateurs généraux d'exploitation

- Nombre et nature des fractions extraites : cf. synoptique
- Indice de recyclabilité des fractions sortantes : 1

A titre indicatif, le bilan matières suivant nous a été communiqué par Umicore pour les téléphones portables (préalablement débarrassés de leurs accumulateurs) :



Le plastique issu des DEEE est utilisé en substitut de carburant dans le four ISA. Les autorités belges locales reconnaissent le statut de « recyclage » de cette opération. Les « slags » ou « scories » issues du four à plomb sont granulées sur site de 4 à 32 mm et ont un débouché en additif dans la fabrication de béton. Umicore déclare atteindre en conséquence un taux de recyclage > 95% pour les téléphones portables.

- Taux et nature des fractions polluantes extraites : neutralisation des retardateurs de flamme halogénés ; les polluants type Cd et Hg sont concentrés dans les résidus pour élimination spécialisée
- Capacité, productivité du procédé :
  - Tonnage annuel entrant site de Hoboken : 300.000 t/an
    - Dont DEEE (cartes et composants + tél. portables) : 30.000 t/an
    - Dont téléphones portables : 200 t/an
  - Productivité : 1000 t/jour (four ISA)
- Coûts, investissement : NC

## 6.Observations de synthèse

### ▪ Points forts :

- Traitement complet des cartes et composants électroniques jusqu'à la séparation des métaux précieux entre eux
- Echelle industrielle
- Analyse de composition de chaque lot réceptionné pour traitement

### ▪ Point faible / limite :

- Acceptation d'une part limitée de cartes et composants électroniques dans la charge mixte pour traitement dans le procédé

- **Impact environnemental** : Contrôle des émissions -> système automatique d'arrosage du sol par intermittence sur l'ensemble des voies de circulation du site de Hoboken (126 ha) ; collecte des eaux du site pour traitement dans station d'épuration du site ; contrôle des émissions de l'installation de traitement des fumées (teneurs en plomb notamment) ; prises de sang régulières sur employés pour contrôle du taux de plomb.

## 7.Source, origine des informations, contacts

M. Steven Art (Umicore), Sales Manager (E-Waste Supply)

Visite d'installation du 18/06/08

## FICHE DESCRIPTIVE DE PROCEDE CARTES n°2

**TYPE DE FLUX : CARTES ELECTRONIQUES**

**TYPE DE PROCEDE : procédé pyrolytique de traitement de cartes électroniques**

**NOM DE L'ENTREPRISE : Terra Nova, France**

**CONTACT : Mr. Trabuc, co-fondateur**

### 1. Identification et objectif du procédé

La société Terra Nova SAS a été créée en Juillet 2006, dans le but d'exploiter une activité de recyclage de cartes électroniques et de récupération de métaux précieux.

### 2. Opérationnalité (propriété industrielle, perspective de développement)

La société au capital initial de 40 k€ dispose d'un arrêté préfectoral ICPE depuis juillet 2007 pour un bâtiment de 5000 m<sup>2</sup> loué sur le site d'Arcelor-Mittal à Isbergues (62).

Une augmentation de capital de l'ordre de 9 millions d'euros est déclarée être en cours de finalisation pour fin Juin 2008.

La société prévoit que son outil de production qui est en en cours d'acquisition soit opérationnel sur le site mi-2009. Le procédé fait l'objet d'un brevet Terra Nova.

### 3. Identification du ou des flux entrants

L'installation est prévue pour le traitement de cartes électroniques uniquement.

Terra Nova prévoit de traiter les cartes électroniques par campagne, les cartes riches séparément des cartes pauvres.

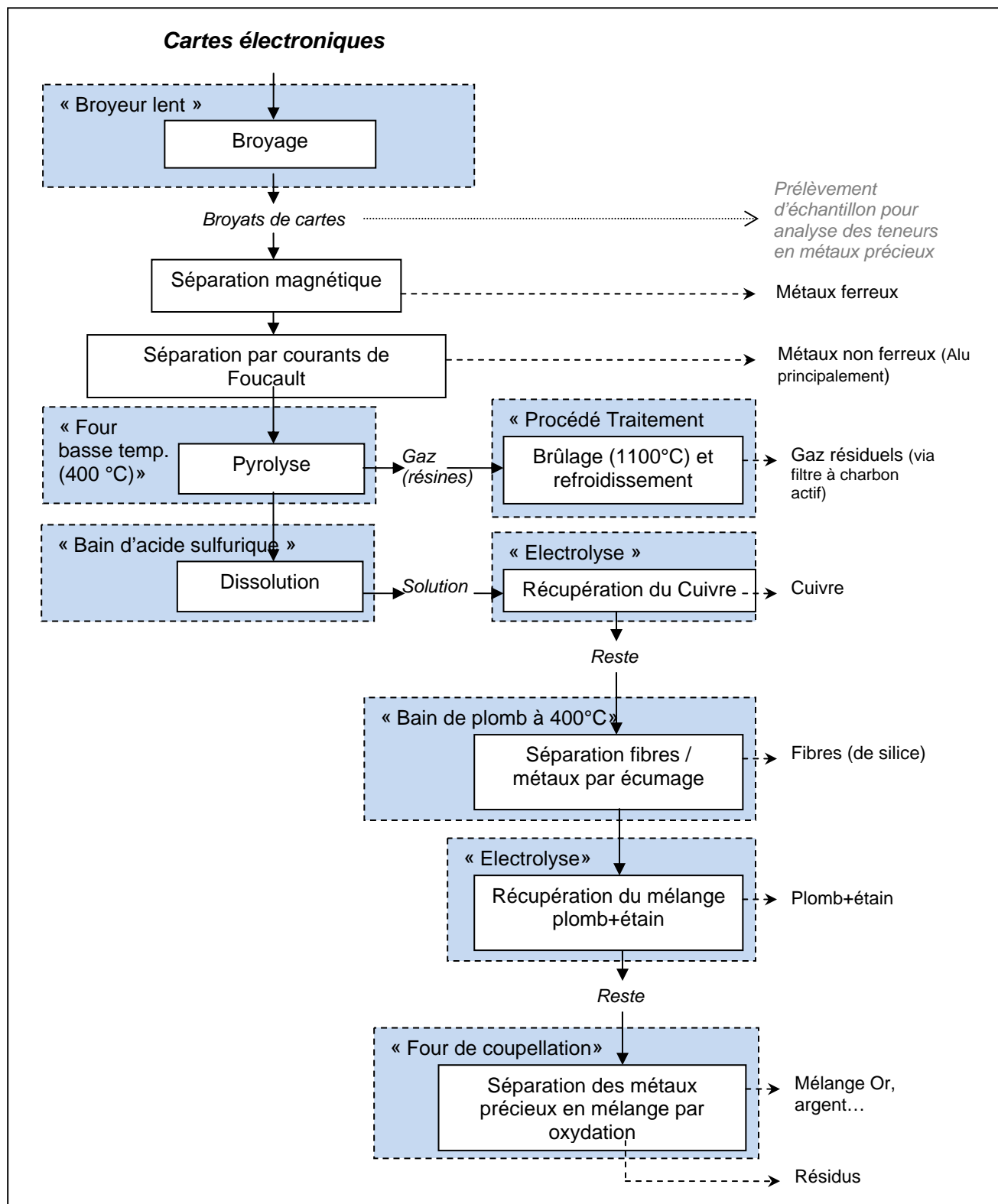
Terra Nova prévoit de traiter des cartes électroniques en provenance principalement de centres de démantèlement d'écrans ou de PAM ou d'exploitants de broyeurs/séparateurs (cartes extraites considérées « moins propres » que les précédentes), et ce pour des gisements en provenance de France, du Royaume-Uni et du reste de l'Europe.

## 4. Description détaillée du procédé prévisionnel

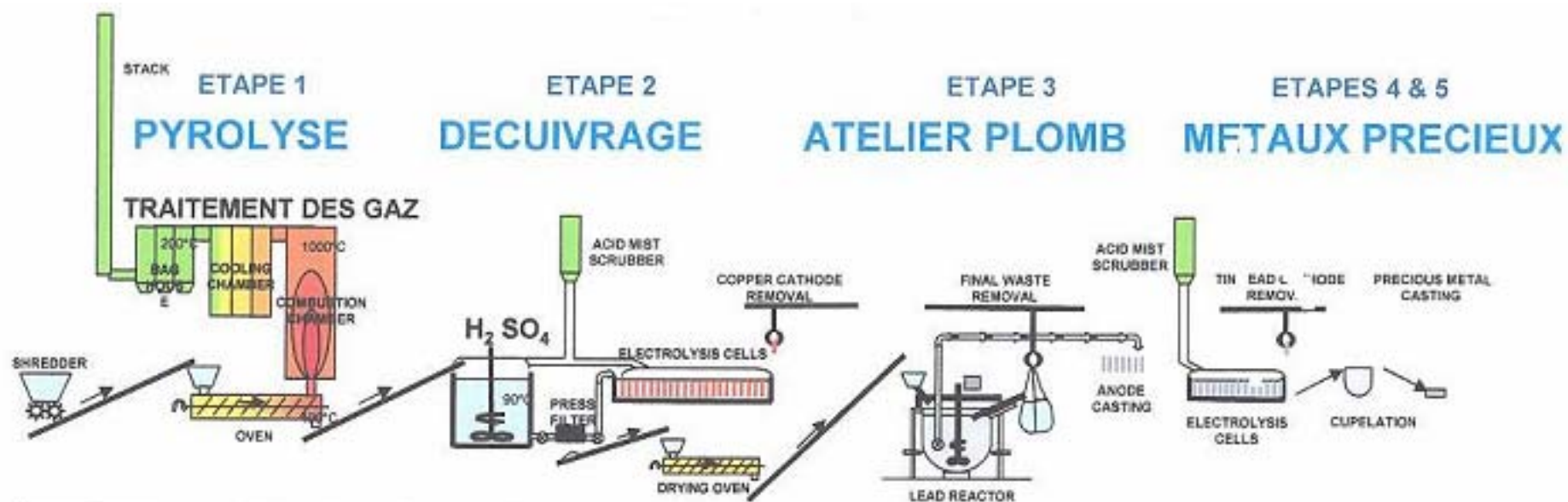
### 4.1. Principe de fonctionnement et caractéristiques techniques

Le procédé prévisionnel est basé sur une succession de technologies de séparation destinée à la récupération finale d'un concentré de métaux précieux (cf. synoptique ci-dessous).

### 4.2. Synoptique des flux



#### 4.3. Schématisation des technologies en présence



Source : Terra Nova

## 5. Indicateurs généraux d'exploitation

- Nombre et nature des fractions sortantes, indice de recyclabilité : cf. synoptique
  - ➔ Le bilan matières prévisionnel donnerait en grande masse :
    - 30% de résines (-> incinération avec récupération d'énergie),
    - 25% de fibres (-> utilisation chez Arcelor en substitution de silice),
    - 30% métaux ferreux + Alu+ Cu,
    - 5% Plomb+étain, <1% métaux précieux ;
    - 10% de résidus (-> CET)
  - soit un taux de valorisation de l'ordre de 90%.
- Taux et nature des fractions polluantes extraites : NC
- Capacité, productivité du procédé :
  - Capacité prévisionnelle : vise 30.000 t/an de cartes électroniques
  - Productivité : de 4 à 5 t/h (étape de broyage)
- Coûts, investissement, exploitation :
  - Coût de l'installation: investissement de plus de 9 millions d'euros
  - Nombres de postes: prévoit l'emploi de 50 personnes

## 6. Observations de synthèse

- **Points forts** : NC
- **Points faibles** : NC

- **Impact environnemental** :

Contrôle des émissions : filtre à charbon actif sortie procédé traitement gaz issus des résines (procédé de brûlage et refroidissement prévu pour éviter la formation de dioxines).

## 7. Source, origine des informations, contacts

M. Trabuc (Terra Nova), co-fondateur  
Entretien le 05/06/08



## VI – PROCEDES DE TRAITEMENT NON SPECIFICIQUES

Cette étude a permis d'identifier des procédés de séparation « transversaux » que l'on retrouve pour le tri des trois flux objets de cette étude ; il s'agit principalement du tri optique.

Les deux principaux constructeurs on été rencontrés : Pellenc ST et TITECH

Acteur	Technologie	Éléments triés	N° de fiche correspondante
Pellenc ST (France -84)	Identification proche Infra-rouge	Polymères plastiques	OPT 1
	Identification couleurs	La combinaison des deux technologies permet la séparation des cartes électroniques et des métaux non-ferreux entre eux	
	Détection des métaux		
TiTech (Norvège)	Identification proche Infra-rouge	Polymères plastiques	OPT 2
	Identification couleurs	La combinaison des deux technologies permet la séparation des cartes électroniques et des métaux non-ferreux entre eux	
	Détection des métaux		
	Identification rayon X	Présence d'Halogène dans les plastiques, séparation verre cône et verre dalle	

## FICHE DESCRIPTIVE DE PROCEDE OPT 1

**TYPE DE FLUX : Broyats de PAM – Cartes électroniques**

**TYPE DE PROCEDE : Tri optique des matériaux**

**NOM DE L'ENTREPRISE : PELLENC ST – Pertuis (84)**

**CONTACT : Pierre Mortelmans, Commercial France**

### 1. Identification et objectif du procédé

Pellenc ST est une société de conception et de fabrication de procédés de tri optique des déchets. Son principal marché est le tri des emballages ménagers, des déchets industriels, le recyclage des plastiques (PET,...) ; la société développe actuellement une gamme de machine de tri optique Très Haute Résolution (THR) capable de traiter d'autres types de déchets de granulométrie plus petite : broyats d'encombrants, RBA et broyats de DEEE.

La gamme de machine DEEE est principalement basée sur la reconnaissance en proche Infra Rouge. La technologie est applicable à des mélanges de plastiques et de métaux issus de broyage de DEEE.

### 2. Opérationnalité (propriété industrielle, perspective de développement)

Pellenc ST est dépositaire d'un brevet concernant la technologie d'analyse et de traitement des données issues du spectromètre.

A ce jour, deux machines pour des applications DEEE ont été vendues en France par Pellenc ST. (Tri des cartes électroniques dans des flux à dominante métallique).

Les développements réalisés sont le tri des polymères non noirs comme ABS, ABS/PVC, ABS/PC, PP, PE, PMMA, HIPS, PC, PVC, ...

Les développements à cours terme sont :

- L'optimisation de la séparation de certains plastiques (ABS et HIPS)
- La mise au point d'un tri ternaire (3 flux en sortie)
- L'amélioration de la séparation des métaux en haute résolution (séparation d'éléments jusqu'à 10mm)

et à moyen terme :

- La détection des plastiques noirs
- La détection d'additifs tels que les retardateurs de flamme

### 3. Identification du ou des flux entrants

Les unités de tri optique Pellenc ST sont capables de séparer des broyats de DEEE à dominante plastique et/ou métallique.

Pour être analysé efficacement, le flux doit être réparti de façon homogène sur le convoyeur avec un taux de remplissage d'un maximum de 11% (valeur actuellement validée). Afin d'obtenir une telle répartition, Pellenc ST préconise d'alimenter les unités à l'aide d'un crible vibrant.

Pour être trié, le matériau visé présent dans le flux doit posséder les caractéristiques suivantes :

- Etre de couleur non noir (ou très foncé), les éléments noirs n'offrent pas de réflexion. La présence d'éléments noirs en quantité importante affectera la qualité de tri de la machine (Pellenc ST déclare que la fraction noire doit être inférieure à 30% pour obtenir une pureté > 95%).
- Avoir une taille minimum de 10 mm (1 cm<sup>2</sup>). La granulométrie affectera l'efficacité du tri :
  - sur des éléments de taille de 10 mm, Pellenc ST annonce une efficacité de tri de 90%
  - sur des éléments de taille de 5 mm, Pellenc ST annonce une efficacité de tri de 50%
- Avoir une taille maximum de 200 mm

En résumé, pour être analysés et séparés efficacement, les flux doivent être « préparés » en fonction des modalités de séparation souhaitées : une même technologie est capable de séparer plusieurs produits en fonction des réglages de la machine.

## **4. Description détaillée du procédé**

### **4.1 Principe de fonctionnement et caractéristiques techniques**

#### **Principe de fonctionnement :**

La technologie Pellenc ST est principalement basée :

- sur l'identification spectrométrique du rayonnement visible réfléchi par les matériaux à trier après éclairage halogène.
- sur l'identification spectrométrique du rayonnement proche Infra Rouge (NIR) réfléchi par les matériaux à trier après éclairage halogène.
- sur la détection des métaux par induction électromagnétique

Ces technologies sont disponibles sur la machine Pellenc ST Mistral Technologie. Le modèle proposé est équipé en fonction de la demande des clients.

Les matériaux, une fois reconnus sont éjectés (ou au contraire non éjectés dans le cas d'un tri négatif) par une rampe de buses d'air comprimé.

Dans le cas des DEEE, les unités de tri optique sont adaptées au tri des plastiques (PVC, PE, PP, PMMA, PC, ABS/PC, ABS, HIPS, ABS/PVC,...), les cartes électroniques, le bois.

Actuellement, les unités développées réalisent un tri binaire : une seule fraction est séparée du flux entrant. De ce fait, dans l'hypothèse d'un flux hétérogène issu par exemple de traitement du PAM, deux configurations sont possibles :

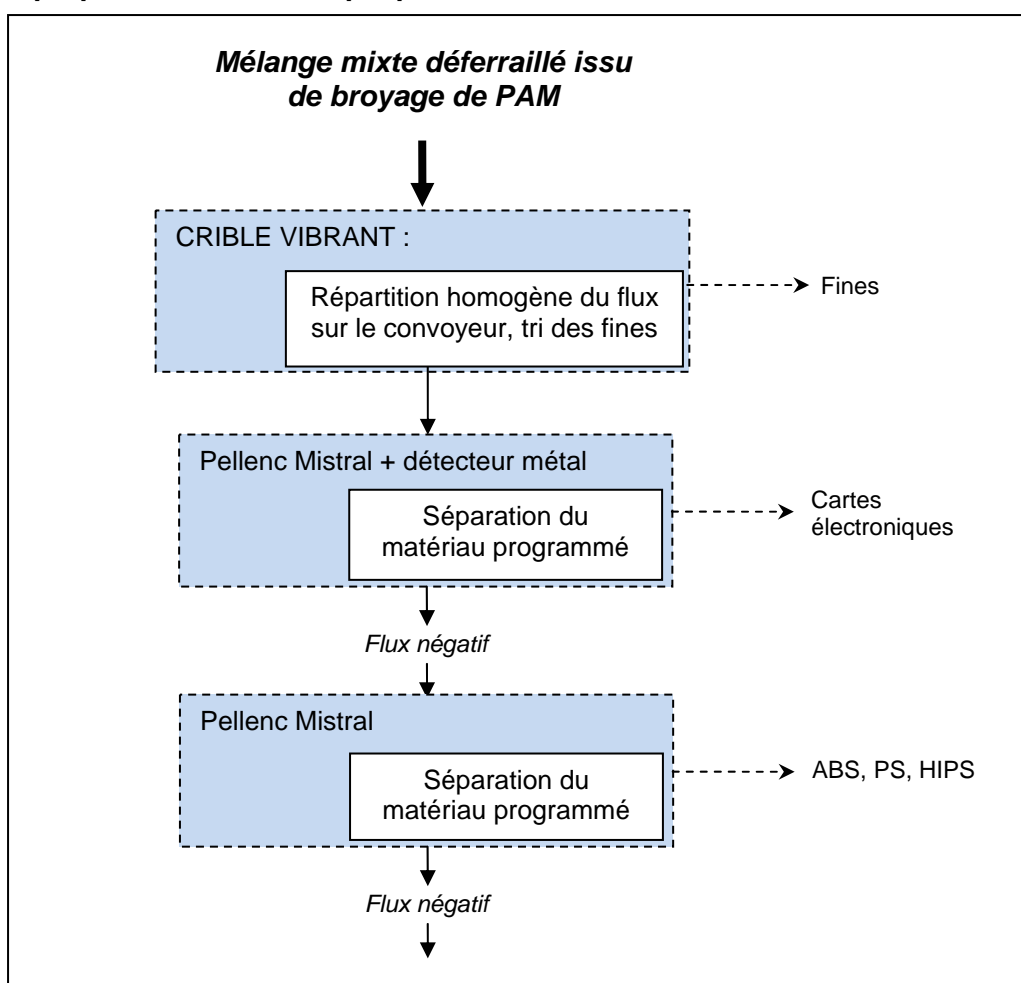
- installer des machines en cascade pour trier successivement les différents matériaux
- installer la machine « OFF LINE », équipée de sa propre trémie d'alimentation, et réaliser des campagnes de tri en repassant le produit plusieurs fois (après avoir modifié les paramètres de tri de la machine).

Jusqu'à 50% du flux entrant peut être éjecté. Au-delà la précision de l'éjection est remise en cause ; la consommation d'air comprimé devient également très importante.

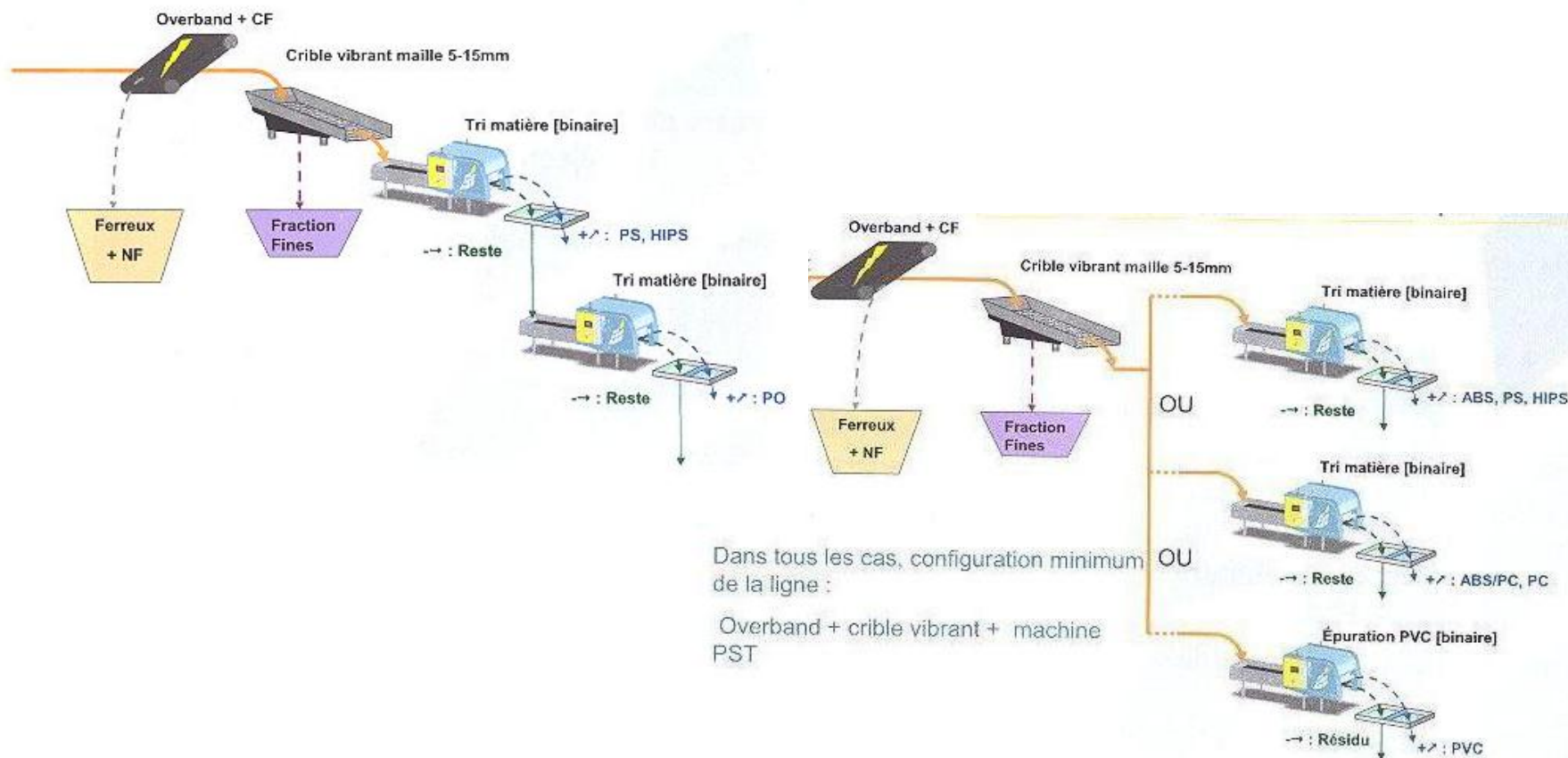
### Caractéristiques techniques :

- Nature de l'éclairage : lumière halogène en éclairage direct
- Seuil de résolution du spectromètre : 4 mm (16 mm<sup>2</sup>) – Environ 20% de la surface de l'objet à éjecter doit être reconnue => efficacité sur des objets de 10 mm (100 mm<sup>2</sup>)
- Puissance de calcul : 100 000 mesures par seconde par voies - Les unités de tri HR sont équipées de 14 voies
- Espacement entre les buses : 12.5 mm
- Pression d'air : 8 bars utiles (la pression en sortie de buse est d'environ 6 bars)
- Consommation électrique : < 10kWh (Hors air comprimé dont la consommation dépend du flux à trier)

#### 4.2 Synoptique des flux : Exemple pour une installation de machines en série



#### 4.3 Schématisation de l'unité de traitement : exemple d'installation avec unités en série et d'une unité avec passage successif des matériaux



## 5. Indicateurs généraux d'exploitation

- Nombre et nature des fractions sortantes :

A ce jour, le tri réalisé est binaire, les fractions sortantes sont au nombre de 2, un mono-matériau (ou mélange connu) et le flux restant. Pellenc ST est en cours de développement d'une machine assurant un tri ternaire : 2 mono-matériaux et le reste.

Les fractions sortantes possibles sont le PVC, PE et PP, PMMA, PC, ABS/PC, ABS et HIPS, ABS/PVC,..., les cartes électroniques, le bois.

- L'indice de recyclabilité des fractions sortantes :

Certains plastiques ne sont pas reconnus les uns des autres, comme par exemple les composés styréniques, une séparation supplémentaire est probablement nécessaire. Le PVC, le PC ou ABS/PC sont eux directement recyclable à condition qu'ils ne contiennent pas certains retardateurs de flamme limitant leur recyclabilité.

- Taux et la nature des fractions polluantes extraites :

A ce jour, la technologie utilisée ne permet pas d'identifier les plastiques intégrant des retardateurs de flamme bromés.

- Capacité, productivité du procédé

La capacité dépend des éléments suivants : largeur de la machine (2 modèles pour l'instant (800 et 1200mm), taux de remplissage (optimisé à 11%), masse surfacique du flux entrant en kg/m<sup>2</sup>. Pour une unité de 1200mm les capacités constatées sur des essais réalisés par Pellenc ST sur des mélanges de plastiques DEEE sont compris entre 2 et 4 t/h.

- Coûts, investissements, exploitation

Pour une unité de tri 1200 mm, équipée en technologie NIR comprenant l'installation, le convoyeur et le caisson de réception des matériaux, l'investissement sera d'environ 180 000 €

Si la même unité est équipée de la technologie visible : + 20 000 €

Si la même unité est équipée du détecteur métal : + 30 000€

En exploitation, la machine nécessite un jeu de maintenance annuel comprenant des ampoules, des buses, des cartes diodes pour un cout estimé de 3000 €/an.

La maintenance préventive est estimée à 5h de main d'œuvre par mois

## **6. Observations de synthèse (points forts, points faibles, limites, obstacles à lever)**

### **Points forts**

- Possibilité de trier différents matériaux sur une même machine
- Modularité des équipements (possibilité sur une même machine d'y installer les différentes technologies de tri : NIR, vision, métaux)
- Taille des éléments triés (10 mm)
- Tri ternaire

### **Points faibles**

- Non reconnaissance de la présence d'halogènes dans les plastiques
- Non reconnaissance des plastiques noirs

### **Impact environnemental :**

La consommation électrique de la machine en elle-même est faible mais nécessite de l'air comprimé dont la consommation n'est pas connue (dépend de chaque installation).  
L'utilisation d'air comprimé est potentiellement énergivore.

## **7. Source, origine des informations, contacts**

Pierre Mortelmans, Commercial France Pellenc ST

Visite de l'unité de production et de la halle pilote le 6 juin 2008

## FICHE DESCRIPTIVE DE PROCEDE OPT 2

**TYPE DE FLUX : Broyats de PAM – Cartes électroniques – Verre issu de CRT**

**TYPE DE PROCEDE : Tri optique des matériaux**

**NOM DE L'ENTREPRISE : TiTech**

**CONTACT : Daniel ZIMMERLIN – Directeur Commercial France**

### 1. Identification et objectif du procédé

TiTech est une société norvégienne créée en 1993. Son activité est la conception et la fabrication de procédés de tri optique des déchets, procédés pour lesquels la technologie de base est la reconnaissance Infra Rouge. L'acquisition de la société allemande CommoDaS et de ses brevets, a permis à TiTech la maîtrise de nouvelles technologies de reconnaissance des matériaux dont la technologie rayon X.

La combinaison de technologies (IR, spectrométrie visible, détection des métaux et rayon X) permet à TiTech de proposer différentes machines capables d'assurer la séparation de fractions issues des DEEE.

### 2. Opérationnalité (propriété industrielle, perspective de développement)

TiTech est dépositaire de plusieurs brevets concernant entre autre la technologie d'éclairage NIR et la technologie rayon X.

A ce jour, une quinzaine d'unités ont été commercialisées en Europe par TiTech pour des applications DEEE, en particulier pour des applications de tri des métaux, de tri de cartes électroniques et de tri du verre de tubes cathodiques (4 unités).

Les développements en cours concernent :

- le tri de plastiques avec entre autre le tri des plastiques bromés et chlorés grâce à la technologie rayon X
- l'amélioration de la précision de séparation grâce à la diminution du pas entre les buses d'air comprimé (aujourd'hui 10 mm, les objectifs sur les prochains modèles sont de 3 à 4.5mm) et à l'augmentation de la résolution d'analyse

### 3. Identification du ou des flux entrants

Les unités de tri optique TiTech sont capables d'extraire toutes sortes de matériaux (métaux, bois, matières plastiques, cartes électroniques...) plus ou moins hétérogènes :

- résidus brut de broyage de PAM : à préparer selon les éléments que l'on souhaite séparer
- mélange de plastiques (tri efficace sur la plage granulométrique 10 – 300mm, mais variable suivant le type de séparation)
- mélange de métaux (tri efficace sur la plage granulométrique 2 – 150mm)



- mélange de verre dalle et verre cône issu du broyage de tubes cathodiques (tri efficace sur la plage granulométrique 10 – 40mm)

En résumé, pour être analysés et séparés efficacement, les flux doivent être « préparés » en fonction des modalités de séparation souhaitées : une même technologie est capable de séparer plusieurs produits en fonction des réglages de la machine, mais seulement un par passage (machine bi-flux).

Par ailleurs, il existe plusieurs contraintes sur certains matériaux en particulier en technologie NIR ou visible, être de couleur **non noir** (ou très foncé), les éléments noirs n'offrent pas de réflexion. La présence d'éléments noirs en quantité importante affectera la qualité de tri de la machine.

## 4. Description détaillée du procédé

### 4.1 Principe de fonctionnement et caractéristiques techniques

#### Principe de fonctionnement :

La technologie TiTech est basée :

- Sur l'identification spectrométrique du rayonnement visible réfléchi par les matériaux à trier après éclairage halogène – Machine TiTech ColourSort®. Exemple d'application : séparation des plastiques de même nature par couleur avec validation d'une matière.
- Sur l'identification spectrométrique du rayonnement proche Infra Rouge (NIR) réfléchi par les matériaux à trier après éclairage halogène. – Machine TiTech PolySort®. Exemple d'application : séparation des plastiques de différentes natures, du bois...
- Sur la combinaison des deux technologies ci-dessus – TiTech AutoSort®
- Sur la détection des métaux par induction électromagnétique – TiTech Finder® et TiTech CombiSense® (combinaison avec une technologie reconnaissance couleur par cellule CCD). Exemple d'application : séparation des métaux, des cartes électroniques, tri des métaux par couleur...
- Sur la reconnaissance rayon X – TiTech X'Tract®. Exemple d'application : séparation des verres dalle et verre cône d'écrans, des plastiques bromés...

La machine (et son logiciel associé), après avoir reconnu le matériau par la technologie appropriée, évalue la taille de l'élément, détermine le nombre de buse de soufflage à activer et leur temps d'ouverture, le matériau est alors éjecté par la rampe de buses d'air comprimé.

Les unités développées réalisent un tri binaire : une seule fraction est séparée du flux passant. De ce fait, dans l'hypothèse d'un flux hétérogène issu par exemple de traitement du PAM, que l'on souhaite séparer en plusieurs catégories, deux configurations sont possibles :

- installer des machines en cascade pour trier successivement les différents matériaux
- installer la machine « OFF LINE », équipée de sa propre trémie d'alimentation, et réaliser des campagnes de tri en repassant le produit plusieurs fois (après avoir modifié les paramètres de tri de la machine).

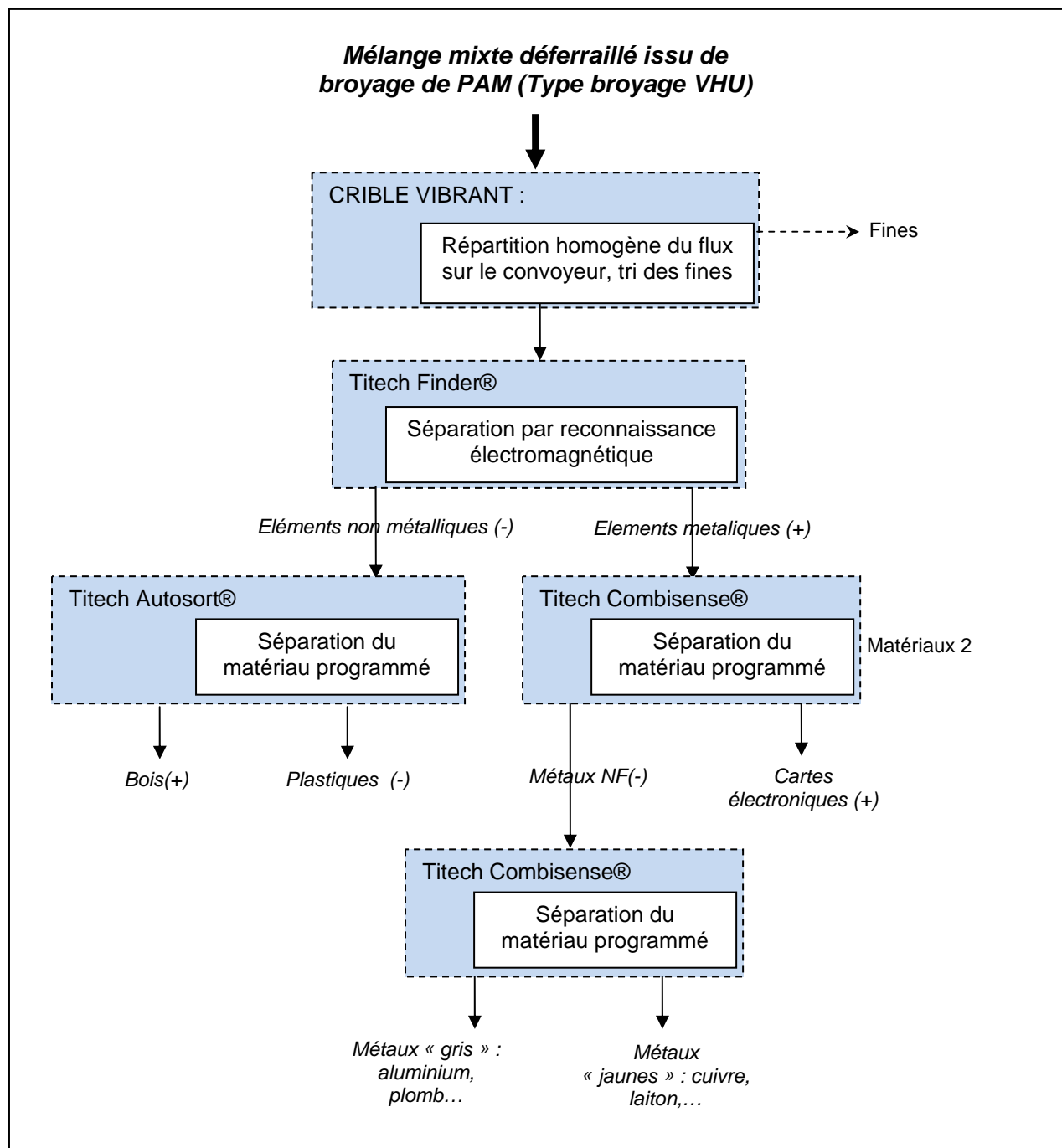
Il est également possible de traiter deux flux simultanément sur une même unité si la largeur de travail est suffisante pour y intégrer deux convoyeurs.

Jusqu'à 50% du flux entrant peut être éjecté. Au-delà la précision de l'éjection est remise en cause ; la consommation d'air comprimé devient également très importante.

#### **Caractéristiques techniques :**

- Largeur de travail
  - TiTech PolySort, ColourSort, AutoSort et CombiSense : 600 à 2800 mm
  - TiTech Finder : 600 à 3000 mm
  - TiTech X-Tract : 600 et 1200 mm
- Espacement entre les buses : 4,5 et 10 mm minimum selon modèles
- Pression d'air : 8 bars utiles (la pression en sortie de buse est d'environ 6 bars)
- Consommation électrique : < 10kWh (Hors air comprimé dont la consommation dépend du flux à trier)

#### 4.2. Synoptique des flux : Exemple d'installation sur un résidu de broyage de PAM

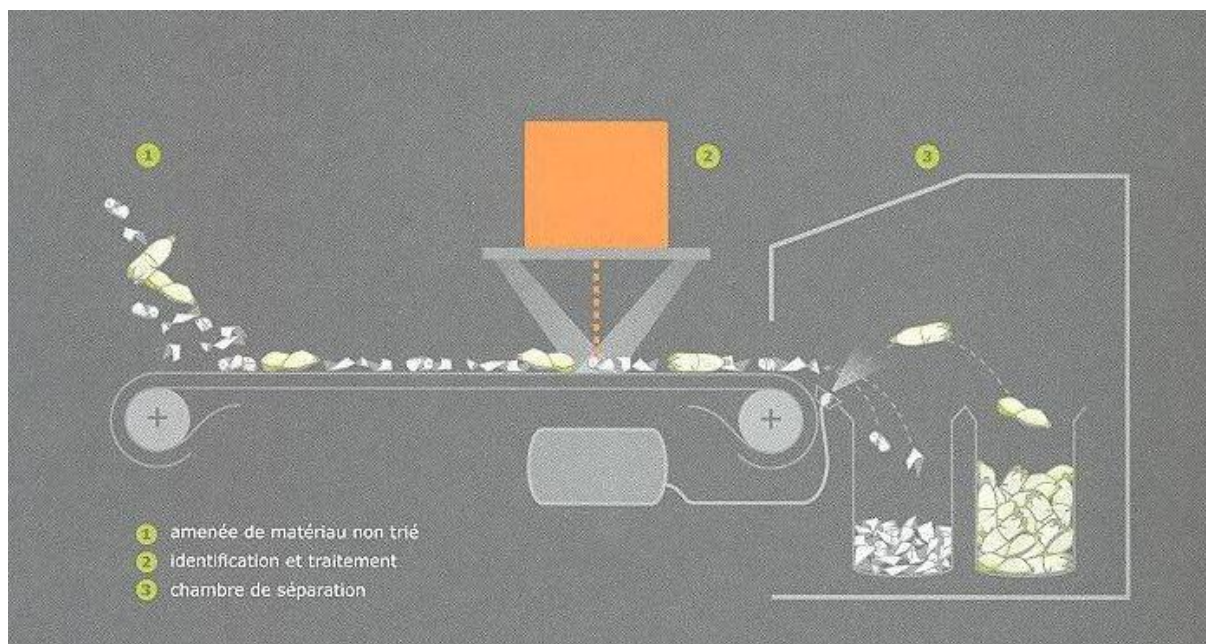


Cette configuration est indicative, de multiples combinaisons sont possibles :

Les unités traitant les métaux peuvent par exemple être installée « OFF LINE » pour réaliser une séparation successive des différents métaux par couleur.

Les plastiques peuvent être repassés sur l'unité AutoSort® pour un tri par nature.

#### 4.3 Schéma de principe des unités de séparation Titech



Source : Titech

#### 5. Indicateurs généraux d'exploitation

- Nombre et nature des fractions sortantes :

Le nombre de fraction sortante par appareil est de 2 par flux entrant (ou 4 pour 2 flux traités en parallèle par la même unité).

Leur nature dépend du flux entrant, du type de technologie utilisé et des paramètres de tri imposés à l'appareil.

- L'indice de recyclabilité des fractions sortantes :

Il est variable en fonction des flux. De manière générale, les machines de tri optique sont utilisées en affinage d'un flux, pour garantir une pureté importante ou séparer des matériaux qu'il n'est pas possible de séparer par d'autres technologies de tri plus « classique ». Par exemple le tri des différents plastiques, la valorisation des cartes électroniques, la séparation de qualité de verre (CRT)...

Les taux de pureté des fractions triés sont variables d'un produit à l'autre.

- Taux et la nature des fractions polluantes extraites :

La technologie de tri optique n'a pas pour objectif l'extraction des polluants, qui, pour les flux de DEEE nécessite le plus souvent une opération manuelle du fait de leur présentation : condensateurs, contacteurs à mercure, piles...

Cependant, la technologie rayon X permet par exemple le retrait des plastiques bromés.

- Capacité, productivité du procédé

La capacité dépend entre autre des matériaux triés et de la largeur de travail mise en œuvre (voir les caractéristiques techniques).

Les débits traités annoncés par TiTech vont de 3 à 5 t/h par mètre de largeur pour les technologies NIR et Visible, de 4 à 10 t/h pour la Finder®, de 2 à 6t/h pour la CombiSense® et de 4 à 14t/h pour la X-Tract®.

- Coûts, investissements, exploitation

Les coûts d'investissement dépendent de la largeur de travail souhaitée et du degré d'équipement en particulier du type de rampe d'éjection (pas entre les buses en fonction de la taille des pièces à trier)

Les coûts d'investissement annoncés par Titech sont donc très variables :

-60 000 à 250 000 € pour l'AutoSort®

-180 000 à 250 000 € pour la CombiSense®

-180 000 à 280 000 € pour la X Tract®

Les coûts d'exploitation sont estimés à 3 ou 4% de l'investissement par an et consiste principalement en maintenance préventive et en consommables (électrovannes, éclairage). Ce coût n'inclue pas la fourniture en air comprimé.

## **6. Observations de synthèse (points forts, points faibles, limites, obstacles à lever)**

### **Points forts**

- L'étendue des technologies maîtrisée permet leur combinaison pour une grande possibilité de séparation
- Taille des éléments triés (10 mm)

### **Points faibles**

- Non reconnaissance des plastiques noirs
- Tri binaire uniquement nécessitant la multiplication des modules pour un tri en ligne

### **Impact environnemental :**

La consommation électrique de la machine en elle-même est faible mais nécessite de l'air comprimé dont la consommation n'est pas connue (dépend de chaque installation). L'utilisation d'air comprimé est potentiellement énergivore.

## **7. Source, origine des informations, contacts**

Daniel ZIMMERLIN – Directeur Commercial France  
Entretien le 6 juin 2008

## VII – CONCLUSION

Cette étude confirme la disponibilité en technologies permettant d'atteindre mais aussi de dépasser les objectifs actuels de taux de recyclage et de valorisation fixés par la réglementation européenne.

Dépasser ces objectifs impose la résolution de la question centrale du recyclage de la fraction de matières plastiques hautement hétérogènes, des flux PAM et écrans.

Dans cette perspective, les solutions techniques de tri des matières plastiques sont également disponibles et d'ores et déjà exploitées principalement en Europe et au Japon, selon deux grandes voies : voie humide par flottation, voie sèche par tri optique ou/et électrostatique.

Dans les deux cas, ces solutions requièrent des investissements importants et des capacités de plusieurs milliers de tonnes de broyats de plastiques issus des DEEE par installation.

Pour l'organisation de la filière, ceci devrait avoir pour conséquence de concentrer la fonction de tri des matières plastiques sur un nombre limité de plates-formes (inférieur, en France du moins, au nombre de sites actuels d'opérations de démantèlement manuel des flux PAM et d'écrans).

Le développement des solutions mécanisées décrites dans cette étude, n'exclut pas la nécessité d'interventions manuelles ; avant broyage pour l'extraction de composants dangereux ou incorporant des substances volatiles et après les premières étapes au moins, de désintégration des appareils.

Il en est de même en aval des procédés mécanisés de séparation des qualités dalles et cônes des verres issus de tubes cathodiques, où l'intervention manuelle reste impérative pour l'extraction finale d'indésirables et globalement le contrôle qualité.

A ce jour, pour garantir les impératifs de dépollution, aucune technologie mécanisée de traitement disponible, ne peut se dispenser de séquences d'interventions manuelles en raison du caractère hautement aléatoire de la composition en type d'appareils des flux entrants tels que le PAM.

## VIII – SOURCES BIBLIOGRAPHIQUES

L'étude bibliographique a été réalisée au moyen de différents supports documentaires :

- Recherches Internet
- Documentations de fournisseurs, presse spécialisée (ex : Récupération et Recyclage magazine, Environnement & Technique)
- Etudes disponibles (Etudes Ademe, FIEEC, actes de colloques spécialisés...)

Les principales sources sont synthétisées ci-dessous :

1	Terra pour l'ADEME : « Actualisation de l'inventaire national des sites de traitement des déchets d'équipements électriques et électroniques » ; janvier 2007
2	AJI Europe pour l'ADEME : « Caractérisation des plastiques contenus dans les DEEE et état des lieux de la valorisation de ces plastiques » ; juillet 2005
3	P. Reymond, J. Desproges pour la FIEEC : « Etude Valortube » ; décembre 1998
4	ADEME : « Enquête sur l'état de l'art et les perspectives des techniques de tri automatique des déchets » ; août 2003
5	Terra pour l'Association ELEN : « Indicateurs, méthodes et référentiels en Europe pour la gestion de la fin de vie des équipements électriques et électroniques » ; novembre 2005
6	Lunds Universitaet : « Examining the Waste from Electrical and Electronic Equipment Management Systems in Japan and Sweden » ; 2004
7	DTI (UK) : « WEEE : innovative novel recovery and recycling technologies in Japan » ; septembre 2005
8	Actes IERC Salzburg Janvier 2008 : "Sony's individual approach of extended producer responsibility in take-back operation"; SONY
9	Actes IERC Salzburg Janvier 2008 : "National scenario of Electronics Waste in India";
10	Actes IERC Salzburg Janvier 2008 : "Opportunities and challenges to recover scarce and valuable metals from EOL electronic devices"; C. Hagelüken (Umicore) and M. Buchert (Öko-institut)
11	Arist Ouest pour les Ateliers Fouesnantais : "Bilan de propriété industrielle relative à une machine de recyclage des tubes cathodiques"; décembre 2007
12	Environnement Magazine : « Broyat trié, broyat recyclé » ; Juillet-Août 2007
13	Récupération et Recyclage Magazine : « Métaux précieux : Quand le recyclage vaut de l'or » ; mai 2008
14	Brochures Technologies BHS : <a href="http://www.bhs-sonthofen.de/">http://www.bhs-sonthofen.de/</a>
15	Brochures Technologies MRT : <a href="http://www.mrtsystem.com/home/">www.mrtsystem.com/home/</a>

16	Brochures Technologies MEWA : <a href="http://www.mewa-recycling.de/">www.mewa-recycling.de/</a>
17	EERA : « Towards sustainable WEEE recycling », January 2007
18	Actes Colloque IERC 2008, Toronto
19	F. BENECH, ADEME : Compte-rendu de visites des Etablissements SIMS et GEEP au Canada, Juin 2008
20	WEEE Forum, Research into CRT treatment industry in Europe, preliminary draft report, September 2008
21	DEFRA, WEEE Plastics Separation Technologies July 2007
22	ADEME, Recyclage chimique des matières plastiques, Juin 2002
23	EME, La séparation triboélectrique appliquée au traitement des déchets - 2005
24	<a href="http://www.iaer.org">http://www.iaer.org</a> ; USA (International association of electronics recyclers)
25	<a href="http://www.electronicrecycling.org">http://www.electronicrecycling.org</a> ; USA (National center for electronic recycling)
26	<a href="http://www.ewasteguide.info">http://www.ewasteguide.info</a> ; EMPA – rapports sur la filière DEEE à l'international (dont Asie)
27	Dr. A. Yoshida, National Institute for Environmental Studies, Japan – « Present status of Reuse/recycling of WEEE in Japan », Sept. 2007
28	INFORM, "Electric Appliance recycling in Japan", Novembre 2003
29	SONY Europe, Andreas Bohnhoff, "Sony's Individual Approach of Extended Producer Responsibility, IERC 2006



## VIII – LISTE DES CONTACTS ETABLIS

Le tableau ci-dessous liste les contacts établis ayant fait l'objet d'échanges dans le cadre de l'étude :

Entreprises	Nationalité	Type d'acteur	Activité			Nom des contacts	Fonction
			CRT	PAM	Cartes		
Contacts relais :							
Eco-systèmes	France	Eco-organisme	X	X	X	M. Fleury	Expert traitement
Eco-services pour SENS	Suisse	Eco-organisme	X	X	X	P. Blum	Co-associé
WEEE Forum	République Tchèque	Eco-organisme	X			Jan Vrba	Directeur général Asekol
Ademe NPDC	France	Institutionnel			X	C. Bogaert	Chargé de mission
Région Picardie	France	Institutionnel		X		M. Bruna	Chargé de mission
Samsung France	France	Producteur	X	X		F. Monier	Coordinatrice Environnement
Fournisseurs d'équipements :							
CRT Heaven	Royaume-Uni	Fournisseur d'équipements	X			L. De Heeckeren, D. Harris	Représentant France
ANDELA	USA	Fournisseur d'équipements	X			R. Christman	Project manager
ECO-TV	Projet de recherche européen (Esp, Fr, Hongrie)	Fournisseur d'équipements	X			Mme Girbes Clari	Chef de projet
PELLENCST	France	Fournisseur d'équipements		X	X	T. Oudart	Développement International
Laboratoire CVG	France	Fournisseur d'équipements		X	X	P. David	Responsabel Etude et management projets
MEWA	Allemagne	Fournisseur d'équipements		X		P. Gilbos	Area Sales Manager
TiTech	Norvège	Fournisseur d'équipements	X	X	X	M Zimmerlin (représentant en France)	Commercial France
BHS	Allemagne	Fournisseur d'équipements		X	X	M Ritzmann	Van-Tech, représentant BHS en France
MRT	Suède	Fournisseur d'équipements	X			P. Menudier	Représentant MRT en France

Entreprises	Nationalité	Type d'acteur	Activité			Nom des contacts	Fonction
			CRT	PAM	Cartes		
Exploitants d'installations :							
REGAIN	France	Exploitant d'installations	X		X	M. Rournier	PDG
CORNEC	France	Exploitant d'installations			X	K. Cornec	PDG
Ecotri	France	Exploitant d'installations	X	X		H. Daniel, P. Fillette	Directeur
Triade Electronique	France	Exploitant d'installations		X	X	R-B Gallard	Directeur industriel
GALLOO	France / Belgique	Exploitant d'installations		X		O. François	Directeur du développement
MBM	France	Exploitant d'installations	X			F. Desgranges	PDG
Remondis	Allemagne	Exploitant d'installations	X	X	X	N. Krukenberg	Project manager
Valdelec / ALBA R-Plus	France / Allemagne	Exploitant d'installations		X		Y. Blanchoz / M. Fahrner	Directeur industriel
Van Gansewinkel	NL/ Belgique	Exploitant d'installations		X		R. Cramer	Senior Sales Executive
Immark	Suisse	Exploitant d'installations	X	X		A. Antenen / Jochen Apfel	Directeur Immark France / project manager
Panasonic / Ecologynet	Allemagne / Japon	Exploitant d'installations	X	X		Hiroyuki Furukawa	PDG Ecologynet
Terra Nova	France	Exploitant d'installations			X	Michel Trabuc	Directeur du développement
UMICORE	Belgique	Exploitant d'installations		X	X	Steven Art	Sales Manager (E-Waste supply)
BOLIDEN	Suède	Exploitant d'installations		X	X	M. Tornberg	Représentant Boliden Europe de l'Ouest
PATE	France	Exploitant d'installations	X			Dabid Pate	Directeur général
Environnement Recycling	France	Exploitant d'installations	X			Jérôme Audlair	Directeur Commercial
AC2E	France	Exploitant d'installations			X	Luc Boudet	Directeur
Coved	France	Exploitant d'installations	X			F. Tournut	Responsable Centre Eco-synthese
Agro-Drisa GmbH	Allemagne	Exploitant d'installations	X			Helmut Bönisch	Directeur général
SMS	NL, Belgique	Exploitant d'installations	X	X		Joris Van den Driessche	Directeur commercial Belgique
MBA Polymers	Autriche	Exploitant d'installations		X		Chris Sijkhuis	Director Sourcing Europe