



ORGANISATION DES NATIONS UNIES
POUR LE DÉVELOPPEMENT INDUSTRIEL



DIRECTIVES TECHNIQUES



GESTION ÉCOLOGIQUEMENT RATIONNELLE
DES DEEE EN **CÔTE D'IVOIRE**

2021





ORGANISATION DES NATIONS UNIES
POUR LE DÉVELOPPEMENT INDUSTRIEL

DIRECTIVES TECHNIQUES GESTION ÉCOLOGIQUEMENT RATIONNELLE DES DEEE EN CÔTE D'IVOIRE



« Gestion rationnelle des polluants organiques persistants (POP) non intentionnels et des polybromodiphényléthers (PBDE) pour réduire leurs émissions du secteur des déchets industriels »

GEF 9263 ONUDI 150266

Table des matières

Liste des figures	6
Liste des tableaux	9
Abréviations	10
Définitions	14
1. Introduction	17
1.1 <i>Contexte du projet</i>	17
1.2 <i>Objectifs et contenu</i>	19
1.3 <i>Profil du pays lié aux DEEE</i>	19
1.4 <i>Pratiques de gestion non-écologiquement rationnelle des DEEE</i>	24
2. Cadre réglementaire général sur les DEEE	41
2.1 <i>Définitions, classification et compositions des DEEE</i>	41
2.2 <i>Réglementation nationale et internationale sur les DEEE</i>	44
2.2.1 <i>Cadre légal international</i>	44
2.2.2 <i>Standards internationaux relatifs au traitement des DEEE</i>	49
2.2.3 <i>Cadre politique et légal national</i>	51
3. Environnement, santé, sécurité	54
3.1 <i>Contamination environnementale</i>	54
3.2 <i>Exposition des travailleurs</i>	55
3.3 <i>Exposition des communautés</i>	56
3.4 <i>Focus : POP-PBDE</i>	57

4.	Considération économiques	60
4.1	<i>Viabilité économique du traitement des DEEE</i>	60
4.2	<i>Système de financement du traitement des DEEE</i>	63
4.3	<i>Le potentiel des DEEE dans une économie circulaire</i>	64
5.	Bonnes pratiques dans la gestion écologiquement rationnelle des DEEE	68
5.1	<i>Collecte, transport, stockage et manutention des DEEE et leurs fractions</i>	69
5.1.1	<i>Collecte</i>	69
5.1.2	<i>Transport</i>	74
5.1.3	<i>Stockage</i>	76
5.1.4	<i>Manutention</i>	81
5.2	<i>Installation de traitement des DEEE</i>	82
5.2.1	<i>Zones de travail</i>	83
5.2.2	<i>Gestion du site</i>	84
5.2.3	<i>Infrastructures environnementales</i>	85
5.3	<i>Equipements et outils</i>	87
5.3.1	<i>Équipements de protection individuelle</i>	87
5.3.2	<i>Outils pour le démantèlement</i>	89
5.4	<i>Démantèlement des DEEE</i>	90
5.4.1	<i>Téléphones</i>	91
5.4.2	<i>Ordinateurs</i>	94
5.4.3	<i>Imprimantes et cartouches</i>	101
5.4.4	<i>Câbles</i>	103
5.4.5	<i>Composants dangereux</i>	105

5.5	<i>Élimination des DEEE</i>	112
5.6	<i>Focus : polluants organiques persistants dans les DEEE</i>	113
5.6.1	<i>Composants des EEE contenant des POP</i>	113
5.6.2	<i>Ségrégation, stockage et élimination des composants EEE contenant des POP</i>	118
	Bibliographie	129
	Annexes	138
	<i>Annexe 1. Inventaire préliminaire des POP-PBDE dans les DEEE en Côte d'Ivoire</i>	138
	<i>Annexe 2. Concentration des POP-PBDE dans divers plastiques DEEE</i>	139

Liste des figures

Figure 1 - Sites de traitement des DEEE et VFV d'Abidjan	20
Figure 2 - Chaîne de valeur des DEEE et VFV en Côte d'Ivoire	21
Figure 3 - Exemple de mauvaise pratique : téléviseurs à tube cathodique empilés dans un camion ouvert pouvant entraîner des dommages pendant le transport	26
Figure 4 - Exemple de mauvaise pratique : camion ouvert transportant des déchets électroniques empilés de manière lâche qui se déversent à l'extérieur des bords du camion et présentent un risque élevé de chute	27
Figure 5 - Exemples de mauvaises pratiques en matière de stockage de fractions DEEE	27
Figure 6 - Stockage inapproprié de déchets électroniques montrant une fuite de pigment de la cartouche de la photocopieuse	28
Figure 7 - Exemples de mauvaises pratiques de démantèlement manuel des DEEE	31
Figure 8 - Exemples de mauvaises pratiques de fusion et combustion des fractions de DEEE	34
Figure 9 - Exemple de mauvaises pratiques d'amalgamation	36
Figure 10 - Exemple de mauvaises pratiques de brûlage à ciel ouvert	38
Figure 11 - Exemple de mauvaises pratiques de décharge à ciel ouvert	39
Figure 12 - Catégories DEEE selon l'annexe I de la Directive Européenne sur les DEEE	42
Figure 13 - Principaux composants des EEE contenant des PBDE	43
Figure 14 - Vue d'ensemble des sources, répartition environnementale, voie d'exposition et principaux risques pour l'être humain des PBDE	58

Figure 15 - <i>Principaux matériaux valorisables par flux de déchets électroniques</i>	60
Figure 16 - <i>Modèle simplifié de l'économie circulaire</i>	66
Figure 17 - <i>Illustration globale du cycle de vie et de gestion des DEEE</i>	69
Figure 18 - <i>Balance portable</i>	72
Figure 19 - <i>Extincteur</i>	72
Figure 20 - <i>Petits bacs plastiques</i>	73
Figure 21 - <i>Cage métallique pliable et empilable</i>	73
Figure 22 - <i>Grand conteneur en plastique pour la manutention avec chariots élévateurs</i>	73
Figure 23 - <i>Exemple de bonnes pratiques de transport des DEEE</i>	75
Figure 24 - <i>Exemple de bonnes pratiques de collecte et transport des téléphones mobiles par l'ONG MESAD</i>	75
Figure 25 - <i>Exemples de bonnes pratiques de stockage des DEEE et leurs fractions</i>	77
Figure 26 - <i>Stockage des déchets électroniques dans un bac métallique correctement empilé dans une installation de démantèlement</i>	77
Figure 27 - <i>Exemples de bonnes pratiques de stockage des DEEE l'ONG MESAD</i>	78
Figure 28 - <i>Stockage des déchets électroniques dans des cartons sous zone couverte avec sol en béton, marquage/signalisation, et ventilation</i>	79
Figure 29 - <i>Fûts spéciaux pour stockage et manipulation des condensateurs et accumulateurs considérés comme déchets dangereux</i>	80
Figure 30 - <i>Chariot de manutention</i>	82
Figure 31 - <i>Flux de DEEE dans l'installation de démantèlement</i>	83
Figure 32 - <i>Parcours général de traitement pour le démantèlement des DEEE</i>	90

Figure 33 - <i>Exemples de dénudeurs de câbles</i>	104
Figure 34 - <i>Composition plastique moyenne de catégories de DEEE sélectionnées</i>	115
Figure 35 - <i>Applications pratiques des tests évier/flotteur pour le tri des plastiques DEE</i>	124
Figure 36 - <i>Identification systématique des plastiques DEEE</i>	125
Figure 37 - <i>Viabilité environnementale des solutions de gestion des fractions plastiques dangereuses</i>	128

Liste des tableaux

Tableau 1 - <i>Pratiques de gestion non-écologiquement rationnelle des DEEE et leurs principales implications en terme de santé, environnement, sécurité</i>	25
Tableau 2 - <i>Appareils nécessitant une prudence particulière au démontage</i>	105
Tableau 3 - <i>Étapes de démontage de composants dangereux</i>	111
Tableau 4 - <i>Options d'élimination possibles pour différentes fractions dangereuses</i>	113
Tableau 5 - <i>Additifs dangereux dans les principaux types de plastique obtenus à partir de diverses catégories de DEEE</i>	117
Tableau 6 - <i>Méthodes d'identification et de séparation des plastiques RFB</i>	119
Tableau 7 - <i>Codes ISO 1043 pour les retardateurs de flamme couramment utilisés</i>	121
Tableau 8 - <i>Tableau de décision pour l'identification des articles DEEE qui ont une forte probabilité de contamination par RFB/POP-PBDE</i>	126
Tableau 9 - <i>Quantité de POP-PBDE dans les équipements d'occasion importés sur la période 2009-2015 et 2016</i>	138
Tableau 10 - <i>Concentration de PBDE dans divers plastiques DEEE</i>	139

Abréviations

ABS	Acrylnitrile butadiène styrène
AFECAMCI	Association des Ferrailleurs et des Casses Modernes de Côte d'Ivoire
BTBPE	1,2-bis (2,4,6-tribromophénoxy) éthane
CENELC	Comité Européen de Normalisation Électrotechnique
CFC	Chlorofluorocarbures
CRT	Tube cathodique
DBDPE	Décabromodiphényl éthane
DEEE	Déchets d'équipements électriques et électroniques
EBTBP	Éthylène bis(tétrabromophtalimide)
EEE	Equipements électriques et électroniques
EHS	Environnement, Hygiène, Sécurité
EPI	Équipement de Protection Individuelle
FEM	Fonds pour l'Environnement mondial
GES	Gaz à effet de serre
HAP	Hydrocarbures aromatiques polycycliques
HBCD	Hexabromocyclododécane
HCFC	Hydrochlorofluorocarbures
HFC	Hydrofluorocarbures
HIPS	Polystyrène choc (de l'anglais High impact polystyrene)

ICS	Classification internationale pour les normes (de l'anglais International Classification for Standards)
ISO	Organisation internationale de normalisation / International Organization for Standardization
IoT	Internet des objets
IWA	Accord d'Atelier International / International Workshop Agreement
Kt	Kilotonne
LCD	Ecran à cristaux liquides (de l'anglais Liquid Crystal Display)
MINEDD	Ministère de l'Environnement et du Développement Durable
MPC	Matières premières critiques
MPE	Meilleures pratiques environnementales
MPS	Matières premières secondaires
Mt	Mégatonne
MTD	Meilleures techniques disponibles
ONG	Organisation non gouvernementale
ONUUDI	Organisations des Nations unies pour le Développement industriel
PBB	Polybromobiphényle
PBDD/PBDF	Dibenzo-p-dioxines/Dibenzofuranes polybromés
PBDE	Polybromodiphényléthers
PA	Polyamide
PC	Polycarbonate
PCB	Polychlorobiphényle

PCDD/PCDF	Polychlorodibenzo-p-dioxines/Polychlorodibenzo-furanes
PCI	Peripheral Component Interconnect
PE	Polyéthylène
PNUE/UNEP	Programme des Nations Unies pour l'Environnement
POP	Polluants organiques persistants
POPNI	Polluants organiques persistants non intentionnels
PP	Polypropylène
ppm	Partie par million (1% = 10'000 ppm)
PS	Polystyrène
PUR	Mousse polyuréthane
PVC	Polychlorure de vinyle
PWB/PCB	Carte de circuit imprimé (de l'anglais Printed Wiring/Circuit Board)
RAM	Mémoire vive (de l'anglais Random Access Memory)
REP	Responsabilité élargie des producteurs
RF	Retardateurs de flamme
RFB/BRF	Retardateurs de flamme bromés (de l'anglais Brominated Flame Retardant)
REP	Responsabilité élargie du producteur
SACO	Substances appauvrissant la couche d'ozone
TBBPA	Tetrabromobisphenol A
TIC	Technologies de l'information et de communication
TPP	Technologies plus propres
TV	Téléviseur, télévision, télé

UCT	Unité centrale de traitement
UNITAR	Institut des Nations unies pour la formation et la recherche
VFV	Véhicules en fin de vie
WEEELABEX	WEEE label of excellence

Définitions¹

Agrégation et stockage : accumuler les DEEE collectés à partir de plusieurs sources dans un espace spécifiquement dédié où ils peuvent être stockés en toute sécurité pendant une période prolongée.

Collecte : collecte de DEEE auprès des utilisateurs d'EEE tels que les ménages, les entités commerciales, industrielles et institutionnelles. Comprend le stockage préliminaire des DEEE à des fins de transport pour un traitement ultérieur.

Composant : partie fonctionnelle distincte d'un appareil (par exemple, batterie, disque dur, cartouche d'imprimante, etc.).

Déchets ultimes : déchets qui ne sont plus valorisables, ni par recyclage, ni par valorisation énergétique (Actu-Environnement, 2021).

Démantèlement (démontage, désassemblage) : processus de séparation et de ségrégation des DEEE en ses différents composants et fractions. Le démontage peut être effectué manuellement ou mécaniquement. Le démontage manuel est effectué sur les articles individuels à la main, en utilisant des outils pour ouvrir et démonter le produit. Le démontage mécanique est généralement effectué dans un broyeur pour briser l'unité en petits morceaux qui sont ensuite traités pour se séparer en diverses fractions.

Dépollution : traitement sélectif au cours duquel les déchets dangereux et autres composants sont éliminés des DEEE.

Élimination : désigne toute opération qui n'entraîne pas de réparation, de recyclage, de valorisation ou de réutilisation et comprend un traitement physico-chimique ou biologique, l'incinération et le dépôt dans une décharge sécurisée.

Fraction : flux de matière généré par le traitement des DEEE (par exemple fer, cuivre, aluminium, fractions plastiques).

¹ Source : Section élaborée à partir de WEEELABEX (sauf mention contraire).

Fractions dangereuses : composants ou pièces contenant des substances dangereuses ou toxiques pour l'environnement et/ou la santé humaine et qui doivent donc être traités de manière adéquate.

Fractions précieuses : composants ou pièces qui peuvent être vendus à un prix - contenant généralement des matériaux qui peuvent être recyclés et récupérés.

Gestion écologiquement rationnelle des déchets dangereux ou d'autres déchets : « toutes mesures pratiques permettant d'assurer que les déchets dangereux ou d'autres déchets sont gérés d'une manière qui garantisse la protection de la santé humaine et de l'environnement contre les effets nuisibles que peuvent avoir ces déchets » (Convention de Bale) ou un « système assurant que les déchets et les matières mises au rebut sont gérés d'une manière qui économise les ressources naturelles et protège la santé humaine et l'environnement contre les effets nocifs que peuvent engendrer ces déchets et matières » (OECD, 2007).

Manutention : les activités telles que le levage, le chargement, le déchargement, le démontage, etc.

Matières premières critiques (MPC) : telles que définies par la Commission Européenne, sont des matières premières qui sont économiquement et stratégiquement importantes pour l'économie, mais qui présentent un risque élevé lié à leur approvisionnement. Les matières premières critiques sont identifiées comme l'un des domaines prioritaires dans le plan d'action de l'UE pour l'économie circulaire. La dernière évaluation de la criticité, réalisée en 2017, a identifié 27 matières premières critiques (Forti et al., 2020).

Matières premières secondaires (MPS) : matériau issu du recyclage de déchets et pouvant être utilisés en substitution totale ou partielle de matière première vierge. (Dictionnaire Environnement, 2010).

Meilleures techniques disponibles (MTD) : désigne la version la plus évoluée d'un procédé, d'une installation ou d'un mode opératoire du point de vue de son aptitude pratique à limiter les rejets, émissions et déchets. À cet égard, le terme « technique »

englobe non seulement la technologie utilisée, mais aussi les méthodes de conception, de construction, d'entretien, d'exploitation et de démontage de l'installation (UNEP, 2012, Protocol Additionnel).

Meilleures pratiques environnementales (MPE) : désigne l'application de la combinaison la plus appropriée de mesures et de stratégies de lutte antipollution (UNEP, 2012, Protocol Additionnel). La MPE constitue une série d'habitudes individuelles ou collectives qui, exercées par chacune des personnes qui forment une organisation, permettent la gestion correcte de l'environnement. La MPE permet à l'industrie de tendre vers la durabilité à l'échelle mondiale et contribue ainsi à la durabilité de l'entreprise elle-même (CAR/PP, 2004).

Ségrégation : séparation des produits, des composants ou des fractions selon des catégories spécifiées.

Transformation et traitement : impliquent des opérations qui entraînent des modifications de la matière première.

Traitement : comprend le démantèlement, la séparation, le déchiquetage, le tri, le classement, l'emballage, le cisaillement, le compactage, le concassage, la granulation, la réparation ou la rénovation, ou la découpe des déchets en différents composants pour la récupération. Le traitement peut être effectué de façon manuelle, mécanique, ou les deux, avec une étape manuelle initiale suivie d'un processus mécanique.

1. Introduction

1.1 Contexte du projet

La consommation croissante d'équipements électriques et électroniques (EEE) est fortement liée au développement économique global, y compris la hausse des niveaux de revenu disponible, l'essor de l'urbanisation et de la mobilité et l'industrialisation continue de certaines régions du monde. En conséquence, les quantités de déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) produites ne cessent d'augmenter à l'échelle mondiale, entraînant des risques pour la santé et l'environnement. En 2019, 53,6 millions de tonnes de DEEE ont été produites dans le monde entier, soit en moyenne 7,3 kg par habitant (Forti et al., 2020), et ce chiffre devrait s'élever à 74 millions de tonnes en 2030. Ces flux de déchets à croissance rapide représentent une menace sanitaire s'ils ne sont pas traités correctement, car ils contiennent un ensemble de matériaux et substances dangereuses, tels que des métaux lourds et polluants organiques persistants (POP). Outre les problèmes d'exposition humaine et de contamination de l'environnement, le recyclage et/ou l'élimination de ces flux de déchets posent des problèmes de sécurité des travailleurs (UNEP et Convention de Stockholm, 2012). D'un autre côté, la gestion des DEEE représente une opportunité économique et environnementale à travers la récupération des matériaux de valeur permettant d'éviter le gaspillage de ressources naturelles et d'énergie, de sécuriser l'approvisionnement de l'industrie en matières premières, et de diminuer les impacts environnementaux. En effet, la gestion et le recyclage des déchets emploient entre 19 et 24 millions de femmes et d'hommes dans le monde, dont quatre millions travaillent dans le secteur formel du traitement des déchets et du recyclage (ILO, 2019).

La gestion des déchets d'équipements électriques et électroniques est un défi dans de nombreux pays en développement, y compris en Côte d'Ivoire, qui est le destinataire des produits électriques et électroniques usagés provenant des pays industrialisés. En effet, selon les estimations, entre 10 000 et 25 000 tonnes de déchets électroniques sont importées chaque année en Côte d'Ivoire (GEF, 2018). Afin de limiter l'importation massive de DEEE, la Côte d'Ivoire a interdit par un décret de 2017 relatif à la gestion écologiquement rationnelle des déchets électriques et électroniques toute importation

de DEEE, sauf dans les conditions fixées par les Conventions de Bâle et de Bamako (article 13). Dans ce cas, le DEEE doit être destiné au recyclage, à la rénovation ou à la valorisation et doit être envoyé directement dans un centre de traitement des déchets spécialisé (article 16). Le décret précise également que tout importateur d'EEE d'occasion doit fournir au moment du transfert les documents nécessaires (bon d'achat, contrat de vente, certificat d'essai) prouvant que l'équipement est fonctionnel et destiné à un usage direct (article 14). De façon plus général, le une redevance sur les déchets sur les importations de EEE neufs ou d'occasion en état de marche selon le principe du "pollueur-payeur" et le principe de la responsabilité élargie des producteurs (REP). Il interdit également l'élimination des DEEE par combustion à l'air libre, dans tout plan d'eau, dans des conteneurs non conçus pour les déchets, en décharge ou en décharge à ciel ouvert, le brûlage à ciel ouvert des EEE et DEEE dans les centres de recyclage, ou encore l'abandon des DEEE ailleurs que dans des centres de collecte ou des installations de recyclage agréées.

Les conséquences négatives sur les écosystèmes et sur la santé humaine de ces re-buts industriels, couplé à un manque d'infrastructures et de services de gestion et recyclage des DEEE rend indispensable la démonstration et la dissémination des bonnes pratiques en matière de gestion écologiquement rationnelle des polluants provenant de ces déchets en Côte d'Ivoire.

Dans le cadre d'une coopération continue avec le Fonds pour l'Environnement mondial (FEM) l'Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel (ONUDI) met en œuvre, en collaboration avec le gouvernement de Côte d'Ivoire, le projet financé par le FEM intitulé : « Gestion rationnelle des polluants organiques persistants non intentionnels (POPNI) et des diphényles éthers polybromés (PBDE) pour réduire leurs émissions du secteur des déchets industriels (uPOPCI) ». Le projet, tel qu'approuvé par le FEM le 4 octobre 2019, allie intérêt économique et intérêt environnemental. Il ambitionne de mettre en place un cadre réglementaire et institutionnel adapté à la gestion environnementale des DEEE et des véhicules en fin de vie (VFV), de renforcer les capacités techniques des acteurs du secteur et de mettre à niveau la chaîne de valeur pour améliorer les opportunités économiques du secteur.

Le projet uPOP-CI entend apporter des solutions spécifiques à l'émission du PBDE, des dioxines et furanes, composés chimiques toxiques issus des matériaux plastiques contenu dans des véhicules en fin de vie et du brûlage à ciel ouvert des déchets électroniques.

1.2 Objectifs et contenu

Le présent document vise à fournir aux autorités compétentes et aux acteurs de la gestion des DEEE – notamment les acteurs impliqués dans la collecte, le démantèlement et le recyclage - des directives techniques pour la gestion écologiquement rationnelle des DEEE.

Grâce à ces directives techniques, les autorités et les acteurs sont censés :

- Connaître les pratiques actuelles de gestion des DEEE en Côte d'Ivoire et savoir identifier les mauvaises pratiques (chapitre 1) ;
- Obtenir un aperçu du cadre stratégique et légal lié aux DEEE, y compris la définition, la classification et la composition des DEEE, ainsi que les réglementations internationales et nationales applicables (chapitre 2) ;
- Comprendre les problèmes d'environnement, de santé et de sécurité liés à la gestion des DEEE (chapitre 3) ;
- Comprendre les avantages financiers et les lacunes liés à la gestion des DEEE et le potentiel des DEEE dans une économie circulaire (chapitre 4) ;
- S'appropriier les meilleures pratiques pour une gestion écologiquement rationnelle des DEEE, notamment sur la collecte, le transport le stockage et la manutention des déchets et matériaux, les installations de traitement, les outils et équipements, le processus de dépollution et de démantèlement, ainsi que l'élimination des déchets ultimes (chapitre 5).

1.3 Profil du pays lié aux DEEE

Comme dans de nombreux pays en développement, la gestion actuelle des DEEE en Côte d'Ivoire se fait de manière non-écologiquement rationnelle. Les DEEE sont collectés et démantelés pour la valorisation des métaux et autres matières susceptibles d'être vendus à des recycleurs ou des fonderies secondaires, mais les opérations de dépollution sont dans la plupart des cas limitée ou insuffisante, ce qui entraîne des risques pour l'environnement, les travailleurs et les communautés, y compris une exposition (directe ou indirecte) aux métaux lourds, aux POP, et à d'autres contaminants préoccupants.

Selon les estimations, 15 000 tonnes de déchets électroniques sont produites en Côte d'Ivoire et entre 10 000 et 25 000 tonnes de déchets électroniques sont importées chaque année. Plus d'un tiers des équipements électroniques importés en Côte d'Ivoire sont de seconde main et de qualité variable, y compris complètement dysfonctionnels, en raison de tests insuffisants dans leur pays d'origine (GEF, 2018).

En Côte d'Ivoire, le secteur informel est composé de plusieurs acteurs de spécialités diverses, y compris les pré-collecteurs, collecteurs, réparateurs, casses, recycleurs, etc. Ce secteur informel est actif dans la collecte, le tri, le stockage et le démantèlement des DEEE et cela d'une manière informelle sans réglementation en la matière (Zadi, 2020). La ville d'Abidjan est une plaque tournante de la filière DEEE/VFV. En effet les plus grandes casses sont disséminées au sein des dix communes et regroupent une importante concentration d'acteurs. Les casses des communes du nord sont spécialisées en VFV et celle du sud en DEEE. Des distributeurs, collecteurs et réparateurs isolés sont également éparpillés dans toutes les communes d'Abidjan. Les acteurs de la filière sont organisés en associations et syndicats reconnus par le Ministère de l'artisanat, notamment l'Association des Ferrailleurs des Casses Modernes de Côte d'Ivoire (AFECAMCI) et l'Association des Fournisseurs de Ferrailles et Métaux Usés de Côte d'Ivoire (AFF-MUCI) (pour plus de détails, se référer à : Appia, 2020).

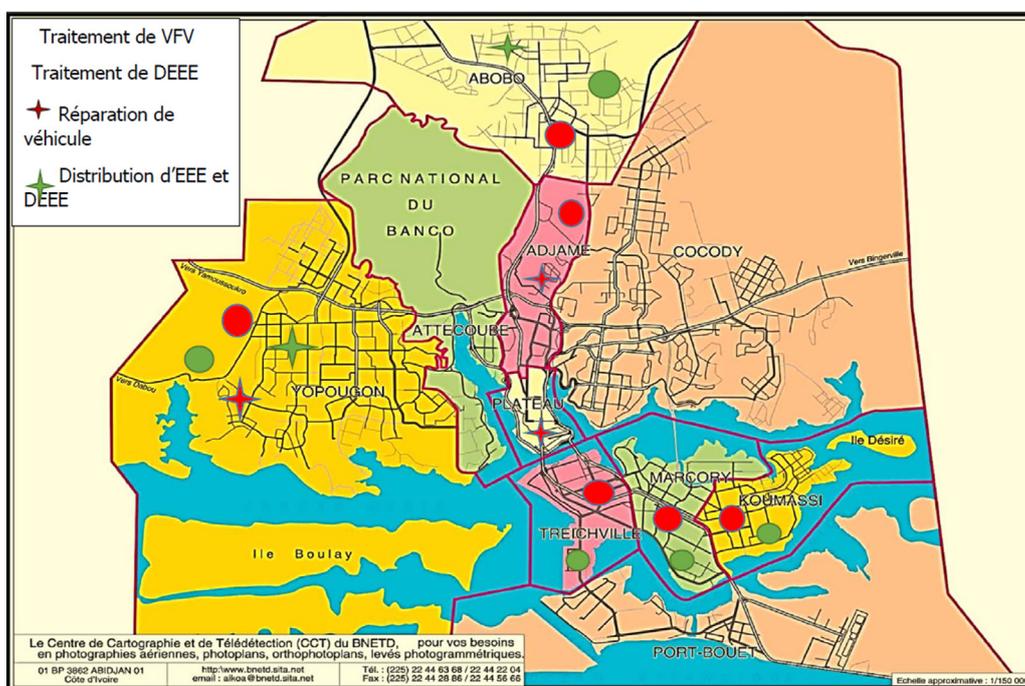


Figure 1 - Sites de traitement des DEEE et VFV d'Abidjan (Appia, 2020)

Les différentes catégories d'acteurs sont implantées sur les mêmes sites et travaillent dans des petits hangars (casernes de fortune servant d'ateliers). Certains ferrailleurs sont spécialisés dans certaines opérations ou pour la valorisation de certains matériaux. En termes de répartition des tâches par genre, alors que les hommes sont principalement impliqués dans la réparation, la récupération et le recyclage des DEEE, les femmes travaillent principalement dans le secteur de la restauration et dans la collecte et la vente de pièces détachées (par exemple les petits métaux). Elles servent d'intermédiaire entre le démantèlement et les usines de transformation des métaux recyclés. Les femmes sont également impliquées dans le recyclage de petits déchets tels que les métaux et les plastiques (Kouassi, 2020 ; GEF, 2018).

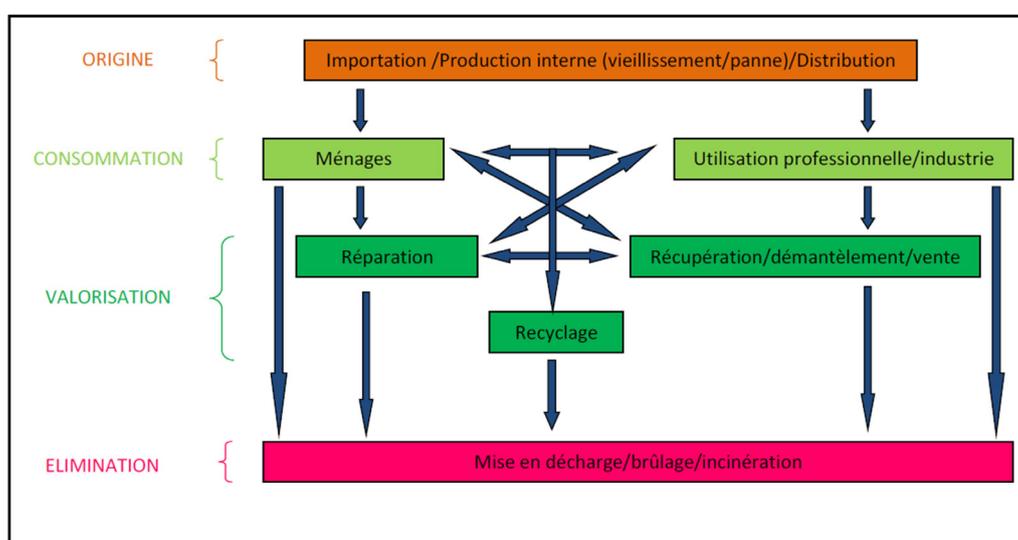


Figure 2 - Chaîne de valeur des DEEE et VFV en Côte d'Ivoire (Appia, 2020)

Collecte et stockage

Depuis 2018, deux sociétés assurent la collecte et le traitement des déchets urbains dans le District Autonome d'Abidjan. Elles sillonnent les différentes communes pour collecter les déchets au porte-à-porte ou par regroupement. Les déchets collectés sont ensuite entreposés dans des coffres couverts par des filets puis transférés au Centre de Valorisation et d'Enfouissement Technique de Kossihouen (situé à 26 km au nord d'Abidjan). Ce centre assure le traitement professionnel, efficace et durable des ordures ménagères (Kouassi, 2020) mais ne traite pas spécifiquement les DEEE.

La collecte des déchets électroniques est principalement opérée au porte à porte par les

collecteurs informels auprès des particuliers, magasins, bureaux, mais également dans les rues ou espaces non habités. Les matériaux ainsi collectés sont amenés à la casse pour être triés, réparés ou recyclés. Il arrive également que les entreprises en charge du ramassage des ordures ménagères collectent des DEEE, lorsque ces derniers se retrouvent dans les coffres ou caissons à ordures. Les équipements en panne ou hors d'usage sont cédés par les consommateurs aux collecteurs/récupérateurs en échange d'une petite rétribution (par exemple 500 Francs CFA pour un ventilateur, entre 2000 et 5.000 Francs CFA pour une télé) qui revendent ce matériel aux ferrailleurs. Les dépanneurs et ferrailleurs eux-mêmes se déplacent dans les entreprises pour débarrasser les stocks d'appareils hors d'usage qu'ils achètent en vrac (Kouassi, 2020).

Prétraitement : démantèlement

Les activités de démantèlement sont conduites de façon manuelle. Le démantèlement s'effectue dans les casses et consiste au découpage, tri et à la récupération de pièces détachées, métaux et matériaux. Les recycleurs informels démantèlent, séparent les fractions et récupèrent les matériaux de valeur des DEEE, sans prendre en compte les fractions dangereuses (Kouassi, 2020). Certains déchets électroniques sont également incinérés pour en extraire des éléments de valeur, par exemple les câbles pour la récupération du cuivre (GEF, 2018).

Traitement : recyclage

Il existe une parfaite collaboration entre les ferrailleurs et les dépanneurs et chaque ferrailleur est ainsi spécialisé dans une catégorie de produits ou de matériaux. Les ordinateurs, les téléviseurs, les climatiseurs, les compresseurs de réfrigérateurs et même les conteneurs réfrigérés sont testés, si possible réparés/remis à neuf par les dépanneurs, et en dernier lieu cassé pour extraire les métaux, matériaux et liquides réutilisables (Kouassi, 2020). L'ingéniosité de ce secteur permet la réutilisation de nouveaux matériaux directement sur le marché ivoirien, par exemple la récupération de matériaux isolants et de tôles qui permet la reconstruction de chambres froides qui seront vendues sur le marché local (GEF, 2018). Les éléments extraits des déchets électroniques sont généralement vendus à d'autres collecteurs ou directement aux artisans ou fabricants locaux (fabricants de conteneurs, usines) et aux exportateurs étrangers. Plus précisé-

ment : les ferrailleurs vendent du fer, de l'aluminium, du laiton et du zinc aux forgerons pour la fabrication de pots, brouettes, etc. Le marché local permet d'absorber ces fractions de manière appropriée ; le laiton, le cuivre et le plomb sont vendus aux entreprises libanaises, indiennes ou chinoises sur place pour l'exportation ou l'exploitation - les circuits imprimés sont généralement vendus au kilo à des acheteurs étrangers qui les exportent pour la récupération de métaux précieux ; le plastique est vendu à certaines structures pour la fabrication de chaussures, de conteneurs, etc. (GEF, 2018 ; Appia, 2020).

Traitement ultime : mise en décharge, dépôt sauvage et incinération

Les composants de déchets électroniques de faible valeur - tels que le plastique provenant d'ordinateurs ou de moniteurs désassemblés, les coques des écrans de téléviseurs et les tubes cathodiques - sont souvent jetés dans des dépôts sauvages d'ordures ménagères, dans les bacs à ordures, à la périphérie des communes, à la décharge d'ordures ménagères d'Abidjan, ou parfois dans les retenues et plans d'eau notamment dans la lagune, menaçant ainsi la faune et la flore aquatique (GEF, 2018 ; Kouassi, 2020).

Le brûlage à l'air libre des DEEE par les ménages ou la municipalité dans les décharges et dépôts sauvages est une pratique fréquente. Or, la combustion notamment des plastiques issus aussi bien des DEEE et de VFV contribue de manière significative à la dégradation de la qualité de l'air en libérant des dioxines et des furanes. En l'absence d'incinérateur industriel, cette pratique doit absolument être bannie (Kouassi, 2020).

Des ONG, moyennant transactions financières, collectent et exportent des DEEE en vue de leur recyclage à l'étranger (Zadi, 2020 ; Kouassi, 2020). Ces initiatives restent ponctuelles et de faible envergure. De manière générale, le secteur manque de cadre législatif et institutionnel, de sensibilisation, mais également de moyens techniques pour la gestion écologiquement rationnelle des polluants organiques persistants issus des DEEE.

L'absence de lois sur la gestion des DEEE a pour conséquence l'utilisation de pratiques inappropriées, dont le brûlage à l'air libre, causant la production non intentionnelle de POP. Pourtant, aucune disposition de protection environnementale n'est prise pour

protéger les travailleurs ou les sites d'exploitation. Le cadre institutionnel relatif aux POP est caractérisé par une multiplicité des acteurs et des restructurations fréquentes entraînant des conflits de compétences en rapport avec leurs attributions et responsabilités, fragilisant ainsi l'action de l'État dans le secteur. De plus, le secteur est dominé par des intervenants informels dû au manque d'infrastructures appropriées et de personnel qualifié pour la gestion écologiquement rationnelle des POP (Kouassi, 2020). Le manque de compétences techniques en matière de gestion des DEEE, de sensibilisation aux risques sanitaires, d'accès aux technologies appropriées et de financement adéquat du secteur public favorisent les mauvaises pratiques de gestion des DEEE et les risques sanitaires et environnementaux pour les populations. Pour de plus amples informations sur les POP et PBDE en Côte d'Ivoire, veuillez vous référer à l'Annexe 1.

Les activités liées aux DEEE sont menées par des travailleurs qui ne sont pas informés des dangers relatifs à leur activité ou ne peuvent mettre en œuvre des mesures de sécurité. Les travailleurs sont exposés au risque chimique qui est particulièrement important dans la filière des DEEE car ces déchets contiennent différents polluants, tel que le mercure (par exemple dans les tubes cathodiques, certaines lampes usagés, écrans plats) et d'autres composés toxiques, dont certains sont cancérigènes (par exemple dans les écrans plats). Ils travaillent sans équipement de protection, ne connaissent pas la toxicité de certaines parties des DEEE, et opèrent parfois de manière nocive pour l'environnement, par exemple en incinérant les câbles pour récupérer les métaux précieux ou en se débarrassant des fractions sans valeur en les jetant dans les cours d'eau ou dans les décharges sauvages (Kouassi, 2020).

1.4 Pratiques de gestion non-écologiquement rationnelle des DEEE

Les Principes directeurs pour la gestion durable des métaux de seconde fusion décrivent les pratiques de gestion non-écologiquement rationnelle (ou « mauvaises pratiques » ou « pratiques irrationnelles ») comme les « pratiques connues ou suspectées d'avoir des impacts négatifs graves (généralement multiples) sur l'environnement, la santé et la sécurité des travailleurs/de la communauté, et la qualité et la quantité de métaux secondaires récupérés, lorsqu'elles sont appliquées par tout opérateur économique dans l'un des processus concernés (collecte, traitement manuel et mécanique, traitement métallurgique et élimination) » (ISO IWA, 2017).

Le tableau ci-dessous fournit une vue d'ensemble des mauvaises pratiques existantes dans le secteur des DEEE et leurs implications (élaboré à partir de Karcher et al., 2018)² :

Étape	Pratiques non-écologiquement rationnelles et leurs principales implications en termes de santé, environnement et sécurité
 <p>Collecte et stockage</p>	<p>Les mauvaises pratiques en matière de collecte liées à la qualité de la manutention, de la logistique et des installations comprennent, sans s'y limiter :</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Les pratiques de manipulation dangereuses après la collecte et avant le transport (par exemple, élimination incontrôlée des acides des batteries plomb-acide usagées).▪ Les pratiques de manipulation dangereuses en vue du stockage (non-isolément des contacts de la batterie) qui présentent un risque d'incendie.▪ Les méthodes de stockage inappropriées (par exemple, surempilement non sécurisé pouvant s'effondrer sur les travailleurs et endommager les matériaux).▪ La collecte sélective de fractions de valeur facilement accessibles (par exemple, le cuivre dans les moniteurs CRT) sans tenir compte d'autres fractions de valeur (gaspillage des ressources).▪ L'utilisation de véhicules de collecte qui ne sont pas en état de rouler ou qui ne sont pas adaptés à l'usage (par exemple, charges non couvertes).▪ Le manque d'équipement approprié pour faciliter le

2 Le traitement mécanique n'est pas couvert dans ce document car peu utilisé en Côte d'Ivoire.



Collecte
et
stockage

chargement et le déchargement des matériaux en toute sécurité (par exemple, chariots élévateurs et grues).

- Les installations de stockage sans protection contre les conditions climatiques pouvant affecter la qualité des matériaux.
- L'absence de stockage séparé et sûr (à température contrôlée) pour les fractions combustibles (par exemple les batteries lithium-ion, les lampes fluorescentes compactes), les articles (par exemple les réfrigérateurs), et les déchets dangereux présentant des risques potentiels pour la santé et l'hygiène.



Figure 3 - Exemple de mauvaise pratique : téléviseurs à tube cathodique empilés dans un camion ouvert pouvant entraîner des dommages pendant le transport ©Times of India



Collecte
et
stockage



Figure 4 - Exemple de mauvaise pratique : camion ouvert transportant des déchets électroniques incorrectement empilés et fixé qui se déversent à l'extérieur des bords du camion et présentent un risque élevé de chute ©EMPA





Collecte
et
stockage

Figure 5 - Exemples de mauvaises pratiques en matière de stockage des fractions DEEE ©UNITAR



Figure 6 - Stockage inapproprié de déchets électroniques montrant une fuite de pigment de la cartouche de la photocopieuse ©Deepali Sinha Khetriwal

De telles pratiques peuvent entraîner un certain nombre de risques, notamment la contamination des écosystèmes environnants par des métaux lourds solubles, la contamination croisée de polluants, l'exposition des travailleurs à des produits chimiques et des blessures, ou encore des accidents de véhicule.



Transport
et
commerce

Les **pratiques non conformes dans le transport et commerce** sont également variées. Elles impliquent notamment :

- Les pratiques de manipulation dangereuses avant le transport (par exemple, élimination in-



Transport et commerce

- contrôlée des acides des batteries plomb-acide usagées).
- La vente des fractions traitées à un fournisseur en aval qui opère de manière non conforme et dangereuse avec des conséquences pour la sécurité des travailleurs et l'environnement.
 - La violation de la législation (nationale et internationale) applicable qui limite et prescrit les pratiques commerciales et de transport acceptables.
 - La documentation inexistante ou incomplète des dossiers d'expédition et/ou falsification du permis d'exportation et d'importation pertinent (corruption d'agents).
 - Le commerce de cargaisons délibérément faussement étiquetées et déclarées pour éviter les obligations locales et internationales de traitement des déchets souvent coûteuses (telles que les coûts d'élimination sûre) et les droits d'importation.
 - La cargaison mal emballée qui ne respecte pas les normes minimales requises fixées par les réglementations internationales en matière de transport afin d'éviter les coûts.
 - L'utilisation d'équipements, d'installations et de moyens de transport défectueux et dangereux en termes d'intégrité structurelle et de norme technique requise.



Transport et commerce

- L'utilisation de types de services de transport employant une main-d'œuvre non formée et non protégée opérant de manière non conforme (par exemple, sans licence), non protégée (risque d'accidents) et non assurée.

Les mauvaises pratiques de transport peuvent causer des accidents de véhicules pouvant entraîner des blessures ou la mort. Elles peuvent provoquer des fuites, des déversements ou des explosions avec des conséquences sur l'environnement. De plus, la santé et la sécurité des travailleurs sont mises en danger lorsqu'ils sont exposés à des biens de consommateurs non conformes en l'absence de mesures de protection (par exemple des biens contenant des métaux lourds et des retardateurs de flamme chimiques). Comme ces pratiques échappent au radar des autorités et peuvent se produire dans des juridictions internationales, il existe également un risque de dommages environnementaux non détectés, plus longs et plus importants.



Démantèlement manuel

Le **démontage manuel dangereux** implique un certain nombre de mauvaises pratiques, telles que :

- Briser, écraser ou forcer l'ouverture de pièces ou composants, au lieu d'utiliser des dispositifs plus sûrs pour faciliter une ouverture contrôlée (par exemple, un tournevis).
- Ne pas porter les EPI requis.



Démantèlement manuel

- Briser et écraser des pièces contenant du mercure (par exemple dans les réfrigérateurs, le verre CRT, les écrans plats et certaines lampes) sans porter d'EPI et sans séparation ou isolement appropriés des constituants dangereux.
- Briser des supports contenant des cartes de circuits imprimés dont sont extraites des pièces de valeur (par exemple des puces) dans le but de récupérer en aval la fonction (refabrication des puces) ou le matériau (récupération des métaux secondaires) sans utiliser d'EPI et/ou sans éliminer en toute sécurité les constituants potentiellement dangereux.





Démantèlement manuel

Figure 7 - Exemples de mauvaises pratiques de démantèlement manuel des DEEE ©UNITAR

Les pratiques dangereuses de démantèlement manuel exposent les travailleurs et la communauté à la poussière et aux fumées, aux substances dangereuses, aux produits chimiques et aux métaux lourds (par exemple, le mercure, le plomb, le cadmium, etc.). Les travailleurs peuvent également être blessés lors des pratiques d'écrasement, de destruction et d'ouvertures forcées. De telles pratiques peuvent également entraîner une contamination de l'environnement par des produits chimiques, des gaz et des liquides nocifs (acides, huiles).



Traitement métallurgique

La **fusion rudimentaire** à faible technologie consiste à exposer des déchets et matériaux secondaires contenant des métaux à des sources de chaleur localisées et élevées telles qu'une cuisinière électrique, un chalumeau ou une grille sur un feu de charbon pour faciliter diverses formes de fusion. Les mauvaises pratiques observées comprennent :

- La fusion pour extraire les métaux d'un alliage tel que la récupération d'or par amalgame (voir ci-dessous).
- La refusion pour dessouder des composants de valeur, tels que des puces électroniques sur les cartes de circuits imprimés, par immersion dans un bain de plomb ou par exposition à une chaleur élevée afin de casser les pièces et morceaux



Traitement métallurgique

souhaités par la contrainte thermique induite.

La **combustion rudimentaire** à faible technologie consiste à mettre le feu à un tas de matériaux contenant du métal à une température assez élevée :

- Les opérateurs « modulent » généralement la température en alimentant le feu avec des composants, en particulier des pneus de voiture et des mousses de réfrigérateur pour augmenter la température, et des plastiques ignifuges pour refroidir le feu. Les émissions qui en résultent contiennent un cocktail non spécifié de diverses substances hautement toxiques, telles que des dioxines, des retardateurs de flamme gazéifiés et des produits chimiques appauvrissant la couche d'ozone, en plus des particules plus grosses, de la suie et des cendres.
- La combustion rudimentaire a divers objectifs, par exemple éliminer les matières plastiques obstruantes en polychlorure de vinyle (PVC) entourant le cuivre dans les câbles, récupérer et séparer le cuivre de l'aluminium dans les grilles de refroidissement des réfrigérateurs, récupérer l'aluminium des condensateurs, avec le risque de libération simultanée d'huiles PCB et d'électrolytes, etc.



Traitement métallurgique



Figure 8 - Exemples de mauvaises pratiques de fusion et combustion des fractions de DEEE ©UNITAR

Les pratiques de fusion et de combustion à faible



Traitement métallurgique

technologie sont des pratiques dangereuses d'isolement, de libération et de récupération des métaux. Elles sont généralement effectuées sans licence par des opérateurs non qualifiés et non autorisés, manuellement et sans EPI, et en l'absence d'équipements de contrôle de la température appropriés (et donc sans mesures de contrôle de la pollution). Elles peuvent entraîner la libération de fumées (en particulier de plomb) et d'autres substances si les activités sont effectuées dans un environnement ouvert et non protégé sans filtration d'air ou ventilation. Ces substances peuvent être inhalées par les travailleurs et les communautés environnantes, causant divers dommages à la santé et une grave contamination environnementale. Un mélange complexe et très toxique de produits chimiques en suspension dans l'air, notamment des dioxines et d'autres POP, peut être produit. De telles pratiques peuvent également causer de graves brûlures aux travailleurs.

L'**amalgamation** consiste à mettre des particules d'or libres en contact avec du mercure. Le mercure est combiné à des composants porteurs d'or (déchetés/broyés à la taille des particules) pour former un amalgame durci qui capte la majeure partie de la poussière de métal. L'amalgame est ensuite chauffé avec un chalumeau ou sur une flamme nue pour évaporer le mercure, laissant de petits morceaux d'or comme résidus.



Traitement métallurgique



Figure 9 - Exemple de mauvaises pratiques d'amalgamation ©UNITAR

L'amalgamation est considérée comme l'une des mauvaises pratiques d'extraction de métaux connues. La Convention de Minamata en appelle donc à son interdiction au vu des nombreux cas prouvant ses impacts néfastes et très sévères sur la santé humaine et l'environnement (bio-accumulation).

D'autres procédés de lixiviations chimiques rudimentaire, telles que la **lixiviation par bain acide** et la **lixiviation au cyanure**, sont basées sur l'application (dans un



Traitement métallurgique

ordre particulier) d'une gamme de produits chimiques qui sont par nature hautement réactifs (peroxyde d'hydrogène), corrosifs (eau régale), acides (acide nitrique et sulfurique) et/ou toxique (cyanure). Ceux-ci sont appliqués à des pièces contenant des métaux secondaires, des particules déchetées ou des fractions pulvérisées pour la récupération de métaux tels que le cuivre et l'or de leurs supports, généralement des cartes de circuits imprimés.

Sans EPI et sans systèmes de ventilation appropriés sur le lieu de travail, cette pratique dégage des fumées toxiques et acides, exposant les travailleurs à un risque élevé de brûlures cutanées et de lésions pulmonaires. En présence de fractions contenant du mercure, la lixiviation au cyanure peut conduire à la formation de complexes mercure-cyanure solubles qui mobilisent le mercure, et qui peuvent alors facilement pénétrer dans le corps humain et dans un environnement non protégé.



Élimination

Le **brûlage à ciel ouvert** consiste généralement à allumer un feu dans un terrain ouvert dans le but de réduire les volumes de déchets restants. Certains feux sont maintenus allumés pendant des semaines à l'état couvant, grâce à l'alimentation systématique de nouveaux déchets domestiques et industriels (y compris généralement des boîtiers en plastique, des pneus et des mousses halogénées provenant de réfrigérateurs). Après avoir été dans ces feux « froids » pendant si longtemps, tous les résidus métalliques,



Élimination

par exemple sous forme de boîtes ou de clous, sont chauffés dans les cendres restantes et sont régulièrement récupérés.



Figure 10 - Exemple de mauvaises pratiques de brûlage à ciel ouvert ©UNITAR

De telles pratiques exposent les travailleurs à la suie et aux cendres avec une concentration de produits chimiques dangereux qui ne sont pas gazéifiés ou qui ont été nouvellement générés. Un processus de combustion incontrôlé peut émettre des volumes substantiels (sous forme de cendres, de suie et de fumée) de produits chimiques nocifs mélangés, y compris divers métaux lourds, dioxines, béryllium et hydrocarbu-



Élimination

res aromatiques polycycliques. Le plomb, le mercure, le cadmium et les ignifugeants polybromés sont tous des substances toxiques persistantes et bioaccumulables, qui sont ensuite transmises à l'ensemble de la chaîne alimentaire humaine. Les communautés environnantes sont susceptibles d'être fortement affectées par la fumée typiquement âcre et noire transportant certaines des substances les plus toxiques et cancérogènes connues à ce jour.

La **décharge à ciel ouvert** est la pratique du rejet incontrôlé et aléatoire de déchets solides et liquides (et de matériaux dont la valeur est perçue comme nulle/faible) dans l'environnement, sans intention de traitement ultérieur. L'environnement de déversement « ouvert » peut être, par exemple, une rue, un fossé, une rivière ou tout type de plan d'eau, ou un trou creusé spécifiquement dans le but d'y déverser les déchets.



Figure 11 - Exemple de mauvaises pratiques de décharge à ciel ouvert ©UNITAR



Élimination

La décharge à ciel ouvert incontrôlée expose directement les travailleurs à des constituants dangereux solides, liquides ou en suspension dans l'air, et affecte souvent négativement l'ensemble de la communauté environnante. Des substances toxiques persistantes et bioaccumulables sont transmises à la chaîne alimentaire humaine au travers des cultures vivrières produites sur des sols contaminés et irriguées avec de l'eau contaminée. Des combinaisons et des concentrations variables de déchets généraux et dangereux peuvent grandement affecter l'ensemble de la biosphère par la contamination du sol et de l'eau.

Tableau 1 – *Pratiques de gestion non-écologiquement rationnelle des DEEE et leurs principales implications en terme de santé, environnement, sécurité (élaboration UNITAR à partir de : Karcher et al, 2018.)*

Outre les problèmes de santé, de sécurité et d'environnement, les pratiques irrationnelles dans la gestion des DEEE affectent également l'efficacité de récupération des matières et fractions de valeur pour diverses raisons : perte de matière, faibles taux de récupération, contamination des matériaux, perte de fonctionnalité limitant la réutilisation (Karcher et al., 2018).

2. Cadre réglementaire général sur les DEEE

2.1 Définitions, classification et compositions des DEEE

Les équipements électriques et électroniques comprennent des produits très variés équipés de circuits ou composants électriques et qui fonctionnent avec une batterie ou une alimentation électrique (Step Initiative, 2014). L'utilisation des EEE ne cesse de croître, ce qui contribue à produire des déchets électroniques (DEEE ou e-déchets) partout dans le monde. Presque tous les ménages ou toutes les entreprises utilisent des produits tels que des appareils électroménagers, des jouets, des lampes, ainsi que des technologies de l'information et de communication (TIC), tels que des téléphones mobiles, ordinateurs, tablettes, etc. Les équipements EEE sont également de plus en plus utilisés dans les transports, le secteur de la santé, les systèmes de sécurité et les générateurs d'énergie, comme les systèmes photovoltaïques. Les produits traditionnels, tels que les vêtements et les meubles, sont parfois équipés de composants électriques. En outre, davantage d'équipements EEE sont employés dans le secteur en expansion de l'Internet des objets (IoT), par exemple des capteurs ou des dispositifs relevant du domaine des "maisons intelligentes" ou des "villes intelligentes" (Forti et al., 2020).

Les EEE deviennent des DEEE une fois qu'ils ont été jetés par leur propriétaire en tant que déchets, sans intention de réutilisation (Step Initiative, 2014). Chaque produit contient des matériaux différents, est éliminé et recyclé d'une façon différente et présente des risques variables pour l'environnement et la santé des personnes s'il n'est pas traité de façon écologiquement rationnelle (Forti et al., 2020).

Les EEE comprennent des produits très diversifiés et l'une des classifications les plus largement acceptée est celle de l'annexe I de la Directive européenne sur les DEEE (Parlement européen, 2012), qui regroupe les DEEE en six catégories générales définies selon les caractéristiques de gestion des déchets³ (Forti et al., 2020).

3 Les systèmes et dispositifs de gestion des DEEE n'incluent pas encore les batteries, les accumulateurs ou les composants électriques des véhicules.

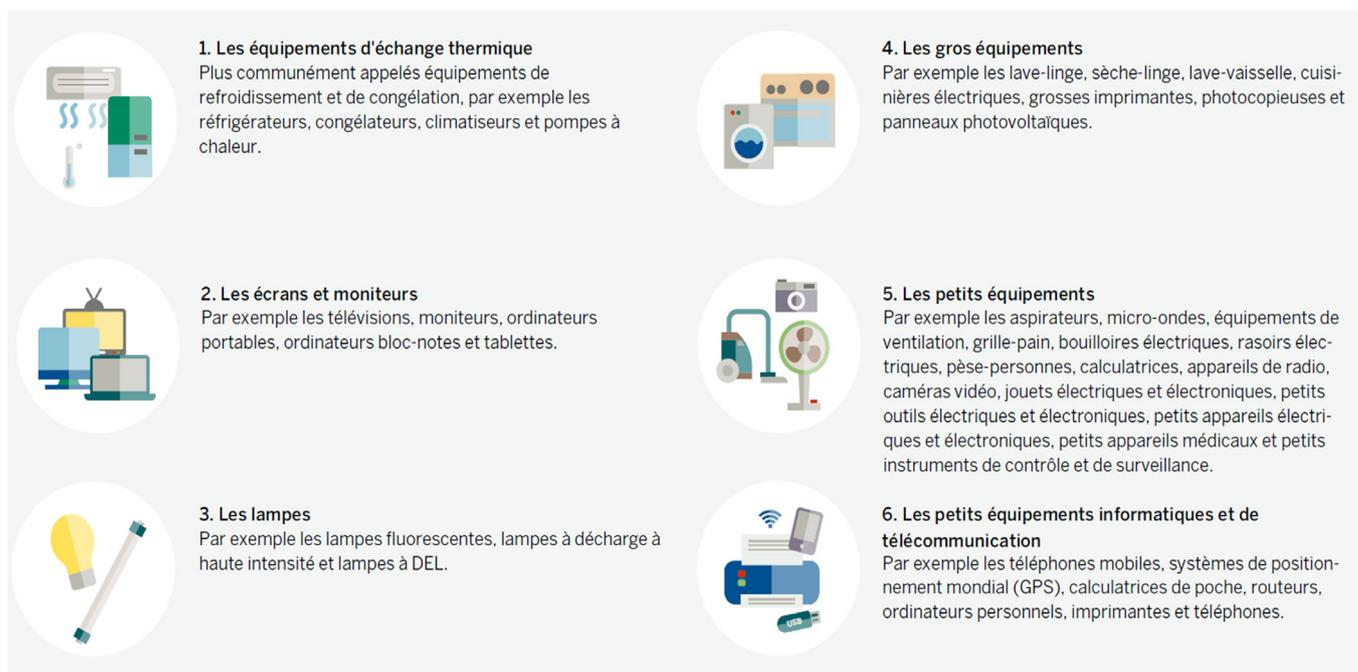


Figure 12 – Catégories DEEE selon l'annexe I de la Directive européenne sur les DEEE (Forti, 2020)

Les déchets électroniques contiennent normalement des matières précieuses et potentiellement toxiques. La composition des déchets électroniques dépend fortement de facteurs tels que le type d'appareil électronique, le modèle, le fabricant, et la date de fabrication (Mmereki et al., 2015). Les DEEE sont généralement composés des matériaux suivants, dont les quantités varient en fonction des facteurs susmentionnés (Ecologic France, 2021) :

- Métaux ferreux
- Matières plastiques
- Résidus de broyage
- Verre
- Métaux non-ferreux
- Fraction minérale
- Cartes de circuits imprimés

Les déchets électroniques peuvent contenir des **métaux précieux** tels que l'or, le cuivre et le nickel et des **matériaux rares** de valeur stratégique tels que l'indium et le palladium. Ces métaux précieux et lourds peuvent être récupérés, recyclés et utilisés comme source précieuse de matières premières secondaires (MPS) (GIZ, 2019).

Parallèlement, les déchets électroniques contiennent également des **substances toxiques et dangereuses**, par exemple des métaux lourds tels que le mercure, le cadmium, le plomb et le chrome, ou des **polluants organiques persistants**, tels que les retardateurs de flamme que l'on trouve dans les boîtiers en plastique ou dans les cartes de câblage imprimées (GIZ, 2019).

Les **retardateurs de flamme bromés (RFB)**, tels que les polybromodiphénylséthers (**PBDE**) et les polybromobiphényles (PBB), qui sont utilisés dans les appareils pour réduire l'inflammabilité du produit, apparaissant, par exemple, dans les boîtiers extérieurs, les cartes de circuits imprimés, les connecteurs, interrupteurs et disjoncteurs, fils et câbles (McPherson, Thorpe et Blake 2004 & Herat 2008 ; Li, 2013).



Figure 13 – Principaux composants des EEE contenant des PBDE⁴ ©UNITAR

Toutefois, la teneur et la composition des PBDE dans les plastiques DEEE varient considérablement selon le type de plastique, les composants, les périodes de fabrication et la durée de vie des DEEE⁵ (Li, 2013). En raison des risques pour l'environnement et la santé humaine des RFB, ils ont récemment été réglementés, et leur utilisation a été restreinte voire interdite pour les nouveaux équipements dans divers pays/régions.

4 Boîtiers extérieurs des ordinateurs, téléviseurs, tubes cathodiques, cartes de circuits imprimés, interrupteurs, câbles.

5 Pour plus d'information sur les types et concentrations des PBDE dans les plastiques DEEE, veuillez vous référer à l'Annexe 2.

Restriction et élimination des PBDE

L'hexabromobiphényle, le tétraBDE, le pentaBDE, l'hexaBDE et l'heptaBDE (constituant les mélanges c-pentaBDE et c-octaBDE) sont énumérés à l'annexe A de la Convention de Stockholm depuis 2009, et le c-décaBDE depuis 2017. La Convention prévoit l'élimination de la production et l'utilisation de ces produits chimiques, sous réserve des dérogations relatives au recyclage des articles et à l'utilisation et à l'élimination des articles fabriqués à partir de matériaux recyclés. Aux États-Unis, la production et l'utilisation d'octaBDE et de pentaBDE ont été abandonnées fin 2004, suivi par le décaBDE fin 2013 (EPA, 2017). Dans l'Union Européenne, la mise sur le marché des c-pentaBDE et c-octaBDE est interdite depuis 2004. Le c-décaBDE a fait l'objet de restrictions à partir de 2010, renforcées en 2017.

Malgré ces restrictions, le principal défi pour l'élimination des PBDE est l'identification des stocks existants et des articles contenant des POP-PBDE, et l'élimination des déchets contenant des POP-PBDE. De grands volumes de ces matériaux font partie du flux de recyclage mondial et continueront d'être utilisés dans les articles de consommation (UNEP, 2017).

Les rejets des substances appauvrissant la couche d'ozone (SACO) et de gaz à effet de serre (GES) sont également très préoccupants et pourraient avoir lieu si les approches MTD/MPE n'ont pas été adoptées (UNEP et Convention de Stockholm, 2017, p.16).

2.2 Réglementation nationale et internationale sur les DEEE

2.2.1 Cadre légal international

La Côte d'Ivoire a ratifié un certain nombre d'instruments internationaux contrôlant les déchets dangereux. Ces instruments sont les Convention de Bâle, de Rotterdam, de Stockholm, de Bamako et de Montréal.

La Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dan-

gereux et de leur élimination (ratifiée par la Côte d'Ivoire en 1994) vise à protéger la santé humaine et l'environnement contre les effets néfastes des déchets dangereux, y compris les déchets électroniques (à moins que ces derniers ne soient dépollués). Les principaux objectifs et dispositions de cette convention sont les suivants:

- La réduction de la production de déchets dangereux et la promotion d'une gestion écologiquement rationnelle des déchets dangereux, quel que soit le lieu d'élimination ;
- La restriction des mouvements transfrontières de déchets dangereux, sauf lorsqu'ils sont perçus comme étant conformes aux principes d'une gestion écologiquement rationnelle ; et
- Un système de réglementation applicable aux cas où les mouvements transfrontières sont autorisés (Convention de Convention de Bâle, 1989).

Article 2 de la Convention de Bâle

L'Article 2 de la Convention de Bâle définit les « déchets » comme « des substances ou objets qu'on élimine, qu'on a l'intention d'éliminer ou qu'on est tenu d'éliminer en vertu des dispositions du droit national » et l'« élimination » comme « toute opération prévue à l'annexe IV de la présente Convention ». Il est important de noter que les dispositions nationales concernant la définition des déchets peuvent différer et que le même matériau qui est considéré comme un déchet dans un pays peut ne pas être un déchet dans un autre pays.

Classification des DEEE dans la Convention de Bâle (UNEP, 2015)

Les DEEE sont inclus dans l'Annexe VIII de la Convention avec l'entrée suivante pour les **déchets dangereux** :

A1180 assemblages électriques et électroniques usagés ou sous forme de débris⁶ contenant des éléments tels que les accumulateurs et autres piles figurant sur la liste A, les interrupteurs à mercure, les verres provenant de tubes cathodiques, les autres verres activés, les condensateurs au PCB, ou contaminés par des constituants figurant à l'Annexe I (comme le cadmium, le mercure, le plomb, les diphényles polychlorés, etc.) dans une proportion telle qu'ils présentent l'une des caractéristiques de danger énumérées à l'Annexe III (voir rubrique correspondante de la liste B-B1110)⁶.

Mais les DEEE sont également inclus dans l'Annexe IX de la Convention avec l'entrée suivante pour les **déchets non-dangereux**:

B1110 Assemblages électriques et électroniques:

- Assemblages électroniques constitués uniquement de métaux ou d'alliages.
- Déchets et débris d'assemblages électriques et électroniques⁷ (y compris les circuits imprimés) ne contenant pas d'éléments tels que les accumulateurs et autres piles mentionnés sur la liste A, les interrupteurs au mercure, les verres de tubes cathodiques, les autres verres activés, et les condensateurs au PCB, ou non contaminés par les constituants figurant à l'annexe I (tels que cadmium, mercure, plomb, polychlorobiphényles, etc.) ou purifiés de ces constituants, au point de ne présenter aucune des caractéristiques figurant à l'annexe III (voir rubrique correspondante de la liste A - A1180).

6 Concentration de PCB égale ou supérieure à 50 mg/kg.

7 Cette rubrique n'inclut pas les débris provenant de la production des générateurs électriques.

- Assemblages électriques et électroniques (y compris circuits imprimés, composants et fils électriques) destinés à une réutilisation directe⁸ et non au recyclage ou à l'élimination définitive⁹.

La **Convention de Bamako** (ratifiée en 1994) interdit l'importation de tout type de déchets dangereux en Afrique et exige en outre un contrôle strict et axé sur les restrictions des mouvements transfrontières et de la gestion des déchets dangereux en Afrique. La Convention couvre plus de déchets que la Convention de Bâle car elle inclut les déchets radioactifs, tout déchet présentant une caractéristique dangereuse ou un constituant répertorié comme un déchet dangereux, les définitions nationales des déchets dangereux, ainsi que les déchets faisant l'objet de restrictions sévères ou qui ont fait l'objet d'interdictions (UNEP, n.d.). Les pays ratificateurs de la Convention de Bamako déclarent que les équipements électroniques non testés ou non fonctionnels sont des « déchets dangereux » (GIZ, 2019).

La **Convention de Rotterdam sur la procédure de consentement préalable en connaissance de cause pour certains produits chimiques et pesticides dangereux faisant l'objet du commerce international** (ratifiée en 2004) vise à promouvoir la responsabilité partagée et les efforts de coopération entre les Parties dans le commerce international de certains produits chimiques dangereux afin de protéger la santé humaine et l'environnement contre les dommages potentiels. La Convention contribue également à l'utilisation écologiquement rationnelle de ces produits chimiques dangereux, en facilitant l'échange d'informations sur leurs caractéristiques, en prévoyant un processus décisionnel national sur leur importation et exportation et en diffusant ces décisions aux Parties (Convention de Rotterdam, 1998).

8 La réutilisation peut inclure la réparation, la remise en état ou l'amélioration, mais pas un réassemblage majeur.

9 Dans certains pays, ces matières destinées à être réutilisées directement ne sont pas considérées comme des déchets.

La **Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants** (ratifiée en 2004) vise à protéger la santé humaine et l'environnement contre ces polluants. Entre autres, les dispositions de la Convention exigent de chaque partie de :

- Interdire et/ou éliminer la production et l'utilisation, ainsi que l'importation et l'exportation, des POP produits intentionnellement qui sont énumérés à l'annexe A de la Convention (article 3) ;
- Restreindre la production et l'utilisation, ainsi que l'importation et l'exportation, des POP produits intentionnellement qui sont énumérés à l'annexe B de la Convention (article 3) ;
- Réduire ou éliminer les rejets de POP produits non intentionnellement qui sont énumérés à l'Annexe C de la Convention (article 5) ;
- Veiller à ce que les stocks et déchets constitués de, contenant ou contaminés par des POP soient gérés de manière sûre et écologiquement rationnelle (article 6) (Convention de Stockholm, 2001).

Meilleures techniques disponibles (MTD) et les meilleures pratiques environnementales (MPE) dans la Convention de Stockholm

En vertu de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants, les Parties sont tenues de réduire leurs rejets des substances chimiques énumérées à l'annexe C, provenant de sources anthropiques (résultant de l'intervention de l'homme) et, dans la mesure du possible, d'éliminer les rejets non intentionnels de ces produits chimiques. À cet effet, selon l'article 5, les Parties doivent élaborer des plans d'action afin d'identifier, caractériser et gérer les rejets de substances chimiques inscrites à l'annexe C. De plus, les Parties sont tenues de mettre en œuvre ou de promouvoir les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales, comme décrit dans les *Directives sur les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales en liaison avec l'article 5 et l'annexe C de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants* (Secrétariat de la Convention de Stockholm, 2008 ; UNEP et Stockholm Convention, 2013, Toolkit).

En application de l'article 7 de la Convention de Stockholm, le Ministère de l'Environnement et du Développement Durable (MINEDD) de Côte d'Ivoire a élaboré et transmis son premier plan national de mise en œuvre de la Convention de Stockholm sur les Polluants Organiques Persistants au Secrétariat de ladite Convention. Une mise à jour du plan a été réalisée en 2016. Le document couvre notamment le secteur des EEE et fournit une estimation des quantités des PBDE dans les appareils CRT en Côte d'Ivoire (Ministère de la Salubrité, de l'Environnement et du Développement Durable, 2016, p.97).

Le **Protocole de Montréal sur les substances qui appauvrissent la couche d'ozone** (ratifié en 1993) réduit progressivement la consommation et la production de près de 100 substances chimiques artificielles appelées substances appauvrissant la couche d'ozone de manière progressive, avec des calendriers différents pour les pays en voie de développement. En vertu de ce traité, toutes les parties ont des responsabilités spécifiques liées à l'élimination des différents groupes de SACO, au contrôle du commerce des SACO, à la communication annuelle des données, aux systèmes nationaux d'octroi de licences pour contrôler les importations et exportations de SACO, et d'autres questions (UNEP, 2021).

2.2.2. Standards internationaux relatifs au traitement des DEEE

Le développement d'un système national de déchets électroniques est dynamique et la formulation des exigences légales par définition ne peut pas couvrir chaque détail. Pour permettre une certaine flexibilité, il est recommandé de compléter les politiques par une série de règles et de normes de mise en œuvre. Les résultats peuvent, par exemple, consister en un ensemble d'éléments qui soutiennent : une plus grande collecte, un meilleur traitement, des niveaux de réutilisation plus élevés, une plus grande transparence dans la déclaration du produit final et des destinations finales des fractions de recyclage, un contrôle toxique amélioré, le développement technique de l'industrie du recyclage, une récupération accrue des matériaux pertinents, moins d'émissions toxiques, une meilleure sécurité des travailleurs, une meilleure séparation des déchets électroniques et des déchets résiduels, et diverses améliorations organisationnelles du système (Goodship et al., 2019).

Les normes relatives aux déchets électroniques sont nombreuses, de portées différentes et ont beaucoup évolué ces dernières années. Une sélection de normes européennes et internationales sont présentées ci-dessous :

CENELEC EN 50625 est une série de normes couvrant la collecte, le transport, la réutilisation et le traitement des DEEE à appliquer par tous les acteurs de manière harmonisée dans toute l'Europe pour une meilleure qualité des déchets la gestion (CENELEC et EERA, 2017). Ces normes sont divisées entre les normes elles-mêmes (CENELEC EN 50625) et leurs spécifications techniques (CENELEC TS-50625). Les normes sont revues tous les 5 ans et les spécifications techniques tous les 3 ans reflétant ainsi l'état de l'art des technologies et des besoins du marché. La norme EN50614 couvre les exigences relatives à la préparation en vue de réutilisation des déchets d'équipements électriques et électroniques¹⁰ . Des organisations d'audit, tel que le WEEELABEX mettent en œuvre les normes CENELEC dans le système de certification accrédité.

WEEELABEX est une norme européenne disponible en 7 langues utilisée par les entreprises de collecte, logistique et traitement des DEEE¹¹.

IWA 19:2017 fournit un cadre mondial pour la gestion durable des métaux secondaires. Le cadre comprend des exigences de durabilité et de traçabilité pour les métaux récupérés. IWA 19: 2017 guide les opérateurs économiques des chaînes de valeur des métaux secondaires, y compris ceux engagés dans le secteur informel, dans la mise en œuvre efficace et crédible de pratiques de recyclage améliorées, en particulier dans les économies émergentes et en développement (ISO IWA, 2017).

ISO 14001:2015 spécifie les exigences relatives à un système de management environnemental pouvant être utilisé par un organisme pour améliorer sa performance environnementale.

¹⁰ Voir le Site Internet de la Commission Européenne : https://ec.europa.eu/environment/waste/weee/standards_en.htm

¹¹ WEEELABEX : <https://www.weeelabex.org/>

En cohérence avec la politique environnementale de l'organisme, les résultats escomptés d'un système de management environnemental incluent l'amélioration de la performance environnementale, le respect des obligations de conformité, et la réalisation des objectifs environnementaux (ISO, 2015).

R2 Standard développé par l'Agence de Protection de l'Environnement Américaine est conçu pour aider à garantir la qualité, la transparence et la responsabilité environnementale et sociale des installations de recyclage de produits électroniques dans le monde entier¹².

E-stewards est une norme créée par le Basel Action Network pour le recyclage et la réutilisation de l'électronique responsable à l'échelle mondiale¹³.

2.2.3 Cadre politique et légal national

La Côte d'Ivoire a adopté plusieurs politiques et stratégies, y compris : le Plan National d'Action Environnementale de 1996 ; la Stratégie Nationale de Gestion Durable des Déchets de 2002 ; le Plan Stratégique pour la Gestion des Déchets Dangereux dans le district d'Abidjan en 2006 ; et la Stratégie Nationale de Gestion des Déchets 2016-2020 (GEF, 2018).

Sur la base de ces expériences, la Côte d'Ivoire a élaboré un certain nombre d'instruments juridiques applicables au secteur des DEEE, y compris la gestion des déchets dangereux et les EEE.

- La **Constitution ivoirienne** d'octobre 2016 prévoit que « Le droit à un environnement sain est reconnu à tous sur l'ensemble du territoire national » et stipule spécifiquement que « Le transit, l'importation ou le stockage illégal et le déversement de déchets toxiques sur le territoire national constituent des crimes imprescriptibles. » (articles 27 et 40).

12 Voir le site Internet R2 : <https://sustainableelectronics.org/r2/>.

13 Voir le site Internet E-stewards : <http://e-stewards.org/>.

- La **Loi 88-651** du 7/7/1988 relative à la protection de la santé publique et de l'environnement contre les effets des déchets industriels toxiques et nucléaires et des substances nocives interdit (article 1) et pénalise (article 2) les transactions de déchets toxiques et nucléaires.
- La **Loi 96-766** du 3/10/1996 portant code de l'environnement interdit généralement l'importation de déchets dangereux (articles 81 et 82) et sanctionne leur déversement illégal (articles 93 à 102).
- Le **Décret 97-678** du 3/12/1997 relatif à la protection du milieu marin et lagunaire interdit le rejet de déchets dans les eaux marines, lagunaires et côtières (article 17).
- Le **Décret 00710** du 15/04/2008 relatif à l'importation et à l'exportation de déchets d'origine industrielle régit l'importation et l'exportation des déchets industriels destinés à la valorisation. L'exportation d'EEE ou DEEE usagés destinés à la valorisation n'est pas couverte par ce décret.
- Le **Décret 2017-217** du 5/4/2017 relatif à la gestion écologiquement rationnelle des déchets électriques et électroniques introduit une redevance sur les déchets sur les importations de produits électriques et électroniques neufs ou d'occasion en état de marche selon le principe du "pollueur-payeur" et le principe de la responsabilité élargie des producteurs. Le gouvernement déclare que les ressources de cette redevance déchets seront utilisées pour la mise en œuvre d'un programme national, qui conduira à la création d'un système de collecte et de traitement des DEEE pour offrir à la population un cadre de vie plus sain et une meilleure protection de l'environnement.

Les dispositions les plus essentielles du décret sont énumérées ci-dessous¹⁴ :

- ▷ Article 13: Les exportations de DEEE vers la Côte d'Ivoire sont interdites, sauf dans les conditions fixées par les Conventions de Bâle et de Bamako.
- ▷ Article 14: Tout importateur d'EEE d'occasion doit fournir au moment du transfert les documents nécessaires tels que le bon d'achat, le contrat de vente, le cer-

14

Le décret ne traite pas de la gestion environnementale des POP.

tificat d'essai prouvant que l'équipement est fonctionnel et destiné à un usage direct.

- ▷ Article 16: Tout DEEE importé en Côte d'Ivoire, conformément aux dispositions des Conventions de Bâle et de Bamako, doit être destiné au recyclage, à la rénovation ou à la valorisation et doit être envoyé directement dans un centre de traitement des déchets spécialisé.
- ▷ Article 17: Toute exportation de DEEE est soumise à l'obtention d'une autorisation délivrée par le Ministre de l'Environnement.
- ▷ Article 18: Toute élimination des DEEE est interdite: par combustion à l'air libre; dans tout plan d'eau; dans des conteneurs non conçus pour les déchets; en décharge ou en décharge à ciel ouvert; le brûlage à ciel ouvert des équipements électriques et électroniques ou des déchets électroniques dans les centres de recyclage; en abandonnant les DEEE ailleurs que dans des centres de collecte ou des installations de recyclage agréées.

Bien que le Code de l'environnement doive donner une orientation précise à la gestion des produits chimiques, les dispositions relatives aux POP sont absentes ou vagues. L'élaboration de textes juridiques nationaux transposant en droit national la Convention de Stockholm et d'autres conventions (Bâle et Rotterdam), favoriserait leur bonne mise en œuvre.

3. Environnement, santé et sécurité

Les activités entreprises par l'industrie du recyclage des DEEE peuvent avoir un impact négatif sur l'environnement et la santé des travailleurs et des communautés si elles ne sont pas gérées correctement. Les implications pour la santé, la sécurité et l'environnement de la collecte, du transport, du stockage et du traitement de grandes quantités de matières dangereuses et/ou hautement inflammables doivent être correctement évaluées en consultation avec les agences gouvernementales appropriées.

Les déchets électroniques et leurs composants peuvent poser un risque sanitaire important non seulement en raison de leurs principaux constituants, mais également en raison d'une mauvaise gestion des sous-produits utilisés dans le processus de recyclage (comme le cyanure pour la lixiviation de l'or) ou générés par des réactions chimiques (comme les dioxines par la combustion de câbles) (GIZ, 2019).

3.1 Contamination environnementale

Dans la filière de gestion des DEEE, les activités de stockage, de démantèlement et d'élimination finale impactent fortement l'environnement. Le stockage des déchets pollue les sols et les sous-sols. L'air, les nappes phréatiques et les cours d'eau mais aussi les productions animales et végétales (lait, œufs, viande, produits agricoles, etc.) sont également impactés. Pendant l'élimination finale des matériaux dangereux, les substances toxiques pénètrent les sols et provoquent une pollution plus nocive. Le brûlage à l'air libre des fils électriques conduit à la formation de cendres dangereuses, pollue les sites et matériel d'incinération, l'air ambiant, et rejette des substances qui appauvrissent la couche d'ozone et favorisent la formation de gaz à effet de serre. Les rebuts de matériaux abandonnés dans les décharges ou enfouis sous terre altèrent la qualité des eaux souterraines après infiltration (Kouassi, 2020).

En Côte d'Ivoire, une série d'opérations aboutit à la production de dioxines, furanes et PBDE, notamment l'incinération de matériaux de protection pour récupérer les métaux nobles, l'utilisation de mousse de polyuréthane comme combustible. De plus, les déchets non récupérés dans les aciéries sont stockés dans une zone adjacente en attendant d'être mis en décharge sans procédure de décontamination. Le contact

avec l'humidité peut entraîner la lixiviation des PBDE et contaminer toute la zone. Le diagnostic dans la ville d'Abidjan a clairement montré que les POP sont présents dans les écosystèmes environnementaux, notamment dans l'air à travers les émissions de dioxines et furanes, l'eau et le sol à travers les mêmes dioxines et furanes et les PBDE. En effet, il a été démontré dans de nombreux articles scientifiques et techniques qu'il existe un potentiel de lixiviation des PBDE du plastique vers l'eau. Il est à noter que le milieu naturel très humide est favorable à cette lixiviation (Zakarya et Touré, 2018).

3.2 Exposition des travailleurs

L'absence de réglementations en matière de santé et de sécurité au travail entraîne un ensemble de risques pour les travailleurs du démantèlement et du recyclage informels des DEEE, notamment :

- **Accidents** (coupures, chutes, lésions oculaires dues à des projection, électrocution, brûlure chimiques et thermiques, etc.) ;
- **Douleurs** variées dues aux conditions de travail (fatigue, douleurs musculaires, stress, vertiges, maux de têtes et autres douleurs en raison du bruit, des vibrations, de la chaleur, des poussières) ;
- **Exposition à des produits chimiques** (sous formes de poussières, de gaz, de vapeurs ou de liquides), tels que métaux (plomb, mercure, terres rares, or, etc.), retardateurs de flamme bromés, substances halogénées, fluides frigorigènes, fibres, etc. Ils peuvent provoquer des irritations, des brûlures, des intoxications aiguës ou chroniques.
- **Exposition à des produits biologiques pathogènes**, présents dans les appareils d'hygiène usagés, les réfrigérateurs, les sacs d'aspirateurs, les filtres de climatiseurs, etc. Ils peuvent provoquer des affections respiratoires ou digestives (INRS, 2021, Forti et al., 2020).

Les postes les plus exposés sont ceux du démantèlement, de la dépollution et du broyage. Les travailleurs devraient avoir des formations spécifiques sur le processus de

dépollution et la santé et la sécurité en général. Les gestionnaires de site doivent également être conscients de la nécessité de mettre en place une politique de santé et de sécurité appropriée et de procéder aux évaluations des risques requises.

3.3 Exposition des communautés

Les femmes et enfants vivent, travaillent et jouent dans ou à proximité des sites informels de recyclage de déchets d'équipements électriques et électroniques. Ces communautés peuvent être exposées en inhalant des fumées toxiques et des particules de matière, par contact cutané avec des agents corrosifs et des produits chimiques, et en ingérant de la nourriture et de l'eau contaminées. Les enfants sont également confrontés à des risques liés à d'autres voies d'exposition. Certains produits chimiques dangereux peuvent être transmis de la mère à l'enfant pendant la grossesse et l'allaitement. Les jeunes enfants qui jouent dehors ou dans la nature portent souvent à la bouche leurs mains, des objets et de la terre, ce qui augmente le risque d'exposition. Les fœtus, les nourrissons, les enfants et les adolescents sont particulièrement vulnérables aux dommages causés par l'exposition aux substances toxiques contenues dans les déchets d'équipements électriques et électroniques en raison de leur physiologie, de leur comportement et des autres voies d'exposition (Landrigan & Goldman 2011; Pronczuk de Garbino 2004 ; Forti et al., 2020).

Des études ont montré que l'exposition au recyclage non-écologiquement rationnel des DEEE entraîne des problèmes à la naissance (fausse couche, naissance prématurée, faible âge gestationnel, faible poids et faible taille à la naissance, et faible indice d'Apgar), une augmentation ou une diminution de la croissance, des troubles du développement neurologique, des problèmes d'apprentissage et de comportement, et des effets sur le fonctionnement du système immunitaire et la fonction pulmonaire. Il ressort en outre de quelques études que l'exposition au recyclage informel des DEEE peut entraîner des dommages à l'ADN, une modification de l'expression des gènes, une modification de la régulation cardiovasculaire, une coagulation sanguine rapide, une perte auditive et des effets sur la mémoire olfactive, des effets sur la fonction hépatique et sur la glycémie à jeun, des troubles de l'appareil reproducteur et de l'appareil génital masculins, et des effets sur la qualité du sperme (Forti et al., 2020).

Les différentes substances chimiques contenues dans les déchets d'équipements électriques et électroniques, telles que le plomb, le mercure, le cadmium, le chrome, les PCB, les PBDE et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), sont connues pour avoir de graves répercussions sur presque tous les systèmes organiques (Grant et al. 2013).

3.4 Focus : POP-PBDE

Les risques sanitaires associés aux POP-PBDE ont fait l'objet de plusieurs études et d'évaluations, résumés dans UNEP et Convention de Stockholm, 2012. Les POP-PBDE sont **persistants** dans l'environnement, **bioaccumulables**¹⁵ et présentent un potentiel élevé de **propagation à longue distance dans l'environnement**. Les problèmes de santé connus pour être associés aux congénères PBDE comprennent les problèmes de la glande thyroïde, l'altération de la structure du foie et des reins, des tumeurs se développant dans les tissus hépatiques. La suppression immunitaire a également été indiquée comme un problème de santé possible. Plus récemment, il a été suggéré que les PBDE sont des perturbateurs endocriniens, les femmes qui ont été exposées subissant une perturbation du cycle menstruel et des difficultés accrues lors de la conception (O'Driscoll, 2016).

¹⁵ Les programmes de surveillance de l'environnement en Europe, en Asie, en Amérique du Nord et dans l'Arctique ont trouvé des traces de plusieurs PBDE dans le lait maternel humain, les poissons, les oiseaux aquatiques et ailleurs dans l'environnement. Les congénères particuliers, les éthers diphényles tétra- à hexabromés, sont les formes les plus fréquemment détectées chez les animaux sauvages et les humains. Source : <https://www.who.int/ceh/capacity/POPs.pdf>

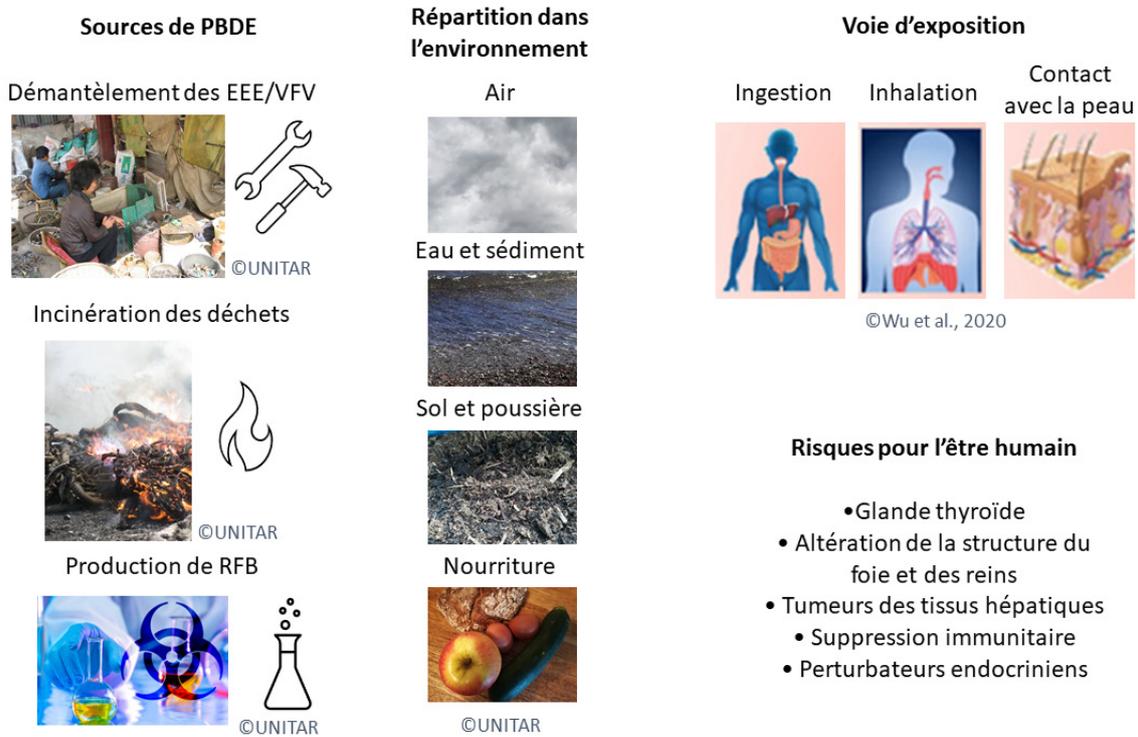


Figure 14 – Vue d'ensemble des sources, répartition environnementale, voie d'exposition et principaux risques pour l'être humain des PBDE (élaboration UNITAR à partir de : Wu et al., 2020 ; Jiang et al., 2019 ; InCompliance, 2019)

Dans certaines régions, les expositions actuelles de POP-PBDE se trouvent déjà à des niveaux où les effets nocifs sur la santé sont mesurés dans les études épidémiologiques. L'examen technique des implications du recyclage du c-pentaBDE et c-octaBDE a conclu que les groupes suivants sont considérés à haut risque:

- Les travailleurs impliqués dans des procédés de traitement des DEEE à faible technologie ;
- Ceux qui vivent dans les zones des pays en voie de développement/transition où des opérations intensives et à faible technologie sont effectuées sur les DEEE ;
- Les travailleurs impliqués dans la fabrication, le recyclage et l'installation des matériaux contenant de la mousse PUR ;
- Les travailleurs des fonderies et d'autres industries de transformation des DEEE (éventuellement exposés aux PBDE des cartes de circuits imprimés ou du plastique DEEE, et les dibenzo-p-dioxines et dibenzofuranes polybromés connexes (rejets de PBDD/PBDF) ;

- Les femmes en âge de procréer et celles qui sont enceintes, en raison des effets neurodéveloppementaux sur le fœtus ;
- Les nouveau-nés et les nourrissons allaités, en particulier dans les pays ou dans les localités où les charges corporelles en polluants sont déjà élevées (UNEP et Convention de Stockholm, 2012).

Des émissions de PBDE peuvent provenir d'activités de recyclage, de démantèlement et de broyage des DEEE (et véhicules). Les pratiques élémentaires de récupération des matériaux et d'élimination de ces déchets (tel que le brulage à l'air libre) utilisées principalement dans le secteur informel peuvent dès lors être une source de contamination et exposer les recycleurs et la population globale aux contaminants. D'autres POP, tels que les dioxines et furanes peuvent également être générés lors de l'incinération d'articles contenant des PBDE (UNEP et Convention de Stockholm, 2012 ; UNEP, 2006), notamment les câbles ou autres pièces en plastique.

Outre les problèmes d'exposition humaine et de contamination de l'environnement, le recyclage et/ou l'élimination des déchets de ces flux de déchets peuvent également générer des problèmes de sécurité (par exemple, risque d'atmosphères explosives pendant le traitement de mousse PUR, en particulier le déchiquetage) (UNEP et Convention de Stockholm, 2017, p.16).

4. Considérations économiques

4.1 Viabilité économique du traitement des DEEE

Comme mentionné précédemment, une grande variété de matériaux et de plastiques¹⁶ de valeur³¹ sont contenus dans les appareils électriques et électroniques. Jusqu'à 69 éléments du tableau périodique peuvent être trouvés dans les EEE, y compris les métaux précieux (par exemple l'or, l'argent, le cuivre, le platine, le palladium, le ruthénium, le rhodium, l'iridium et l'osmium), les matières premières critiques (MPC) (par exemple le cobalt, le palladium, indium, germanium, bismuth et antimoine) et des métaux non critiques, tels que l'aluminium et le fer, ainsi que des plastiques pouvant être recyclés (Forti et al., 2020).

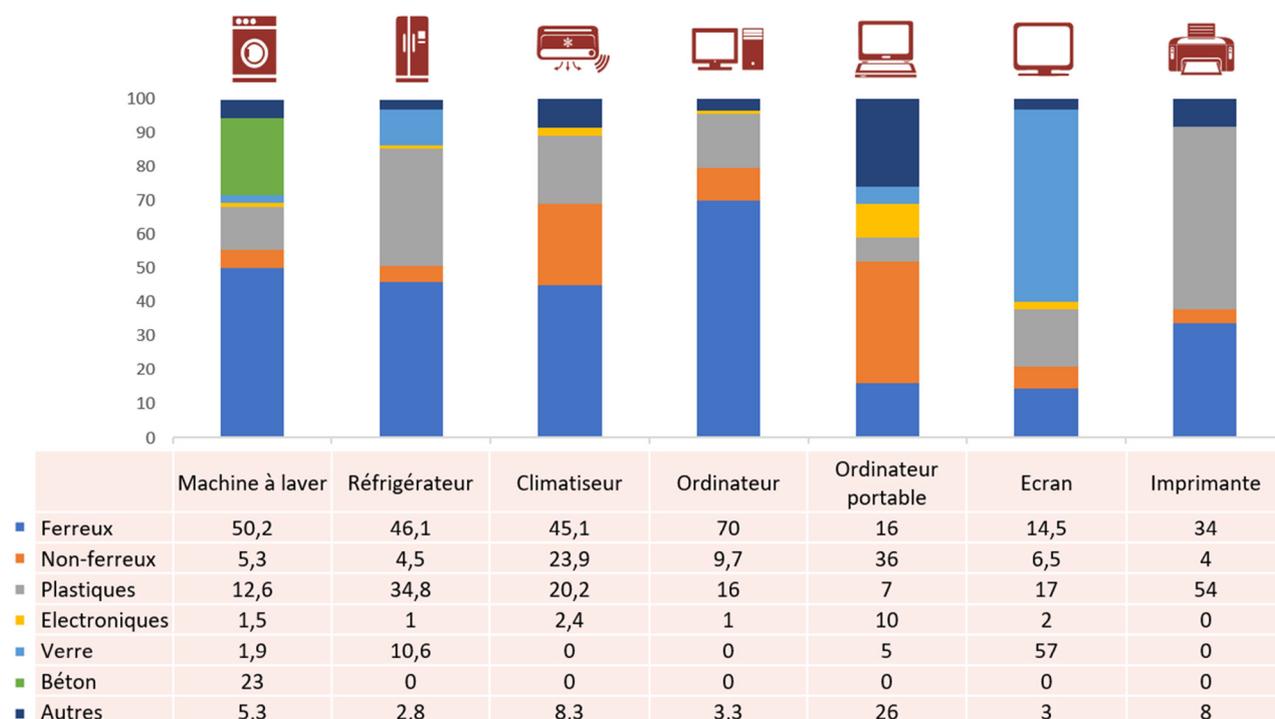


Figure 15 – Principaux matériaux valorisables par flux de déchets électroniques (élaboration UNI-TAR à partir de: Swico Technical reports ; Wang, F., 2014.)

En raison de la présence de ces matériaux de valeur, la gestion des DEEE peut donc être une opportunité pour les entrepreneurs de créer des entreprises de recyclage durables et de créer des emplois verts. Cependant, la viabilité économique de la collecte et du recyclage des déchets électronique dépend d'un ensemble de facteurs :

¹⁶ Les types de plastiques les plus courants sont ABS, HIPS, polystyrène (PS), polypropylène (PP), PUR, et polyamide (PA).

- La qualité de la **stratégie de collecte** des différents flux de DEEE (ménages, collectivités, entreprises, etc.). Une enquête réalisée en 2011 (Basel Convention/UNEP/EMPA, 2011) révélait que les consommateurs en Côte d'Ivoire stockent une grande quantité d'EEE de seconde main et de DEEE, et qu'une partie de ces équipements est jetée avec les autres ordures ménagères. Il est primordial de collecter ces DEEE afin d'éviter qu'ils ne terminent en décharge d'ordures ménagères car, en plus de représenter un risque environnemental et sanitaire, cela représente une perte économique pour les recycleurs.
- **La composition de l'EEE et le rendement de recyclage pour différentes fractions.** Les métaux de base (par exemple l'or) utilisés dans certains appareils, tels que les téléphones portables et les PC, ont un niveau de concentration relativement élevé : 280 grammes par tonne de déchets électroniques. Les méthodes employées pour séparer et recycler les déchets électroniques peuvent être économiquement viables, en particulier si elles sont effectuées manuellement, lorsque les pertes de matière sont inférieures à 5% (Deubzer, 2007). La collecte et le recyclage séparés des déchets électroniques peuvent donc être économiquement viables pour les produits contenant des concentrations et des teneurs élevées en métaux précieux. Néanmoins, le taux de recyclage de la plupart des MPC est encore très faible et peut être amélioré pour les métaux précieux par une meilleure collecte et un meilleur prétraitement des DEEE (Forti et al., 2020).
- **Le prix d'achat/vente à un moment donné des matières premières secondaires et/ou fractions**, qui dépend lui-même de la demande, du prix des matériaux vierges, des accords commerciaux en place entre les différents partenaires, etc. Pour chacune des fractions obtenues, des partenaires en aval doivent être trouvés. Certaines fractions, comme le cuivre, l'acier et l'aluminium, peuvent généralement être traitées localement. Pour d'autres fractions comme les circuits imprimés, il existe un marché mondial aux caractéristiques assez volatiles où les prix proposés pour la même fraction peuvent varier jusqu'à 40% en un an (GIZ, 2019).
- **Les divers coûts de la collecte, du transport, du stockage, du tri, du traitement et du recyclage.** Pour certains appareils, tels que les ordinateurs de bureau ou les ordinateurs portables, les revenus des différentes fractions provenant du démantèle-

ment peuvent couvrir les coûts de traitement. Mais pour un certain nombre d'autres appareils, comme les dispositifs CRT, les dépenses de démantèlement et les coûts d'élimination sont généralement plus élevés que les revenus réalisables (GIZ, 2019). Les composants contenant des POP font partis des fractions à valeur négative, il est donc nécessaire de mettre en place un système de financement spécifique pour couvrir les couts de traitement de ce type de fractions (voir section suivante). Selon la localisation de l'installation, les coûts de transport des fractions de production vers les différents partenaires en aval (installations de valorisation ou d'élimination des matières) au niveau national, régional et international peuvent réduire considérablement les revenus potentiels (GIZ, 2019). En fonction des coûts de main-d'œuvre locaux et des usines de recyclage mécanique existantes dans la région, il peut être nécessaire de démanteler les appareils en autant de fractions pures que possible ou d'appliquer une stratégie de démantèlement plus superficielle axée uniquement sur la dépollution et de laisser la séparation des matériaux aux usines de recyclage mécanique (GIZ,2019).

Opportunités économiques en Côte d'Ivoire

Si les DEEE (et les rebuts issus des VFV) sont traités dans les circuits de recyclage et selon les méthodes qui conviennent, cela représenterait une opportunité de créer au moins 200 nouveaux emplois directs décents (10 communes x 20 coopérateurs par commune), "propres et verts" aussi bien pour les femmes que pour les hommes.

Le coût d'achat de l'aluminium est de 500 Francs CFA/Kg et le prix à la revente est de 650 Francs CFA/Kg. Par exemple 500 Kg de ferraille coute à l'achat 250 000 Francs CFA, plus les frais de transport de 15 000 Francs CFA, les frais de chargement et de déchargement de 4,000 Francs CFA et la pesée qui est facturée à 5 Francs CFA/Kg soit 2 500 Francs CFA pour un chiffre d'affaire de 325 000 Francs CFA (soit un bénéfice net de 53,500 Francs CFA). La vente de ferraille aux industriels est plus lucrative pour les femmes mais elle nécessite d'avoir de gros stocks donc beaucoup de moyen (Appia, 2020).

Il est primordial pour l'industrie du recyclage de prendre en compte ces différents aspects afin de s'assurer que le traitement des DEEE, en plus d'être écologiquement rationnel, soit économiquement viable.

Le développement d'un plan d'affaire (business plan)¹⁷ et une gestion des risques prenant en compte une série de facteurs différents - tels que les conditions-cadres juridiques, le flux et le mélange potentiels d'équipements, le personnel et l'infrastructure requis, les marchés en aval ainsi que les mise en place de l'installation - permettra de planifier stratégiquement la chaîne de gestion des DEEE.

4.2 Système de financement du traitement des DEEE

Avant toute mise en œuvre d'un système de gestion des déchets, il est primordial de déterminer le système de financement, en particulier définir ce qui doit être financé, comment, et par qui. Le but est de disposer d'un financement adéquat pour assurer un traitement écologiquement rationnel et mettre en œuvre des activités en aval pour l'ensemble des déchets produits dans le pays au cours d'une période donnée. Idéalement, le système de financement couvre également des activités de soutien plus larges, notamment la surveillance et la mise en œuvre, ainsi que la sensibilisation et la recherche. Le mécanisme par lequel les parties prenantes contribuent financièrement aux différentes activités varie et de nombreux modèles existent. Pour les pays en développement en particulier, les objectifs du système, les domaines d'intervention et les principes choisis doivent être traduits en une configuration de financement de base qui correspond aux ambitions. Le financement détermine dans une large mesure les responsabilités des parties prenantes concernées aux niveaux local, national, régional et mondial (Goodship et al., 2019). Le législateur de Côte d'Ivoire devrait décider du meilleur modèle pour le pays, en se basant sur une évaluation approfondie au niveau national.

¹⁷ **Etapes clés pour le développement d'un Plan d'Affaire d'une station de traitement (Source : GIZ, 2019) :**

1. Analyse des conditions-cadres juridiques
2. Obtenez des informations sur la production et les flux massiques de déchets électroniques dans la région
3. Analyse des parties prenantes (y compris les concurrents potentiels)
4. Estimation de l'apport potentiel (quantités et combinaison d'appareils)
5. Définition des coûts d'achat potentiels et/ou des frais de recouvrement
6. Planification des modes de collecte et, le cas échéant, du transport des appareils
7. Développement de la chaîne de processus et des étapes de démantèlement appliquées en tenant compte des quantités d'intrants attendues et du mélange de matériaux
8. Planification du personnel, du matériel et des infrastructures nécessaires
9. Estimation des fractions de production attendues (composition et quantités des matériaux)
10. Identification des options potentielles en aval pour les fractions dangereuses et recyclables
11. Conception de l'aménagement de l'usine en tenant compte de l'espace requis pour le stockage, les lieux de travail, le transport interne et les bureaux
12. Élaboration d'accords de coopération avec des partenaires en aval (y compris les options de transport)
13. Définition des coûts (coûts d'investissement et frais de fonctionnement)
14. Calcul des revenus

D'un point de vue général, trois principaux acteurs pourraient assumer la responsabilité financière des produits électroniques en fin de vie (Gregory et al., 2009) :

- **Producteurs** : il s'agit de la mise en œuvre de divers degrés du principe de la responsabilité élargie des producteurs. On peut faire valoir que même si un producteur peut assumer la responsabilité financière « en vertu de la loi », les clients finiront par payer les coûts de fin de vie sous forme d'augmentation du prix du produit, même si aucun frais externe initial n'est payé au moment de la vente.
- **Consommateurs** : cela peut être considéré comme une mise en œuvre du « principe pollueur-payeur », selon lequel le pollueur est reconnu comme la personne responsable de la mise au rebut d'un appareil en fin de vie (ou de l'achat de l'appareil plusieurs années auparavant). En pratique, cela consiste à inclure une contribution de recyclage anticipée dans le prix d'achat de tous les EEE.
- **Toute la société** : comme les déchets électroniques sont un problème de société, ayant un impact non seulement sur les consommateurs mais aussi sur l'ensemble de la population (à la fois en termes d'impacts environnementaux et sociétaux), on peut également affirmer que les systèmes pourraient être financés par l'ensemble de la société (c'est à dire par les contribuables) (Gregory et al., 2009).

4.3 Le potentiel des DEEE dans une économie circulaire

Pour améliorer la gestion environnementale des DEEE, contribuer à une économie circulaire et accroître l'efficacité des ressources, il est essentiel d'améliorer la collecte, le traitement et le recyclage des produits électroniques en fin de vie.

Dans le modèle d'une **économie circulaire**, l'ensemble de déchets d'équipements électriques et électroniques doit être considéré comme une source importante de matières premières secondaires. En raison des problèmes liés à l'extraction minière primaire, des fluctuations des prix du marché, de la rareté des matériaux, de leur disponibilité et de l'accès aux ressources, il est devenu nécessaire d'améliorer l'extraction des ressources secondaires et de réduire la pression qui s'exerce sur les matériaux vierges. En recyclant les DEEE, les pays pourraient au moins limiter de manière sûre et durable leur demande en matériaux (Forti et al., 2020).

Selon le Global E-waste Monitor 2020, la demande mondiale en matières premières pour la production de nouveaux produits électroniques est estimée à 39Mt. Dans un scénario idéal – c'est-à-dire si 100% des DEEE produits dans le monde étaient recyclés et que le recyclage de toutes les matières premières sélectionnées¹⁸ était économiquement viable (voire possible) grâce aux technologies de recyclage actuellement disponibles – il serait possible de récupérer 25Mt des principales matières premières contenues dans les DEEE. Ainsi, même dans un scénario idéal, 14Mt de matière provenant de ressources primaires seraient encore nécessaire pour fabriquer de nouveaux appareils électroniques (Forti et al., 2020).

Etant donné que le taux de collecte et de recyclage officiel s'établit actuellement à 17,4%, il est possible de récupérer une valeur de 10 milliards USD de matières premières à partir des DEEE, et d'obtenir une quantité de 4Mt de matières premières secondaires pour le recyclage (Forti et al., 2020). Ramené à l'échelle de la Côte d'Ivoire, considérant une génération de DEEE d'environ 30kt par an, cela correspondrait à 2,5kt de matières premières et 5,6 millions USD (3,020 millions de Francs CFA).

S'agissant de la réduction des émissions, en prenant le seul exemple du fer, de l'aluminium et du cuivre, et si l'on compare les émissions résultant de leur utilisation en tant que matières premières vierges ou matières premières secondaires, le recyclage de ces matériaux a permis d'économiser jusqu'à 15Mt d'émissions en équivalent CO₂ en 2019 à l'échelle mondiale (Forti et al., 2020).

Afin de récolter efficacement les ressources à travers cette « mine urbaine », il est nécessaire de surmonter le modèle économique inefficace du « je prends, j'utilise, je jette » et d'adopter le système d'économie circulaire qui vise à maintenir la valeur des produits le plus longtemps possible et à éliminer les déchets. Les modèles d'économie circulaire devraient permettre l'augmentation de la valeur des EEE lorsqu'ils deviennent des déchets, tout en réduisant les pressions environnementales liées à l'extraction des ressources, aux émissions et aux déchets. Fermer la boucle des matériaux implique la réduction du besoin en nouvelles matières premières, en élimination des déchets et en énergie, tout en créant une croissance économique, de nouveaux emplois « verts » et des opportunités commerciales (Baldé et al., 2017).

¹⁸ Métaux précieux (par exemple, or, argent, cuivre, platine, palladium, ruthénium, rhodium, iridium et osmium) et matériaux critiques (par exemple, cobalt, palladium, indium, germanium, bismuth et antimoine).



Figure 16 – Modèle simplifié de l'économie circulaire ©ADEME (ADEME, 2021)

Un modèle d'économie circulaire repose sur un ensemble de conditions préalables que les pays doivent mettre en œuvre :



- Proposer une législation pour **promouvoir des modèles d'économie circulaire** dans lesquels les déchets électroniques sont traités comme une ressource plutôt que comme un déchet. Cette approche devrait être prise en considération par le législateur de Côte d'Ivoire.



- **Promouvoir la réutilisation, la réparation, la redistribution et la remise à neuf** avant le recyclage des matériaux. Comme précédemment mentionné ces pratiques sont déjà largement mises en œuvre en Côte d'Ivoire grâce aux collecteurs, réparateurs, démantelers, recycleurs. Des campagnes de sensi-

bilisation auprès des communautés et des travailleurs permettraient de promouvoir encore d'avantage ces pratiques.



- Mettre en place un **système de gestion efficace** pour éviter que les déchets électroniques ne pénètrent dans d'autres canaux, tels que les ordures ménagères ou le recyclage non conforme aux normes. Des matériaux précieux sont facilement perdus en raison de processus de séparation et de traitement imparfaits. Des campagnes de sensibilisation auprès des consommateurs (ménages et gros consommateurs) et travailleurs (collecteurs, recycleurs) sont primordiales afin d'expliquer l'importance du tri approprié des DEEE et de la nécessité d'une collecte différenciée.



- **Optimiser la conception des EEE** pour permettre le démontage et la réutilisation des composants, ou la récupération de matériaux de valeur et métaux précieux. Très souvent, il est plus coûteux de réparer un article (comme les téléphones portables ou les ordinateurs portables) que d'en acheter un nouveau. De plus, les matériaux utilisés et la conception des EEE rendent le recyclage difficile, car ils sont conçus à l'aide de composés dangereux tels que les lampes au mercure dans les écrans LCD, le PVC, les retardateurs de flamme et d'autres additifs toxiques dans les composants en plastique (Baldé et al., 2017). Cet aspect est à prendre en compte au niveau des producteurs d'EEE (donc peu applicable en Côte d'Ivoire).

5. Bonnes pratiques dans la gestion écologiquement rationnelle des DEEE

Un traitement approprié des DEEE permet de protéger l'environnement, ainsi que la santé et la sécurité des travailleurs et communautés environnantes, et offre des opportunités de récupération des ressources et de la valeur en termes de pièces de rechange et de matériaux recyclables.

Le processus de gestion des DEEE comprend trois étapes principales :

1. Collecte, transport, stockage
2. Pré-traitement/préparation (dépollution, démantèlement, tri)
3. Traitement et élimination.

Une fois qu'un EEE arrive à sa fin de vie et est collecté, les pièces de rechange peuvent être récupérées pendant le processus de démontage pour faciliter la réutilisation de ces pièces avec ou sans réparation supplémentaire. Après une dépollution et un démantèlement appropriés des DEEE, les fractions non réutilisables passent par un processus de déchiquetage et de tri résultant en des fractions de différents métaux ferreux et non ferreux, plastiques, verre, etc. pour le recyclage des matériaux. En fonction de l'infrastructure disponible dans le pays - des fonderies secondaires et des recycleurs de plastique - les fractions recyclables peuvent être récupérées en tant que matières premières destinées à l'industrie nationale. Si de telles infrastructures n'existent pas dans le pays, les fractions recyclables devraient être exportées à l'étranger. Le cycle de vie et de gestion des DEEE est illustré dans la figure ci-dessous.

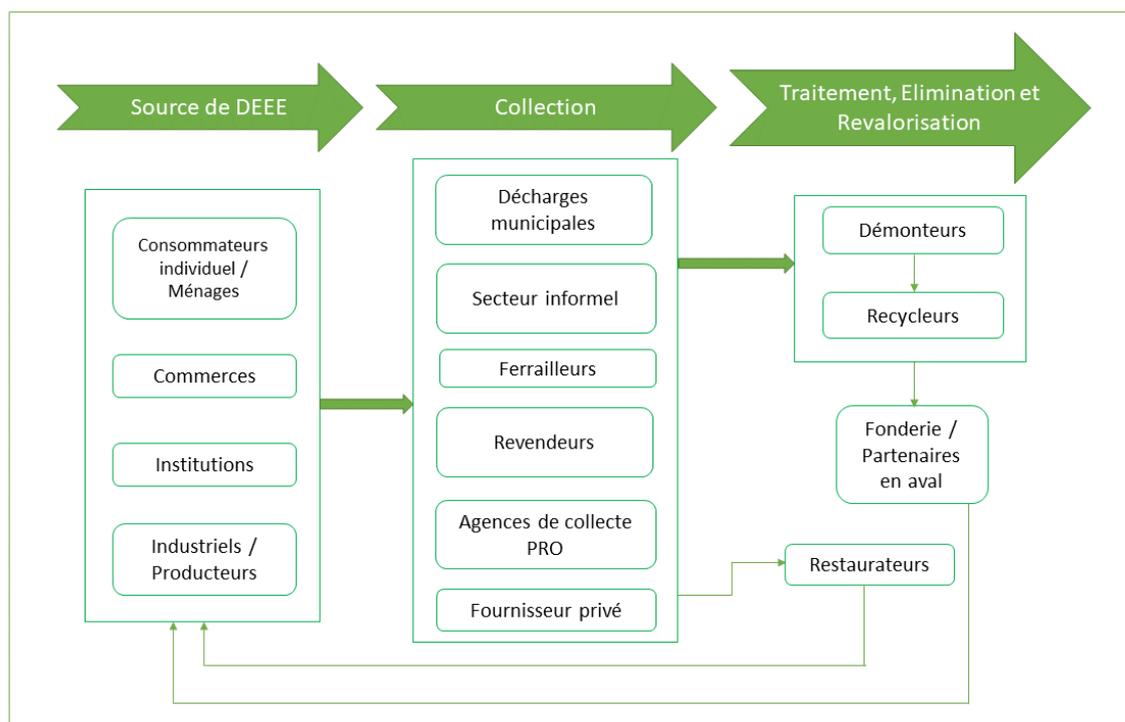


Figure 17 – Illustration globale du cycle de vie et de gestion des DDEE (élaboration UNITAR)

Ce chapitre présente les bonnes pratiques en matière de collecte, transport, stockage et manutention des DDEE et leurs fractions (section 1) ; les exigences d'un site de traitement (section 2) ; les équipements de protection individuelle et outils nécessaires pour la manipulation et le démantèlement des DDEE (section 3) ; le démantèlement de différents types d'équipements et composants (section 4) ; et l'élimination des DDEE (section 5). Enfin, la dernière section (6) se focalise sur le traitement spécifique des composants de DDEE contenant des POP.

5.1 Collecte, transport, stockage et manutention des DDEE et leurs fractions

5.1.1 Collecte

Modèles de collecte

Il existe différents modèles de collecte :

- **Collecte formelle** : Les modèles de collecte suivants sont exploités par des opérateurs de canaux de collecte formels :
 - ▷ Porte à porte : plus courant pour les déchets solides et autres matières recyclables. Pour les DEEE, la collecte à domicile peut être assurée certains jours spécifiques de l'année.
 - ▷ Déchets encombrants : généralement fournie par les autorités locales certains jours spécifiques de l'année pour la collecte de tous les types de déchets qui ne sont pas collectés par d'autres canaux.
 - ▷ Sites de dépôt : points de collecte, boîtes ou bacs DEEE où les DEEE peuvent être déposés directement par les consommateurs.
 - ▷ Collecte au détail : en fonction de la législation nationale, les détaillants d'EEE peuvent ou doivent reprendre les DEEE aux consommateurs, au moins pour les types de produits qu'ils vendent. Dans le cas d'une obligation légale, cette reprise se fait généralement gratuitement (ou parfois contre compensation). Les échanges sont également courants chez les détaillants, qui offrent des remises sur les nouveaux achats en échange d'anciens produits.
 - ▷ Collecte à la demande : souvent utilisée par les gros consommateurs avec des volumes plus importants de DEEE à éliminer. Cela peut inclure des appels d'offres de stock de DEEE au plus offrant, qui mettent l'accent sur la maximisation des revenus plutôt que sur les résultats environnementaux.

- **Collecte du secteur informel** : les collecteurs du secteur informel collectent les DEEE à tous les points de la chaîne de valeur. Les modèles de collecte dans le secteur informel comprennent le porte-à-porte pour collecter les DEEE avec d'autres matières recyclables, la collecte des DEEE dans les déchets mélangés, le tri des décharges et d'autres lieux de stockage des DEEE.

La collecte du secteur informel fournit un réseau efficace et étendu pour la collecte, il est donc nécessaire de relier la collecte du secteur informel aux canaux formels de traitement.

Catégories de collecte

Les DEEE sont généralement classés par catégories. Conformément à la Directive européenne sur les DEEE (Parlement européen, 2012), ils peuvent être classés dans les catégories suivantes :



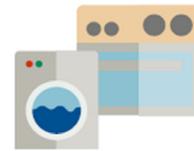
Equipements d'échanges
thermique



Ecrans et moniteurs



Lampes



Gros équipement



Petits équipement



Petits équipements informatiques
et de télécommunication

Équipement typique nécessaire dans un centre de collecte

Balance pour enregistrer le poids des DEEE entrant et sortant du centre de collecte. La balance doit idéalement être facile à déplacer, avec capacité de peser au moins jusqu'à 200 kg.



Figure 18 – Balance portable ©Deepali Sinha Khetriwal

Bouche d'incendie et/ou extincteurs en cas d'incendie.



Figure 19 – Extincteur

Des récipients/bacs pour le stockage de composants de différentes tailles et de différents matériaux. Des cages métalliques et les contenants en plastique sont couramment utilisés.



Figure 20 – Petits bacs plastiques ©Dea Wehri



Figure 21 – Cage métallique pliable et empilable ©Deepali Sinha Khetriwal



Figure 22 – Grand conteneur en plastique pour la manutention avec chariots élévateurs ©Deepali Sinha Khetriwal

5.1.2 Transport

Un ensemble de mesures doivent être mises en œuvre pour le transit et le mouvement des DEEE entre les sites de collecte, de traitement et le recycleur afin d'assurer la sécurité du chargement, mais également du véhicule et des personnes :

- L'emballage pour le transport doit être suffisant pour éviter les dommages et les déversements. Des palettes, des sacs et des boîtes en carton sont souvent utilisés en fonction du type de produits. Pour les marchandises plus volumineuses, un empilage approprié avec l'emballage est essentiel pour garantir que les marchandises ne soient pas abimées ou cassées pendant le transport.
- Le chargement et le déchargement doivent être effectués avec soin et en utilisant des outils et des équipements appropriés (par exemple pour le levage).
- Idéalement, un transport couvert permet d'éviter que les marchandises ne soient renversées, déplacées ou endommagées pendant le transport. Si des supports fermés ne sont pas disponibles, les marchandises peuvent également être entièrement recouvertes d'une bâche et fixées avec des cordes.
- Respecter la charge maximum du véhicule, éviter la surcharge. De plus, il est recommandé d'équilibrer la charge uniformément sur le véhicule de manière à ce qu'il y ait un mouvement minimum de la charge pendant le transport.
- La présence d'un extincteur portatif dans le transport est une bonne pratique par mesure de précaution contre tout risque d'incendie potentiel pendant le transport.
- Les transporteurs doivent obtenir une autorisation préalable pour la collecte et le transport de déchets dangereux.



Figure 23 – Exemple de bonnes pratiques de transport des DEEE ©UNITAR



Figure 24 – Exemple de bonnes pratiques de collecte et transport des téléphones mobiles par l'ONG MESAD¹⁹ ©MESAD

¹⁹ Exemple de bonnes pratiques de l'ONG MESAD dans le cadre du Projet de collecte et de recyclage des déchets issus des Téléphones Mobiles en fin de vie dans le district d'Abidjan.

5.1.3 Stockage

Un stockage suffisant et organisé est important pour stocker les matériaux entrants, les matériaux en traitement, et les fractions triées et séparées en attente d'expédition pour un traitement ultérieur. Les opérations de stockage doivent être effectuées en évitant d'endommager les composants contenant des fluides et gaz ou les composants récupérables et les pièces de rechange.

Zones de stockage

Les zones de stockage doivent :

- Être organisées et entretenues de manière à assurer un accès et une sortie en toute sécurité de l'installation de collecte.
- Être sécurisées, pour éviter les dommages et le vol des DEEE et des composants et pour éviter l'accès par des personnes non autorisées.
- Avoir des surfaces imperméables résistantes aux intempéries - toit, conteneurs fermés ou couverts - où les équipements d'échange de température, les appareils d'affichage CRT, les écrans plats et les lampes sont entreposés.
- Avoir une bonne signalisation indiquant les zones spécifiques pour la collecte des catégories de produits DEEE.



Figure 25 – Exemples de bonnes pratiques de stockage des DEEE et leurs fractions ©UNITAR



Figure 26 – Stockage des déchets électroniques dans un bac métallique correctement empilé dans une installation de démantèlement ©Deepali Sinha Khatriwal



Figure 27 - Exemples de bonnes pratiques de stockage des DEEE par l'ONG MESAD ©MESAD



Figure 28 – Stockage des déchets électroniques dans des cartons sous zone couverte avec sol en béton, marquage/signalisation, et ventilation ©Deepali Sinha Khetriwal

Durée de stockage

- Les déchets doivent être stockés au maximum un an avant leur élimination ou trois ans avant leur valorisation (Defra, 2006) afin d'éviter le risque de fuites suite à un stockage prolongé et le risque de non-traitement de grandes quantités de déchets en cas de mise hors service de l'entreprise.
- La quantité maximale de déchets dangereux triés et séparés stockée sur le site ne doit pas dépasser plus de 10% de la capacité de stockage de l'installation à un moment donné, et pas plus de 1 tonne ne doit être stockée pour élimination, selon la valeur la plus basse. Cela n'inclut pas les DEEE en attente de tri manuel, de démontage manuel, de réparation ou de remise à neuf.

Stockage des déchets et fractions dangereuses

Des équipements et des infrastructures environnementaux sont nécessaires pour le confinement et le stockage des déchets, en particulier des déchets dangereux et liquides.

- Des boîtes de collecte et de stockage correctement étiquetées doivent être placés à proximité des tables de démontage pour la séparation et le stockage des composants démontés. Chaque boîte doit être facilement accessible et remplaçable lorsqu'elle est pleine pour garantir la mise en œuvre d'un processus logistique interne fluide.
- Les déchets et fractions dangereuses (batteries, condensateurs contenant des PCB, lampes, y compris à partir d'écrans LCD, toners, plastiques contenant des RFB) doivent être placés dans des boîtes de stockage spécifiques dans une zone désignée avec un rayonnage approprié pour y placer les boîtes (sacs, big-bags, caisses, palettes, poubelles, etc.).
- Les déchets liquides doivent être collectés dans des boîtes de stockage d'une capacité suffisante avec des couvercles hermétiques et stockés dans une zone avec des sols imperméables et des structures de toit adéquates pour éviter les déversements.
- Les déchets inflammables (par exemple batteries et plastiques), doivent être stockés correctement dans un endroit séparé et bien ventilé pour éviter les incendies.



Les déchets dangereux ne doivent pas être mélangés, ni avec une catégorie différente de déchets dangereux, ni avec d'autres déchets, substances ou matériaux.



Figure 29 – Fûts spéciaux pour le stockage et la manipulation des condensateurs et accumulateurs considérés comme des déchets dangereux ©Deepali Sinha Khetriwal

Une manipulation correcte des DEEE peut aider à minimiser les risques et les accidents. Des outils appropriés pour le démontage manuel, en particulier pour la décontamination et le retrait des composants dangereux (par exemple, batteries, condensateurs, plastique RFB) et des composants/fractions de grande valeur (par exemple les cartes de circuits imprimés) sont importants pour assurer une manipulation sûre et appropriée.

Une bonne manipulation peut :

- Minimiser les rejets de substances dangereuses dans l'environnement en raison des bris et des fuites pendant la manipulation et le transport, en particulier pendant le chargement et le déchargement. Les bris peuvent être évités en utilisant des conteneurs appropriés - boîtes en carton, palettes, sacs et cages, ainsi que des équipements de manutention tels que des chariots élévateurs et des chariots à roulettes. Une attention particulière est nécessaire pour la manipulation de produits tels que les écrans et les lampes qui contiennent du verre et qui peuvent être brisés en libérant des substances dangereuses lorsqu'ils sont endommagés ;
- Maximiser le potentiel de réutilisation/rénovation en prévenant les dommages qui réduisent le potentiel de réutilisation ou causent des dommages irréparables. Les emballages de protection tels que les boîtes en carton, l'empilage et le stockage appropriés à l'abri de la pluie, de l'humidité, de la poussière et des températures extrêmes préviennent les dommages ;
- Soutenir les bonnes pratiques d'entretien en effectuant des contrôles réguliers et continus des matériaux stockés ;
- Améliorer l'ergonomie lors de la manipulation des DEEE et limiter les accidents/douleurs liés aux conditions de travail. Les tables de démontage doivent être d'une hauteur et d'une taille appropriées adaptées à l'équipement à démonter. L'utilisation de gants, le port de chaussures et de lunettes de sécurité appropriées réduisent le risque de blessure pour les travailleurs. L'utilisation de chariots à roulettes et char-

lots élévateurs appropriés, réduit les accidents dus au levage, au déplacement, au chargement/déchargement de charges lourdes ;

- Favoriser un tri et une séparation efficaces des DEEE en fractions de valeurs et fractions dangereuses. Cela impliquera de trier les produits et les fractions dans des conteneurs et zones dédiés et d'éviter l'élimination des produits/fractions de manière inappropriée (par exemple l'élimination des piles dans les déchets généraux).



Figure 30 – Chariot de manutention

5.2 Installation de traitement des DEEE

Idéalement, les DEEE ne devraient être gérés que par des centres de traitement agréés, qui devraient avoir la capacité de dépolluer et de mettre au rebut les DEEE conformément aux directives environnementales et de sécurité appropriées.

Dans de nombreux cas, en particulier dans les pays qui développent leur infrastructure de gestion des déchets, la collecte et le traitement des DEEE sont dominés par le secteur informel, qui n'est ni enregistré ni autorisé. Dans le cas où il y aurait un secteur informel actif ou dominant, la feuille de route devrait être de formaliser le secteur, avec des connexions et des liens plus étroits avec les centres de traitement agréés pour canaliser les produits et les fractions qui nécessitent un traitement et une transformation contrôlés. **Le secteur informel peut effectuer le démontage manuel et le prétraite-**

ment de la plupart des produits, mais les processus qui incluent la combustion, le chauffage, la fusion et les traitements chimiques ne doivent pas être effectués dans le secteur informel.

5.2.1 Zones de travail

Différents types d'activités sont menées dans un site de traitement des DEEE, c'est pourquoi il doit avoir différentes zones de travail.

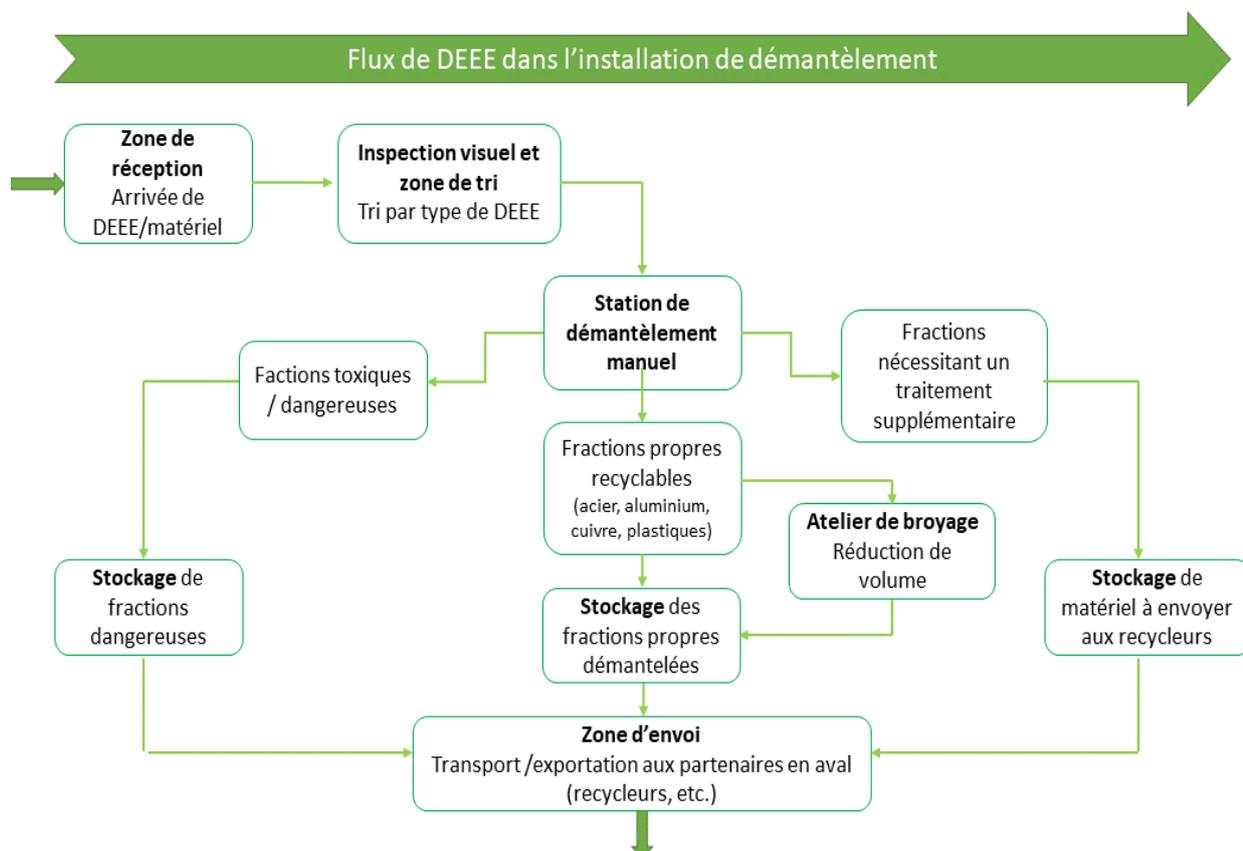


Figure 31 – Flux de DEEE dans l'installation de démantèlement (élaboration UNITAR)

En particulier, un centre de traitement doit avoir :

- **Un espace de bureau** (pour les tâches administratives telles que la tenue de registres, garantir des procédures opérationnelles standard, des séances d'information des employés, des plans de gestion environnementale, etc.) ;
- **Une zone de réception** (pour stocker temporairement les DEEE entrants avant le démontage) ;

- **Une zone de démontage** (zone de travail principale pour la dépollution et le démantèlement) ; et
- **Une ou plusieurs zones de stockage** (pour le stockage des déchets et rebuts). Les espaces de traitement et de stockage doivent avoir des surfaces imperméables avec des installations de collecte des liquides et des équipements appropriés pour le traitement de l'eau. Le site de traitement doit également disposer d'un stockage approprié pour les pièces démontées, y compris d'un stockage imperméable pour les pièces contaminées.

Une attention particulière doit être portée au flux interne de matière : de la pondération de la matière entrante, au stockage intermédiaire avant le traitement, aux différentes étapes du traitement et enfin au stockage des fractions résultantes. L'aménagement doit être planifié de manière à éviter les dommages et la pollution dus à la casse, aux fuites ou à la corrosion pendant les opérations, le stockage et le transport.

5.2.2 *Gestion du site*

L'établissement doit disposer d'un personnel responsable (propriétaire ou gestionnaire) pour assurer l'inspection appropriée du site, des différentes zones de travail, des outils et des machines. Les inspections doivent être régulières et les enregistrements des résultats d'inspection doivent être conservés correctement. Le personnel travaillant dans l'installation doit être suffisamment formé sur les procédures d'exploitation, les bonnes pratiques, l'utilisation appropriée des outils et machines et les précautions lors de leur utilisation, et la manipulation appropriée des déchets, en particulier les déchets dangereux. Idéalement, des instructions claires doivent être partagées rappelant les pratiques de sécurité au travail (par exemple ne pas fumer, ne pas marcher pieds nus, se laver les mains régulièrement, etc.).

Le stockage, le traitement, le transport et l'exportation des déchets dangereux sont souvent réglementés par les lois nationales et internationales. Il est important de s'assurer que les papiers de travail sont en conformité avec les permis, licences et documents de notification requis.

→ **Tenir un registre des DEEE et fractions collectés, transportés et recyclés est une bonne pratique.**

Le personnel responsable doit également assurer la sécurité du site pour éviter l'accès à des personnes non autorisée ; éviter les dommages et le vol des DEEE et des composants; et pour assurer la sécurité des données personnelles/commerciales stockées dans des appareils tels que des téléphones, des ordinateurs, des ordinateurs portables, etc.

Une assurance ou d'autres ressources financières pouvant fournir une sécurité pour couvrir les risques et les responsabilités résultant d'accidents et d'événements imprévus, y compris les blessures, les dommages causés par les incendies, etc., ou les rejets accidentels de polluants est une bonne pratique.

5.2.3 *Infrastructures environnementales*

Contrôle des émissions involontaires, déversements et incendies

- Le traitement des DEEE doit être effectué à l'intérieur d'un bâtiment, il ne doit y avoir aucune émission de source ponctuelle dans l'air à l'extérieur du bâtiment.
- Par mesure de précaution, les activités ne doivent pas être menées à proximité d'une source d'eau, en particulier il est préférable de garder au moins 50 mètres de distance avec les sources d'eau utilisées pour l'approvisionnement en eau destinée à la consommation humaine (UK Environment Agency, 2016).
- Le site devrait avoir des toits capables d'éloigner la pluie, une surface imperméable sans fissures, une hauteur suffisante pour éviter les inondations pendant les précipitations normales, et une bonne ventilation pour éviter les incendies.
- La pluie et les eaux de surface non contaminées doivent être séparées de l'eau contaminée et des autres liquides. Ces derniers peuvent être transportés hors site dans un camion-citerne pour élimination ou récupération.

- L'installation devrait assurer la prévention de tous les types de déversements. Dans la zone de réception, les fuites de tout DEEE récemment arrivé doivent être détectées et les petits déversements doivent être nettoyés immédiatement. Le personnel devrait être formé par les autorités compétentes pour faire face aux déversements importants et devrait demander l'aide des autorités compétentes (le Ministère de l'Environnement et du Développement Durable à travers le CIAPOL) en cas de déversement de substances dangereuses.
- Pour éviter les incendies, les déchets inflammables doivent être stockés correctement dans un endroit séparé et bien ventilé.

Contrôle de la poussière et du bruit

Le processus de démontage, même effectué manuellement, génère de la poussière et du bruit. Le démontage des déchets électroniques et la rupture accidentelle de composants peuvent créer de fines poussières et vapeurs chimiques. Cette poussière peut contenir des métaux tels que le plomb, le cadmium ou le béryllium, ainsi que des produits chimiques ignifuges et peut nuire à la santé des travailleurs en cas d'inhalation et/ou d'ingestion. Les risques comprennent des lésions du système nerveux, du système reproducteur, des malformations congénitales, des maladies pulmonaires et des problèmes de thyroïde.

Pour assurer un environnement sûr aux travailleurs et au voisinage, des mesures de contrôle de la poussière et du bruit sont importantes :

- Des systèmes de contrôle de la poussière comprenant des hottes d'aspiration reliées à un cyclone, un filtre à manches et une ventilation par une cheminée de trois mètres de hauteur au-dessus du niveau du toit au-dessus de la table de démontage sont recommandés.
- Éviter d'utiliser des balais qui peuvent soulever de la poussière dans l'air. Utiliser une lingette/serpillère humide.
- La maîtrise du bruit est importante dans les opérations de réduction de volume no-

tamment à travers des capots d'insonorisation.

5.3 Equipements et outils

5.3.1 Équipements de protection individuelle

Il est nécessaire de porter un équipement de protection individuelle (EPI) adapté lors du démontage manuel et lors des déplacements dans les lieux de stockage et recyclage des déchets.

EPI	Utilisation
<p data-bbox="172 824 502 857">Lunettes de protection</p> 	<p data-bbox="603 880 1374 1021">Pour éviter les coupures et les blessures aux yeux. Pour éviter la pénétration de particules de poussière dans les yeux.</p>
<p data-bbox="201 1133 472 1200">Casque/protection auditive</p> 	<p data-bbox="603 1218 1050 1252">Pour éviter une perte auditive.</p>
<p data-bbox="172 1417 502 1451">Masque anti-poussière</p> 	<p data-bbox="576 1413 1398 1659">En cas de manipulation de pièces contenant des matières toxiques/poussières, des masques ou respirateurs appropriés doivent être portés pour éviter les conséquences sur la santé des gaz et poussières toxiques.</p> <p data-bbox="576 1731 1398 1924">Pendant les opérations normales, de simples masques industriels et un revêtement facial empêchent la poussière et d'autres particules fines de pénétrer dans le système respiratoire.</p>

Gants de travail robustes



Gants résistants aux coupures pour éviter les coupures/griffures.

Chaussures de travail robustes



Pour protéger les pieds des objets lourd et pointus qui peuvent provoquer des blessures.

Vêtements de protection/tabliers



Pour protéger contre les éclaboussures et la poussière. Qui sont robustes et faciles à nettoyer.

Veste/Pantalon haute visibilité (lors des déplacements dans le site): pour signaler visuellement la présence de l'utilisateur, afin de le détecter et de bien le voir dans des situations dangereuses, dans toutes les conditions de luminosité.

→ Disposer d'une trousse de premiers soins sur les sites de stockage et de démontage est une bonne pratique en cas de blessures.

5.3.2 Outils pour le démantèlement

Outils	Utilisation
<p data-bbox="268 421 408 454">Tournevis</p> 	<p data-bbox="603 439 1374 636">Manuel et motorisé, une gamme de tournevis permet l'ouverture et le démontage de divers appareils et composants. Les tournevis électriques peuvent réduire l'effort et le temps requis pour le démontage.</p>
<p data-bbox="304 719 371 752">Clés</p> 	<p data-bbox="603 775 1374 860">Une clé pour desserrer des éléments, comme des écrous et des boulons.</p>
<p data-bbox="288 1003 387 1037">Pinces</p> 	<p data-bbox="603 1066 1374 1151">Les pinces sont utilisées pour retirer les composants collés.</p>
<p data-bbox="209 1294 467 1328">Pinces coupantes</p> 	<p data-bbox="603 1357 1374 1442">Une pince coupante est nécessaire pour séparer les câbles et les fils.</p>
<p data-bbox="268 1585 408 1619">Marteaux</p> 	<p data-bbox="603 1603 1374 1800">Un marteau est utilisé pour écraser le déflecteur magnétique dans un moniteur CRT. La face arrière du marteau peut être utilisée pour ouvrir des boîtiers collés.</p>

5.4 Démantèlement des DEEE

La viabilité du traitement manuel ou mécanique dépend de plusieurs facteurs (par exemple le type de composant à traiter et de matériaux à récupérer, les volumes disponibles, etc.) et nécessite une analyse appropriée au cas par cas. Pour la grande majorité des produits, le démontage manuel est généralement une option viable, durable et rentable ; tandis que les technologies de traitement mécanique sont principalement viables qu'avec de grands volumes.

Le démantèlement des DEEE comprend normalement les principales étapes de démontage suivantes :

1. Ouverture de l'appareil (séparation du boîtier du reste de l'appareil)
2. Localisation, identification et retrait des composants dangereux
3. Démantèlement et séparation des composants restants en fractions commercialisables

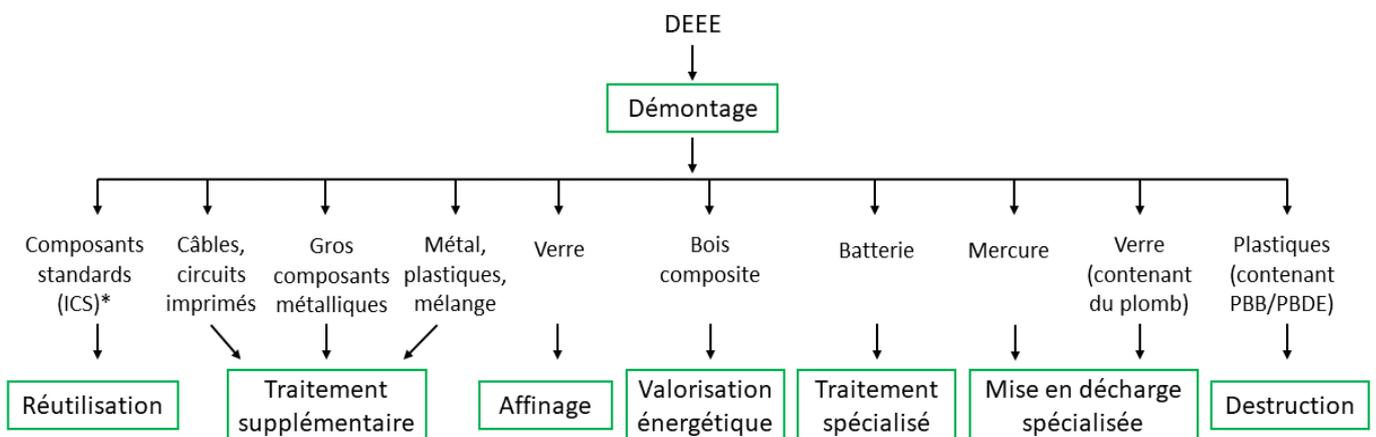


Figure 32 – Parcours général de traitement pour le démantèlement des DEEE (Cui et Forssberg, 2007)

Cette section fournit une vue d'ensemble des outils nécessaires au démantèlement manuel et des directives pour le démantèlement et le démontage de certains des principaux équipements, les câbles qui est une fraction commune à tous les produits, ainsi que sur certains composants dangereux nécessitant une attention particulière. (section développée à partir des documents suivants : Cui et Forssberg, 2007 ; GIZ, 2019 ; Recycler Information Center, n.d. ; Safaei et al., 2018 ; Schluep et al., 2015 ; UNEP, 2017).

Téléphone mobiles et smartphones

Général :

La technologie des téléphones mobiles a évolué rapidement au cours des dernières années et, par conséquent, les modèles diffèrent beaucoup en fonction et en forme. Néanmoins, le démontage d'un téléphone mobile reste généralement assez simple : retirer la batterie et le boîtier et fournir le reste à une fonderie métallique intégrée qui traite les carte de circuit imprimés (PWB de l'anglais Printed Wiring Boards). Les PWB dans les téléphones mobiles sont généralement de haute qualité et peuvent - s'ils sont fournis au processeur en aval adéquat - générer des revenus élevés (Schluep et al., 2015).

Aperçu des matériaux :

Composants : Batterie, boîtier, PWB,

Matériaux primaires : Aluminium, acier, plastiques, mélange métal-plastique, PWB

Composant dangereux : Batterie

Équipement de sécurité :

- Lunettes de protection
- Gants de travail robustes
- Chaussures de sécurité
- Vêtements de protection

Outils



Démontage étape par étape (Schluép et al., 2015) *Téléphones mobiles*

1. Retirez la batterie qui est généralement située sous le couvercle arrière. Dans certains cas, il n'y a pas d'accès rapide à la batterie, le boîtier doit donc être ouvert par levier.



2. Retirez le boîtier et le clavier des pièces internes (dévisser, faire levier, etc.).



3. Retirez le PWB.
Si facilement détachable, séparer les autres matériaux tels que le plastique, l'acier, l'aluminium, etc.



Démontage étape par étape (Schluep et al., 2015) *Smartphone*

1. Faites levier pour ouvrir le boîtier et retirez le couvercle arrière. Retirez soigneusement la batterie sans la plier, ni la perforer.



2. Dévissez le boîtier.



3. Retirez l'écran. Retirez le PWB.



4. Séparez les matériaux restants en fonction de leur type (par ex. aluminium, métaux ferreux, plastique, autres PWB, etc.).
Assurez-vous que les pièces en plastique sont complètement exemptes de pièces métalliques.



Ordinateurs portables

(Unité centrale de traitement avec périphériques d'entrée et de sortie)

Général :

Il existe une grande variété de modèles d'ordinateurs portables et les étapes de démontage peuvent donc varier beaucoup selon la marque et le modèle. Séparer les sous-composants d'un ordinateur portable peut être délicat et laborieux. Le démantèlement des sous-composants n'a pas toujours de sens car il demande beaucoup de main-d'œuvre et peut être traité par les industries appropriées. Cependant, l'élimination des substances dangereuses (par exemple les condensateurs sur les cartes de circuits imprimés (PWB de l'anglais Printed Wiring Boards) est nécessaire (Schluep et al., 2015.).

Aperçu des matériaux :

Composants : Écran LCD, disque dur, batterie, PWB, lecteur de disque compact, câbles, clavier, etc.

Matériaux primaires : Câbles et fils, aluminium, acier, plastiques, mélange métal-plastique, PWB

Composant dangereux : Batterie

Équipement de sécurité :

- Lunettes de protection
- Gants de travail robustes
- Chaussures de sécurité
- Vêtements de protection

Outils



Démontage étape par étape (Schluep et al., 2015)

1. Retirez la batterie. En règle générale, aucun outil n'est nécessaire pour le supprimer. Retirez toutes les cartes du bas (module mémoire, carte sans fil, carte modem, etc.).



2. Retirez tous les lecteurs (disque dur, lecteur de disque compact, etc.). Si vous ne trouvez pas le disque dur, il est probablement caché sous le clavier ou sous l'assemblage du capot supérieur. Si vous ne trouvez pas de vis de fixation pour le lecteur optique en bas, elles se trouvent probablement sous le clavier.



3. Retirez toutes les vis sous l'ordinateur portable.



4. Retirez la bande de fixation du clavier et retirez le clavier.



5. Retirez la batterie.



6. Retirez toutes les vis sous le clavier et coupez/déconnectez tous les câbles.



7. Retirez toutes les vis fixant l'assemblage d'écran. Soulevez l'écran LCD de la base. Si cela n'est pas possible, séparez l'écran du corps principal (par exemple en hyper-étendant les charnières).



Veillez à ce que le rétroéclairage LCD ne soit pas endommagé !

8. Soulevez le couvercle supérieur de la base et placez-le dans la fraction appropriée.



9. Retirez toutes les vis fixant la carte système, la carte d'alimentation, la carte vidéo, etc. Débranchez tous les câbles connectant les cartes.



10. Retirez toutes les cartes et retirez le processeur (carte mère).



11. Séparez les matériaux restants en fonction de leur type (par ex. aluminium, métaux ferreux, plastique, autres PWB, etc.).

Assurez-vous que les pièces en plastique sont complètement exemptes de pièces métalliques.



Ordinateurs personnel

(Unité centrale de traitement avec périphériques d'entrée et de sortie)

Général :

La conception et la taille d'un ordinateur varient considérablement, mais généralement les composants de base d'un ordinateur sont les mêmes. De plus, une imprimante et d'autres périphériques tels que des caméras, des casques et un haut-parleur peuvent être connectés à l'ordinateur. Afin de démonter les composants respectifs de manière efficace, il est recommandé de séparer les composants et de les démonter dans leur chaîne de démontage adéquate (Schluep et al., 2015.).

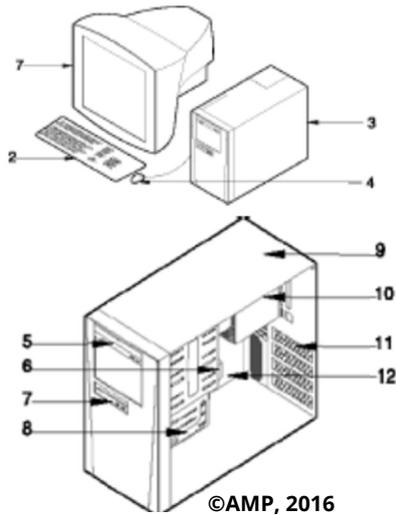
Aperçu des matériaux :

Composants : Boîtier, unité centrale de traitement (UCT), disque dur, moniteur, carte mère, alimentation, mémoire vive (RAM), clavier, souris

Matériaux primaires : Aluminium, cuivre, verre, or, fer, plastique

Matières dangereuses : Oxyde de béryllium, cadmium, chrome hexavalent, plomb, soufre

Le cuivre, l'aluminium, l'acier, l'or et le palladium se trouvent dans les ordinateurs. Dans la carte mère, la mémoire vive, l'UCT et l'interface PCI (de l'anglais Peripheral Component Interconnect) se composent d'une certaine quantité de métaux précieux. La mémoire vive est destinée au stockage de données et c'est une pièce précieuse car ses connecteurs sont plaqués or et revêtus de palladium. Le disque dur est composé d'aluminium. Le dissipateur thermique est un revêtement sur l'UCT qui est en aluminium et ses alliages. Le boîtier d'un ordinateur est en acier et le boîtier d'alimentation en acier inoxydable (AMP, 2016).



©AMP, 2016

1. Écran / 2. UCT / 3. Clavier / 4. Souris / 5. CD ROM / 6. Disque dur / 7. Lecteur de disquette / 8 Alimentation électrique / 9. Boitier en acier inoxydable / 10. Bloc d'alimentation / 11. Aération / 12. Carte mère

Équipement de sécurité :

- Lunettes de protection
- Gants de travail robustes
- Chaussures de sécurité
- Vêtements de protection

Outils



Démontage étape par étape (AMP, 2016 ; Schluep et al., 2015)

1. Coupez tous les fils et supprimez toutes les connexions entre les différents composants.
2. Déchargez le condensateur et retirez le circuit imprimé.
3. Détachez la carte mère à l'aide de tournevis. Retirez soigneusement l'UCT et la mémoire vive de la carte mère.
4. Les PCI sont également retirés à la main car ils ont été soudés. Cette pièce est également précieuse car elle contient un peu d'or.

5. Pour le moniteur, retirez le boîtier en plastique, le couvercle arrière en retirant toutes les vis.
6. Coupez tous les câbles pour détacher les différentes pièces.
7. Démontez les bobines de cuivre si présentes et jetez soigneusement les verres plombés.
8. Les composants de l'ordinateur tels que les puces mémoire sont fragiles et doivent être manipulés avec précaution pour éviter de les endommager.
9. Après le démontage, les composants doivent être documentés.

Imprimantes et cartouches

Général :

Deux types d'imprimantes sont principalement utilisés : l'imprimante à jet d'encre et l'imprimante laser. La définition d'une moyenne en termes de poids et de composition est très difficile en raison de la large gamme de types d'équipements présents sur le marché. Les pièces âgées, grandes et lourdes peuvent avoir une valeur plus élevée, et donc économiquement plus viable, en raison de leur teneur en acier, qui pourrait être vendue à un marchand de ferraille pour être déchiquetée après désintoxication. Cependant, il est peu probable que les modèles plus récents génèrent des revenus significatifs sur les matériaux, car leur boîtier est principalement en plastique (Schluep et. al, 2015).

Aperçu des matériaux

Matériaux primaires : Plastiques, acier, aluminium, PWB, câblage mixte, mélange métal-plastique

Matières dangereux : Cartouches et toners, tambours photoconducteurs (imprimante laser)

Équipement de sécurité :

- Lunettes de protection
- Gants de travail robustes
- Chaussures de sécurité
- Vêtements de protection
- Masque anti poussière

Outils



Démontage étape par étape (Schluep et al. 2015)

En raison de la grande variété d'imprimantes disponibles sur le marché, il est impossible de donner un manuel spécifique sur la façon de démonter une imprimante. Par conséquent, les étapes de démontage des imprimantes à jet d'encre et laser indiquées ci-dessous doivent être adaptées au cas par cas.

1. Retirez les cartouches d'encre et mettez-les de côté. Les cartouches peuvent être rechargées et réutilisées !

Au cas où elles seraient cassées, elles doivent être éliminés en tant que déchets dangereux.



2. Ouvrez le boîtier en plastique en dévissant toutes les vis et en retirant les clips. Nettoyez correctement le boîtier en enlevant tous les corps étrangers dans le plastique tels que les étiquettes, les supports en caoutchouc, etc. Assurez-vous que les pièces en plastique sont complètement exemptes de pièces métalliques.



3. Dévissez et retirez le PWB.



4. Retirez le moteur de l'imprimante. Si possible, séparez la bobine de cuivre ou les aimants à l'intérieur du moteur. Les aimants doivent être stockés séparément.



5. Séparez les matériaux restants en fonction de leur type (par ex. aluminium, métaux ferreux, plastique, autres PWB, etc.).

Assurez-vous que les pièces en plastique sont complètement exemptes de pièces métalliques.



5.4.4 Câbles



Les principaux sujets de préoccupation concernant la combustion à l'air libre des câbles sont les niveaux élevés d'émissions toxiques dans l'air, ainsi que les émissions de métaux dans l'air et le sol. Les émissions toxiques comprennent les dioxines, le formaldéhyde et les composés chlorés. L'incinération des câbles présente également un potentiel de toxicité humaine élevé. Les dioxines sont des polluants organiques extrêmement toxiques, formés au cours du processus d'incinération. Menant à plus de 65% de l'impact total, les dioxines sont les principaux contributeurs à la toxicité humaine.

→ Pour ces raisons, la pratique de combustion à l'air libre doit absolument être bannie par les opérateurs.



La méthode de **dénudage** a pour but de pour séparer la gaine de câble en PVC du fil métallique à l'intérieur.



Figure 33 – Exemples de dénudeurs de câbles

Le dénudage s'applique à une large gamme de câbles et son coût est relativement faible. Un autre avantage de la méthode est que non seulement le cuivre, mais aussi l'isolation en plastique des câbles peuvent être récupérés en toute sécurité et avec une perte minimale. Le procédé n'évite donc pas seulement les émissions d'incinération, mais économise également une quantité considérable de matière première, qui peut être utilisée pour produire un nouvel isolant plastique.

Un autre avantage est que grâce à un traitement manuel et mécanique, le cuivre récupéré conserve ses propriétés physiques et sa composition, tandis qu'en combustion à l'air libre, la couche superficielle de cuivre s'oxyde, ce qui réduit sa qualité, ce qui entraîne des prix de marché inférieurs par rapport au cuivre récupéré par dénudage. Il convient de souligner que la méthode ne peut être considérée comme une « bonne pratique » que si elle a lieu dans un environnement de travail sûr et adapté à l'emploi, avec toutes les activités nécessitant l'équipement de protection individuelle requis et des précautions de travail sûres pour les travailleurs.

5.4.5 Composants dangereux

Appareils nécessitant une prudence particulière au démontage en raison des composants dangereux et des fractions de sortie respectives reçues. Il est conseillé de travailler sur un seul matériau à la fois et de stocker immédiatement la fraction démontée dans un conteneur sûr une fois retirée. Tous les conteneurs doivent être correctement étiquetés et scellés conformément aux exigences spécifique. (Section développée à partir des documents suivants : Cui et Forssberg, 2007; GIZ, 2019 ; Recycler Information Center, n.d. ; Safaei et al., 2018 ; Schluep et al., 2015 ; UNEP, 2017.)

Appareil	Précautions particulières	Composants dangereux	Fractions/composants après démontage
Ordinateur portable	Assurez-vous que les composants, en particulier le moniteur et le rétroéclairage LCD, ne sont pas endommagés. Le retrait de la lampe fluorescente à cathode froide est l'étape la plus critique. Une fois séparé, mettez-la immédiatement dans un récipient adéquat. En raison de la teneur en mercure, des masques appropriés doivent être portés.	Batterie Rétroéclairage contenant du mercure (si présent)	Batteries, PWB, clavier, disque dur, lecteur de disque compact, écran plat, câbles et fils, aluminium, acier, plastiques, mélange métal-plastique
Moniteur CRT	Évitez l'implosion ! Pour cela, l'aération du tube CRT doit être incluse comme étape de démontage supplémentaire. Faites attention à ce que le canon à électrons en haut du tube cathodique ne soit pas détruit. Assurez-vous en particulier que le verre et la couche de phosphore soient stockés dans des conteneurs adéquats. Empêcher les bris et les rejets dans l'environnement. Le verre CRT contient une grande quantité de plomb qui pour-	Verre au plomb, couche de phosphore, PWB, condensateur. Peut contenir : antimoine, baryum (panneau avant des CRT), poussière de cadmium (revêtement	Cuivre, plastiques (ABS/PC), aluminium, mélange de métaux, ferraille mixte, PWB, fils et câbles, bobine de déviation, dissipateur thermique en aluminium, transformateur, condensateur, tube CRT (couche de phosphore, masque d'ombre, verre de panneau CRT et verre de cône CRT, canon à électron)

	<p>rait être libérée en cas de rupture. Pour cela :</p> <ul style="list-style-type: none"> · n'utilisez que des moniteurs de taille similaire pour l'empilage · placez les moniteurs intacts en couches · n'empilez pas les moniteurs face vers le bas sur les palettes · envelopper hermétiquement les moniteurs sur la palette <p>Évitez la formation de poussière tout au long du processus. Portez un équipement de protection, en particulier des lunettes et des gants !</p>	phosphoreux sur verre (CRT)	
<p>Ecran plat</p>	<p>Le retrait des rétroéclairages nécessite une attention particulière car la casse pourrait libérer de la vapeur de mercure. Stockez les lampes dans un récipient fermé qui implique un mécanisme qui empêche la libération d'air de l'intérieur lors de l'insertion d'autres lampes.</p> <p>Les rétro-éclairages peuvent être déjà cassés pendant le transport, assurez-vous donc de porter des masques de sécurité appropriés.</p> <p>Des précautions supplémentaires doivent être prises pour l'élimination du verre à cristaux liquides.</p>	Rétroéclairage LCD	PWB, câbles et fils, module LCD, plastiques (ABS/PC), aluminium, mélange de métaux, ferraille mixte, couche de cristaux liquides, acier

<p>UCT</p>	<p>Les batteries doivent être placées dans une boîte séparée pour un recyclage adéquat.</p>	<p>Batteries sur PWB</p>	<p>Câbles et fils, aluminium, acier, plastiques, PWB, alimentation à découpage, graveur de DVD, panneau avant, câbles et fils, processeur et batterie à partir de PWB, alimentation, disque dur, lecteur de disque compact, lecteur de disquette</p>
<p>Clavier</p>	<p>Assurez-vous que le plastique est exempt de pièces métalliques pour un traitement ultérieur.</p>	<p>Rétroéclairage LCD</p>	<p>Plastique (touches), panneau en plastique, ferraille mixte (aluminium, ferreux), PWB, câbles et fils</p>
<p>Souris</p>	<p>Assurez-vous que le plastique est exempt de pièces métalliques pour un traitement ultérieur.</p>		<p>Plastiques, déchets mixtes, PWB, câbles et fils</p>
<p>Carte d'alimentation</p>	<p>L'aluminium doit être nettoyé correctement, car les recycleurs pourraient le refuser autrement.</p>	<p>Condensateurs</p>	<p>Acier (boîtier), aluminium (dissipateur thermique), cuivre (anneau), câblage mixte, PWB, câbles et fils, condensateurs, transformateur</p>
<p>Disque dur/ graveur DVD</p>	<p>Lors du forage, portez des lunettes et des gants pour éviter les blessures aux yeux ou coupures en cas d'éclats de morceaux de métal.</p>		<p>Métaux mélangés, aluminium (boîtier), cuivre, plastique, batterie au néodyme, câbles et fils, plaque de base, plateau de disque dur, aimants d'actionneur, bras d'actionneur, PWB, moteur, lecteur</p>

			optique, mélange métal-plastique, lentille (les matériaux de sortie varient en fonction de l'appareil)
<p>Cartes de circuits imprimés (PWB)</p>	<p>Utilisez des gants et des lunettes car les pièces pourraient se casser et les éclats pourraient causer des blessures aux yeux ou des coupures.</p> <p>Évitez toute lixiviation chimique par voie humide ! Ces processus sont très dangereux en raison de l'implication d'acides, de sels de cyanure et de mercure et en outre inefficaces.</p> <p>Sachez que le dessoudage peut entraîner la libération de substances très dangereuses.</p> <p>La principale exposition aux substances dangereuses provient de la poussière, veillez donc à appliquer des mesures qui empêchent l'inhalation (portez un masque).</p>	<p>Batteries, condensateurs, interrupteurs au mercure, condensateur</p> <p>Peut contenir : antimoine, béryllium, cadmium, gallium, plomb</p>	<p>PWB préparé, métaux ferreux, cuivre, aluminium (dissipateur thermique), condensateur, batterie, interrupteurs au mercure, ventilateur, (transformateur), pièces ferreuses et en cuivre</p>
<p>Imprimante à jet d'encre et laser</p>	<p>Si les cartouches sont cassées, elles doivent être traitées comme des déchets dangereux.</p> <p>Assurez-vous que les fûts revêtus de sélénium ne sont pas exposés à la lumière du soleil pendant le stockage. Portez des gants. Assurez-vous d'appliquer des mesures de protection contre la poussière (portez un masque).</p>	<p>Cartouches et toners, tambours photoconducteurs (imprimante laser)</p>	<p>Cartouche, verre, plastique, PWB, acier doux, moteur, transformateur, métaux ferreux, câblage mixte</p>

<p>Câbles</p>	<p>Brûler des câbles pour éliminer les métaux est très dangereux et doit être évité.</p> <p>Des équipements de protection individuelle tels que des lunettes et des gants doivent être portés car les attelles peuvent se briser lors de l'utilisation d'un cutter latéral.</p> <p>Pour la granulation mécanique, assurez-vous que les corps étrangers et les fiches sont retirés des câbles.</p>	<p>Batteries sur PWB</p>	<p>Plastique (faible densité), ferraille, cuivre, autres métaux, fiches</p>
<p>Machine à laver</p>	<p>Attention lors de la manipulation de composants lourds pour éviter les accidents et blessures.</p>		<p>Céramique, circuit imprimé et cuve, moteurs, plastiques, verre, acier doux, aluminium, cuivre</p>
<p>Réfrigérateur</p>	<p>Priorité absolue : ne coupez pas le circuit et effectuez un dégazage approprié pour capturer les gaz CFC/HCFC. Ne pas casser/brûler la mousse pour vous assurer de ne pas émettre de CFC/HCFC.</p> <p>Utilisez un masque anti-poussière et des systèmes de dépoussiérage pour démonter la mousse, car elle peut contenir des substances nocives.</p> <p>Transportez les réfrigérateurs en position verticale.</p> <p>Vérifiez la présence d'interrupteurs contenant du mercure sur la plaque de recouvrement du congélateur coffre et la boîte en plastique sur le capuchon. Évitez la casse !</p>	<p>Plomb, cadmium, mercure, chrome hexavalent, retardateurs de flamme, réfrigérants, agents gonflants, condensateur (contenant des PCB)</p> <p>Peut contenir : CFC et HCFC (dans les réfrigérateurs produits avant 1996)</p>	<p>Mousse PUR, compresseur, acier doux, radiateur, plastique, fer, aluminium, tuyauterie en cuivre, câble, verre, plastiques mélangés, transformateurs, condensateur, huile, réfrigérant</p>

	<p>Faites attention lors du retrait du condensateur car il peut contenir des PCB ou des électrolytes préoccupants.</p> <p>Une unité de dégazage serait nécessaire pour l'extraction des fluides frigorigènes et de l'huile.</p>		
<p>Climatiseur</p>	<p>Priorité absolue: ne coupez pas le circuit et effectuez un dégazage approprié pour capturer les gaz CFC/HCFC.</p> <p>Faites attention lors du retrait du condensateur car il peut contenir des PCB ou des électrolytes préoccupants.</p>	<p>Réfrigérants, condensateurs, plomb, cadmium, chrome hexavalent, retardateurs de flamme</p>	<p>Échangeur de chaleur aluminium-cuivre, plastique, acier doux, circuit imprimé, condensateur, transformateur, câbles, moteur électrique, ventilateur avec moteur électrique, compresseur</p>

Tableau 2 – Appareils nécessitant une prudence particulière au démontage (élaboration UNITAR à partir de : Cui et Forssberg, 2007 ; GIZ, 2019 ; Recycler Information Center, n.d. ; Safaei et al., 2018 ; Schlupe et al., 2015 ; UNEP, 2017)

Il est recommandé de retirer certains composants dangereux dans leur ensemble lors d'une étape de dépollution, avant tout autre démantèlement ou traitement mécanique. Le tableau ci-dessous présente les étapes de démontage « intelligentes » pour ces composants dangereux qui nécessitent une prudence particulière (DEFRA, 2006 ; Connecticut Department of Energy and Environmental Protection, 2021).

Composant	Démontage
Condensateurs contenant des PCB	<p>Auparavant présents dans des produits tels que les micro-ondes et les lampes fluorescentes. En règle générale, les fours à micro-ondes ont un condensateur situé directement derrière le panneau de commande et câblé au transformateur. Vous pouvez accéder au condensateur en retirant le panneau avant. Les ballasts d'éclairage fluorescent qui contiennent de petits condensateurs sont situés dans le boîtier des appareils d'éclairage qui peuvent avoir besoin d'être dévissés du panneau arrière pour accéder au ballast. Une prudence particulière est de mise lors du retrait des condensateurs car ils peuvent contenir une charge et donc un risque de chocs électriques.</p>
Composants contenant du mercure <i>tels que les lampes</i>	<p>Les lampes des écrans LCD contiennent du mercure et doivent être retirées manuellement avant tout autre traitement. Elles se trouvent au dos des écrans, et sont accessibles généralement en ouvrant le panneau arrière.</p>
Cartouches de toner <i>(imprimantes/photocopieuses)</i>	<p>Souvent faciles à retirer car elles doivent être changées ou rechargées pendant la durée de vie de l'imprimante ou des copieurs.</p>
Batteries	<p>Les batteries sont des composants communs relativement faciles à retirer, qui doivent être retirés au début du processus de démontage et stockés séparément. Les piles boutons (contenant du mercure) se trouvent sur les circuits imprimés des ordinateurs de bureau, tout comme les piles de différentes chimies dans de nombreux petits appareils électroniques tels que les télécommandes, les jouets, etc. Les batteries de smartphones sont cependant difficiles à retirer car elles sont souvent collées avec le PCB ou une partie de l'écran, et nécessitent des outils spéciaux et de la prudence car elles peuvent présenter un risque d'incendie.</p>

Tableau 3 – Étapes de démontage de composants dangereux (élaboration UNITAR à partir de : DEFRA, 2006 ; Connecticut Department of Energy and Environmental Protection, 2021)

5.5 Élimination des DEEE

Les fractions qui ne peuvent pas être recyclées ou récupérées doivent être éliminées en dernière option. Généralement, il s'agit de fractions de déchets dangereux et il est important de :

- Ne pas les mélanger avec d'autres fractions, substances ou matériaux - qu'ils soient dangereux ou non ;
- Les stocker séparément et les sceller pour leur transport vers le site d'élimination afin d'éviter tout déversement accidentel ou toute fuite ;

Les déchets dangereux qui n'ont pas d'option de traitement ou de récupération doivent être envoyés :

- Dans une décharge sécurisée et aménagée conçue pour les déchets dangereux jetables ; ou
- Dans des incinérateurs capables de garantir que toutes les fumées et émissions potentiellement toxiques sont capturées par la cheminée d'échappement.

Le tableau ci-dessous présente les options d'élimination possibles pour différentes fractions dangereuses :

Fractions	Options d'élimination
Verre CRT	Idéalement envoyé au recyclage, bien que seules quelques installations soient capables de traiter le verre CRT. Si de telles installations ne sont pas disponibles, en dernier recours, il faut l'éliminer dans une décharge sécurisée.
Verre provenant des lampes fluorescentes compactes et des lampes à tube <i>contenant du mercure</i>	Classé dans la catégorie des déchets dangereux, ce verre doit être éliminé dans une décharge sécurisée. Les broyeurs d'ampoules disponibles dans le commerce peuvent être utilisés pour éviter les bris accidentels, réduire le volume et capturer les émissions de mercure dans des filtres appropriés.

<p>Poudres de phosphore <i>provenant des lampes et des écrans CRT</i></p>	<p>Considérées comme des déchets dangereux, elles doivent être éliminées dans des sacs soigneusement fermés dans une décharge sécurisée. Des recherches sont en cours dans d'autres pays concernant le potentiel d'extraction des poudres de phosphore pour les terres rares et les matières premières critiques. Toutefois, en l'absence d'une technologie appropriée et viable, ces déchets sont actuellement mis en décharge dans une décharge contrôlée.</p>
<p>Condensateurs <i>contenant de l'huile provenant principalement des climatiseurs, micro-ondes, photocopieuses, ballasts de lampes fluorescentes, appareils de chauffage portables</i></p>	<p>Prudence lors de l'élimination des condensateurs qui peuvent contenir une charge électrique pouvant provoquer des chocs électriques. Les condensateurs doivent être stockés dans de grands fûts, avec une base appropriée de sable/gravier. L'incinération des condensateurs contenant des PCB est possible sous réserve que l'incinérateur puisse atteindre des températures suffisamment élevées pour éviter la formation de dioxines dangereuses. L'élimination des condensateurs contenant des PCB dans des décharges n'est pas recommandé, étant donné le potentiel de fuite et de contamination des eaux souterraines. Si aucune incinération n'est possible, un stockage à long terme est suggéré (Bench, n.d.).</p>
<p>Plastiques contenant des RFB</p>	<p>L'élimination recommandée des plastiques contenant du RFB est l'incinération. Lorsque l'incinérateur ENVIPUR aura été mis à niveau, il pourra être utilisé pour l'élimination des fractions dangereuses des DEEE telles que les plastiques bromés. Une discussion approfondie sur l'identification, le tri et la ségrégation des plastiques contenant du RFB est présentée dans le chapitre suivant.</p>

Tableau 4 – Options d'élimination possibles pour différentes fractions dangereuses (élaboration UNITAR)

5.6 Focus : polluants organiques persistants dans les DEEE

5.6.1 Composants des EEE contenant des POP

Les retardateurs de flamme bromé dans les plastiques génèrent des polluants organiques persistants non-intentionnel (tels que les - polychlorodibenzo-p-dioxine et

furane (PCDD/PCDF)) lors de la combustion ouverte de câbles ou autres pièces en plastique. Les POP sont des substances chimiques qui ont la capacité de se bioaccumuler dans l'environnement et de s'infiltrer dans les chaînes alimentaires, posant ainsi un risque pour la santé humaine et l'environnement dans son ensemble. Couramment utilisés dans les produits fabriqués avant 2009, l'utilisation de POP dans la fabrication de nouveaux EEE a considérablement diminué (voir section 2.1).

Les composants des équipement électrique et électronique contenant des POP comprennent des condensateurs contenant des polychlorobiphényles (PCB) (provenant de micro-ondes et de lampes fluorescentes, etc.) et des plastiques ignifuges bromés (RFB) que l'on trouve dans de nombreux EEE.

Les condensateurs contenant des PCB ont été interdits de production par la Convention de Stockholm en 2001 (mais dès les années 80-90 dans de nombreux pays producteurs) et se retrouvent donc dans des équipements plus anciens. Une étude réalisée en Suisse en 2018 (SENS, Swico, SLRS, 2020) a révélait qu'une certaine quantité de PCB (jusque 250 kg) provenant de condensateurs était présente dans le flux de DEEE en Suisse. Il est donc probable qu'il y ait des quantités importantes de condensateurs contenant des PCB en Côte d'Ivoire dans des produits importés tels que les gros appareils et luminaires. Il est recommandé que les condensateurs de plus de 1,5 cm qui contiennent des liquides soient retirés, stockés séparément, et incinérés.

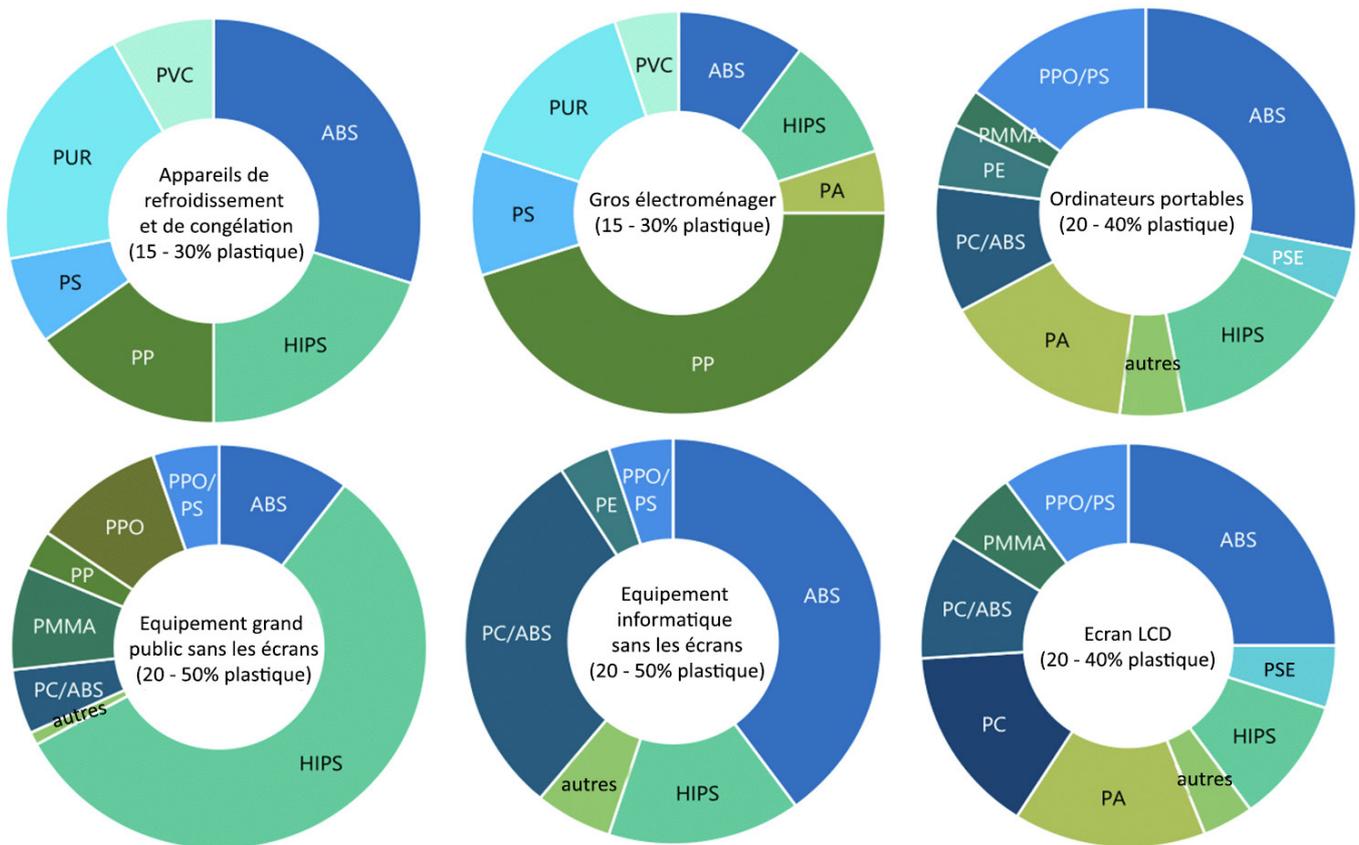
Les composés « ignifuges » ou « retardateurs de flamme » sont souvent utilisés dans les pièces en plastique des EEE en raison de la présence de courants électriques et de composants internes générant de la chaleur et de l'inflammabilité inhérente des plastiques. C'est notamment le cas pour les câbles, les interrupteurs et les disjoncteurs, les cartes de circuits imprimés, et les boîtiers extérieurs (voir section 2.1). On trouve souvent des niveaux élevés de RFB dans les boîtiers en plastique des écrans, des équipements informatiques et des petits appareils électroniques (Bill et al. 2019).

Les retardateurs de flamme peuvent être classés en trois groupes principaux :

- Les retardateurs de flamme minéraux ;

- Les retardateurs de flamme à base de phosphore ;
- Les retardateurs de flamme halogénés, qui peuvent être bromés (représentant en 2018 55% de l'utilisation mondiale des retardateurs de flamme dans les EEE) ou chlorés (1%). Les RFB sont généralement utilisés en combinaison avec du trioxyde d'antimoine comme synergiste (11% de l'utilisation globale des retardateurs de flamme dans les EEE) (Sofies, 2020).

Les RFB additifs sont mélangés physiquement avec le polymère mais pas chimiquement liés à celui-ci²⁰. Différents retardateurs de flamme sont utilisés en combinaison avec différents types de plastique. Les RFB sont surtout présents dans les plastiques ABS et HIPS. Certains de ces RFB additifs - tels que les PBDE et HBCD - sont classés comme substances POP au titre de la Convention de Stockholm en raison de leurs propriétés persistante, bioaccumulable et toxique et de transport à longue distance. C'est pourquoi leur utilisation est restreinte par des limites réglementaires (Sofies, 2019).



²⁰ Les RFB utilisés de manière additive comprennent les polybromobiphényles (PBB), les polybromodiphényléthers (PBDE), l'hexabromocyclododécane (HBCD), le 1,2-bis (2,4,6-tribromophénoxy) éthane (BTBPE), l'éthylène bis(tétrabromophthalimide) (EBTBP) et le décabromodiphényl éthane (DBDPE). Le tétrabromobisphénol A (TBBPA) peut également être utilisé de manière additive, en particulier dans l'ABS et le HIPS.

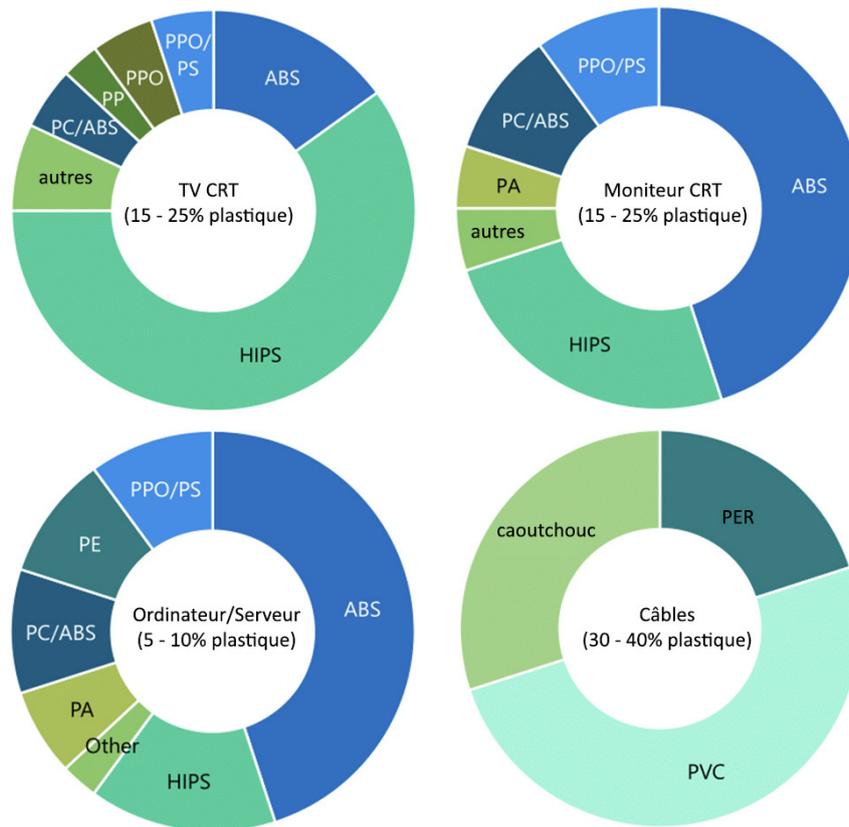


Figure 34 – Composition plastique moyenne de catégories de DEEE sélectionnées (Bill et al, 2019.)

La plupart des plastiques EEE (environ 90%) ne sont pas bromés, car les RFB ne sont ajoutés qu'à des types de produits et des composants spécifiques qui nécessitent un retardateur de flamme. Les plastiques bromés peuvent contenir de 2% à 22% de brome (équivalent à 20 000-220 000 ppm). Au niveau des catégories de DEEE, les niveaux de RFB sont les plus élevés dans les **boîtiers en plastique d'écrans** (autour de 10 000 ppm de brome, soit 1% en 2014-2015 pour les écrans CRT et écrans plats), suivis par les **pièces en plastique des petits équipements** (~ 3500 ppm de brome en moyenne en 2014-2015). Les niveaux de RFB montrent une tendance à la baisse des écrans CRT (réduction de moitié des niveaux de brome entre 2010 et 2014-2015) et du petit électroménager (baisse de 40% des niveaux de brome entre 2010 et 2014-2015). Cela pourrait indiquer l'utilisation croissante d'autres retardateurs de flamme tels que les RF minéraux et les composés organophosphorés. En revanche, les niveaux de RFB dans les écrans plats semblent être restés relativement stables (Sofies, 2019).

D'autres composants qui peuvent contenir des POP ou qui ont le potentiel de générer des POPNI s'ils ne sont pas traités correctement sont les **cartes de circuits imprimés** qui peuvent contenir des retardateurs de flamme bromés dangereux et du trioxyde d'antimoine au-dessus des limites de concentration, et les câbles internes et externes et câblage ont une gaine en plastique ignifuge.

	ABS	HIPS	ABS	PP	PS	PE	ABS + PC	PVC
Ecrans CRT	X	X					X	
Ecrans Plats	X	X					X	
Equipement Informatique	X	X					X	
Gros électroménager	X	X	X	X				
Appareils de refroidissement et de congélation	X	X	X	X				
Petits appareils électroniques	X	X	X					
Câbles						X		X

X concentration de BFR potentiellement supérieure aux valeurs seuils légales

X concentration de métaux lourds potentiellement supérieure aux valeurs seuils légales

X concentrations d'additifs dangereux généralement inférieures aux valeurs seuils légales

Tableau 5 – Additifs dangereux dans les principaux types de plastique obtenus à partir de diverses catégories de DEEE (élaboration UNITAR à partir de : Bill et. al, 2019)

La figure et le tableau ci-dessus sont utiles pour affiner la liste des différents types de plastique dont un appareil peut être constitué et déterminer la présence potentielle

d'additifs dangereux. Cependant, afin d'identifier réellement les types de plastique et de trier les pièces en plastique en conséquence, des méthodes supplémentaires sont nécessaires (Bill et. Al., 2019).

5.6.2 Ségrégation, stockage et élimination des composants EEE contenant des POP

Les composants connus pour contenir des POP – notamment les pièces plastiques - doivent être retirés des DEEE dans la mesure du possible pendant le processus de démantèlement. Idéalement, ces pièces en plastique sont collectées après le démontage et traitées dans une installation de recyclage du plastique afin de récupérer différents polymères (par exemple PS, PP, PE, ABS, etc.) et de séparer les polymères contenant des POP pour une élimination en toute sécurité. Un tel traitement peut être difficile à réaliser dans une installation informelle de dépollution et de démantèlement des DEEE en supposant que ces installations ont une capacité opérationnelle limitée et n'ont pas le débit requis pour une configuration mécanique/automatisée nécessaire au traitement et à la séparation des plastiques.

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour identifier et séparer les flux de déchets plastiques riches en brome pendant les opérations de recyclage, qui peuvent se diviser en :

- Méthodes manuelles qui exigent l'inspection de chaque plastique individuellement, généralement avant le déchiquetage, soit entièrement manuellement (sur la base des marquages ou sur la source (produit) du plastique), ou semi-manuellement (à l'aide d'instruments portatifs) ;
- Méthodes mécaniques / automatisées qui peuvent être exécutées par lots ou en continu, généralement après le déchiquetage (Haarman and Gasser, 2016).

	Méthode	Raisonnement	Précision	Prix (USD)	Préoccupations EHS
Manuelle	Visuel (marquages)	Indication RF sur les pièces	Insuffisante	Gratuit	Aucun
	Ségrégation à la source	Certains flux DEEE sont presque sans RFB	Moyenne	Gratuit	Aucun
	Spectromètre à étincelles coulissant (portable)	L'étincelle évapore le plastique, les éléments libèrent des spectres optiques spécifiques	Suffisante pour le tri	~ 6'000	Formation de fumées potentiellement dangereuses
Mécanique / automatisée	Spectrométrie de fluorescence X (portable)	Les rayons X absorbés sont réémis selon les raies spectrales	Très élevée	~30'000-50'000	Manipulation incorrecte de l'appareil
	Spectroscopie plasma induite par laser (portable)	Une impulsion laser enlève une partie du matériau de surface qui est analysé à l'aide d'une spectrométrie optique ou de masse	Très élevée	~35'000	
	Transmission de rayon X (en ligne)	Absorption du spectre de rayons X par les éléments, la pression d'air dirigée élimine les particules	Très élevée	~500'000	Aucun
	Évier-flotteur (peut également être manuel)	Le plastique contenant du Brome a une densité plus élevée	Moyenne	~10-100'000	

Tableau 6 – Méthodes d'identification et de séparation des plastiques RFB (Haarman and Gasser, 2016)

Dans le secteur informel – où les méthodes disponibles sont réduites – il est possible d'utiliser des tests simples qui peuvent être effectués manuellement.

Inspection visuelle / marquage ISO

Une méthode manuelle utile et rapide consiste à inspecter visuellement la présence de plastiques RFB. Il est possible d'identifier le type de plastique et le risque de POP à partir de ses marquages qui incluent la date de fabrication et le système de marquage ISO. Tous les plastiques contenant des retardateurs de flamme qui ont été ajoutés intentionnellement ou qui dépassent 1% en poids doivent inclure le code ignifuge, comme présenté dans le format ci-dessous (Haarman and Gasser, 2016) :

>PP-GF30-P(ELO)FR(52)<

La 1ère séquence (PP) indique le type de matériel – polymère

La 2nde séquence (GF30) indique la matière de remplissage

La 3ème séquence (P(ELO)) indique le plastifiant

La 4ème séquence (FR(52)) indique la présence de retardateurs de flammes

Les codes des retardateurs de flamme les plus couramment utilisés (codes ISO 1043) sont énumérés dans le tableau ci-dessous. Les retardateurs de flammes bromés sont indiqués en gras. Les codes pouvant contenir des POP-RFB qui ne sont pas courants dans les DEEE sont surlignés en orange et les codes qui peuvent contenir des POP-RFB restreint par la Directive européenne RoHS (Parlement européen, 2011) en rouge (Haarman and Gasser, 2016)

Type	Code	Description
Composés halogénés	14	Composés bromés aliphatiques/alicycliques
	15	Composés bromés aliphatiques/alicycliques en combinaison avec un composé d'antimoine
	16	Composés aromatiques bromés (à l'exclusion du diphényléther bromé et des biphényles)
	17	Composés aromatiques bromés (à l'exclusion du diphényléther bromé et des biphényles) en association avec un composé d'antimoine
	18	Éther diphénylique polybromé
	19	Éther diphénylique polybromé en combinaison avec un composé d'antimoine
	20	Biphényles polybromés
	21	Biphényles polybromés en combinaison avec un composé d'antimoine
	22	Composés chlorés et bromés aliphatiques/alicycliques
	25	Composés fluorés aliphatiques

Tableau 7 – Codes ISO 1043 pour les retardateurs de flamme couramment utilisés (ISO, 1988 ; Haarman and Gasser, 2016)

Les plastiques DEEE sont souvent non marqués, mal marqués ou ne présentent que des étiquettes incomplètes. Les informations obtenues à partir d'une balise ISO doivent donc être utilisées avec prudence (Bill et. Al, 2019).

Identification systématique du plastique grâce aux tests des propriétés physiques et tests évier-flotteur en eau douce et eau salée (Bill et. al, 2019)

Différents types de plastique ont des propriétés physiques différentes, en termes de :

- Réaction à des solvants spécifiques - tous les plastiques ne réagissent pas de la même manière aux solvants. Les tests du limonène et à l'acétone décrits ci-dessous sont basés sur des solvants disponibles dans le commerce et non dangereux qui peuvent être utilisés pour identifier certains types de plastique.
- Flexibilité/cassabilité.
- Dureté.
- Densité.
- Sonorité - les plastiques ont un son distinctif lorsqu'ils sont frappés. Les sons étant difficiles à décrire, il est préférable d'essayer par soi-même avec des plastiques de type connu. Ce type de test fonctionne mieux avec des pièces plus grandes (par exemple des boîtiers entiers).

Les laboratoires fédéraux suisses pour la science et la technologie des matériaux (Empa) ont développé une méthodologie pour identifier systématiquement les principaux types de plastique DEEE et détecter la présence de RFB (Haarman and Gasser, 2016) basée sur les tests des propriétés physiques et évier-flotteur. Cette méthodologie peut être utilisée pour identifier des pièces en plastique spécifiques et ainsi obtenir des informations sur le produit de départ et pour former les travailleurs du démantèlement et du tri à reconnaître et séparer les principaux types de plastique DEEE (Bill et. al, 2019).

Les explications suivantes, couplées à la figure ci-dessous donnent une vue d'ensemble de la méthodologie Empa.

Test du limonène ①

Le limonène est un solvant naturel présent principalement dans la peau de certaines plantes et fruits, notamment les citrons et les oranges. Seuls le PS et le HIPS réagissent avec le limonène. Lorsque quelques gouttes de limonène sont appliquées sur ces plastiques, ils se dissolvent lentement et deviennent collants après 2-3 secondes.

Test de rupture ②

Un simple test de rupture permet de distinguer certains plastiques. Le PS est rigide et se casse facilement. Le HIPS se plie et montrera des marques blanches à la rupture, mais il est difficile de le casser réellement.

Test à l'acétone ③

L'acétone est un autre solvant disponible dans le commerce. Il est moins sélectif que le limonène et réagit avec le PS, HIPS, ABS, ABS+PC et PC. Lorsque l'acétone est appliquée sur le PS, HIPS ou ABS, les plastiques se dissolvent et deviennent collants après 2-3 secondes. L'ABS/PC devient également collant, mais un dépôt blanc se forme en plus en raison de la présence de PC. Dans le cas du PC pur, seul le dépôt blanc se forme mais le plastique ne devient pas collant.

Les plastiques qui n'ont pas réagi avec le limonène (ABS, ABS/PC et PC) peuvent donc être distingués en fonction de leur réaction à l'acétone.

Test évier-flotteur en eau douce (1,0 kg/l) ④

Un test d'immersion/flottement en eau douce est appliqué sur les plastiques restants. La fraction flottante est constituée de plastiques légers (PP et PE). Les plastiques qui n'ont réagi à aucun des solvants et coulent dans l'eau douce ne font pas partie des principaux plastiques DEEE et ne sont pas identifiés avec cette méthode.

Test de rayure ⑤

Les plastiques PE et PP flottent dans l'eau douce. En général, les pièces flottantes sont en PP, car le PE n'est pas souvent présent dans les EEE. Pour s'en assurer, un test de rayure peut être utilisé. Le PE est plus doux et peut facilement être rayé avec un ongle.

Le PP est plus dur et est donc plus difficile à rayer.

Test évier-flotteur en eau salée ⑥

Les polymères ont des densités différentes, affectées également par la présence d'additifs RFB qui augmente la densité des plastiques. En utilisant cette caractéristique, il est possible de séparer les plastiques sans additifs ignifuges de ceux avec RFB. La séparation par densité évier-flotteur est une méthode peu coûteuse utilisant de l'eau et des sels solubles tels que le sel de table (NaCl) ou le chlorure de potassium (KCl). Une solution d'une densité de 1,1 kg/l peut être utilisée pour séparer l'ABS et le HIPS avec RFB qui couleront, de l'ABS et HIPS sans RFB qui flotteront.

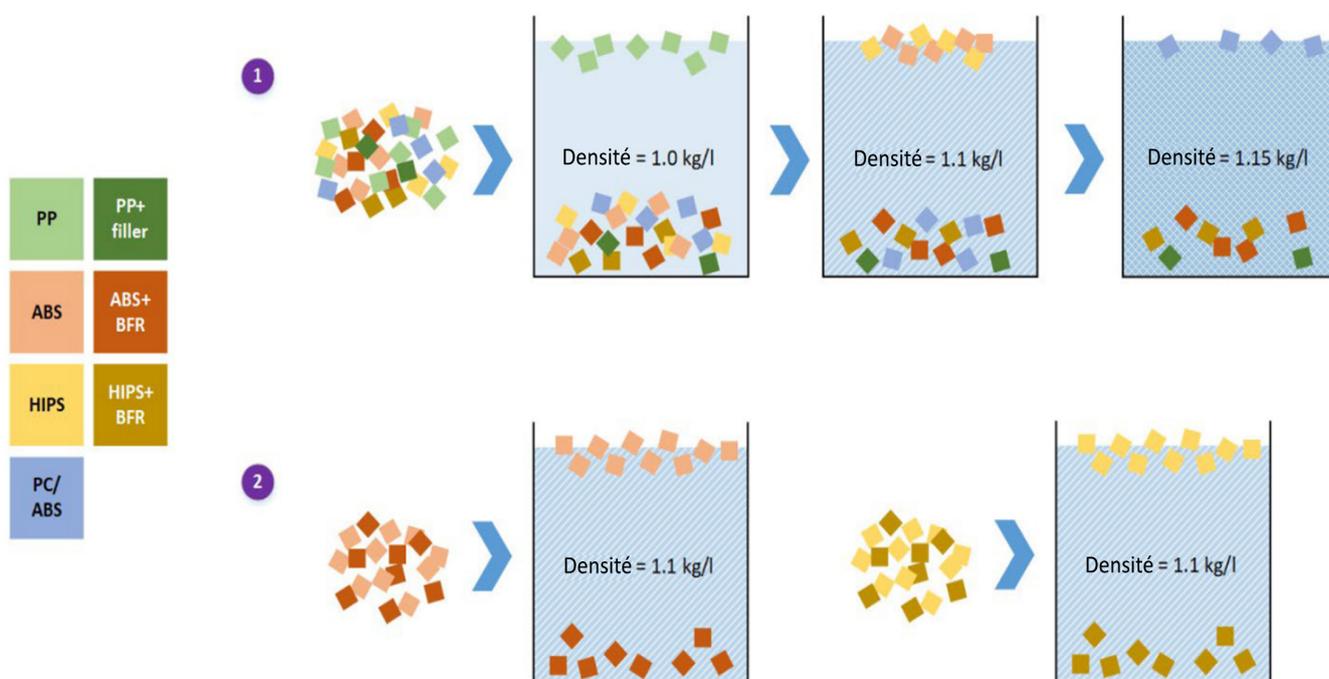


Figure 35 – Applications pratiques des tests évier/flotteur pour le tri des plastiques DEEE (Bill et. Al, 2019)

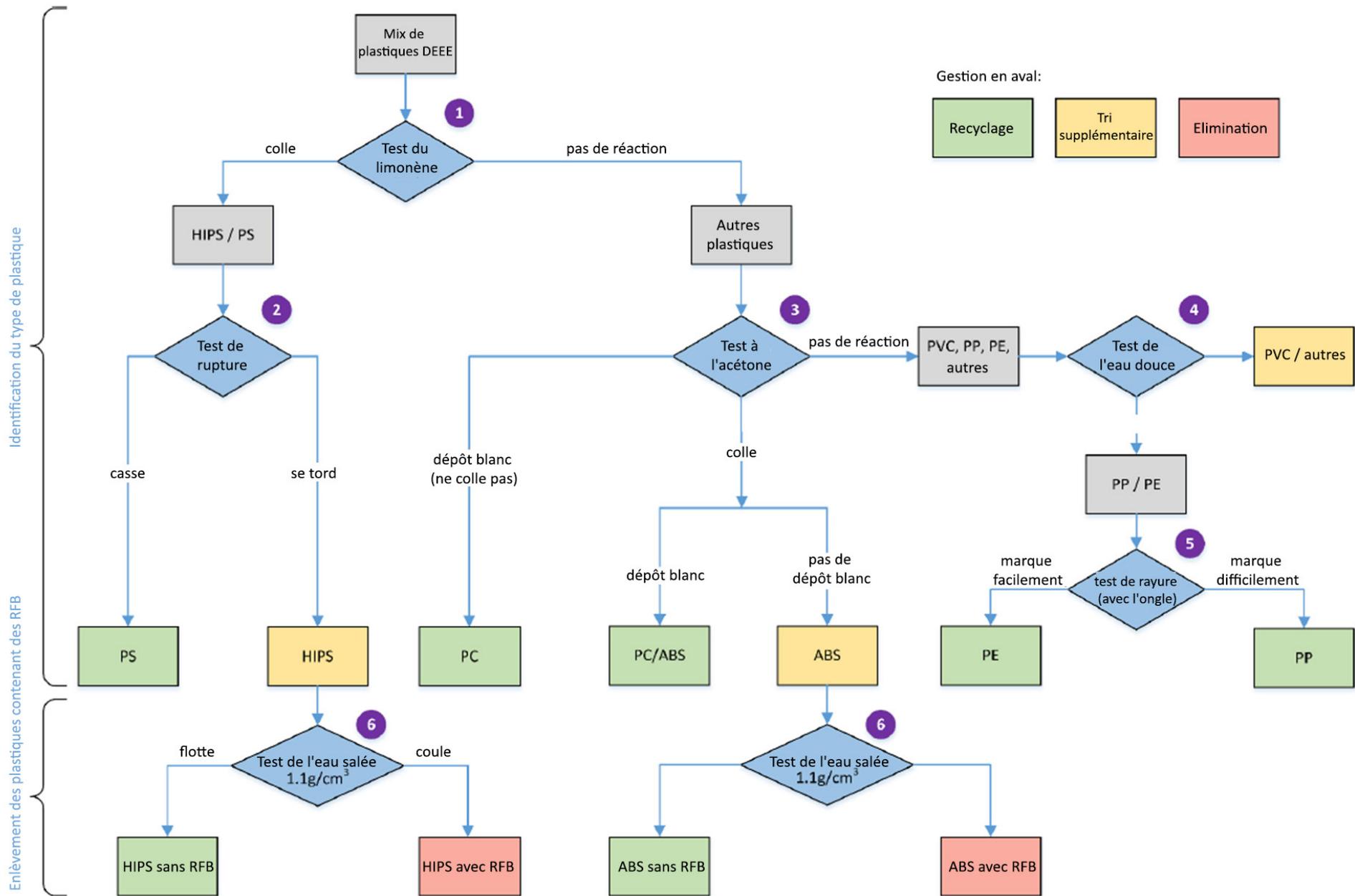


Figure 36 – Identification systématique des plastiques DEEE (Bill et. Al, 2019)

Approche conservatrice

En l'absence d'un processus de ségrégation solide, les plastiques DEEE qui ont une forte probabilité de contamination par les RFB/POP-PBDE, devraient être considérés comme contaminés et donc idéalement mis en décharge ou incinérés dans des conditions spéciales (voir section 5.5). En particulier, il est supposé que les articles antérieurs aux modèles de 2008, en particulier les téléviseurs CRT, contiendront des POP-BDE et nécessitent donc une élimination dans des installations autorisées.

Le tableau de décision ci-dessous aide à identifier les articles DEEE qui ont une forte probabilité de contamination par RFB/POP-PBDE, en fonction de leur date de fabrication.

Catégorie DEEE	Composant Plastique	Marquage visuel date de fabrication	Présence de RFB
TV-CRT	Rebord	Avant 2000	Possible
	Rebord	Après 2000	Oui
	Panneau arrière	Avant 2000	Oui
	Panneau arrière	Après 2000	Oui
Moniteur CRT	Panneau arrière	Tous	Oui
Photocopieuse	Varié	Après 2005	Oui
Imprimante/Scanner	Varié	Tous	Oui
Ordinateurs	Disques internes, ventilateurs	Tous	Oui
Câbles	Enveloppe	Tous	Possible

Tableau 8 – Tableau de décision pour l'identification des articles DEEE qui ont une forte probabilité de contamination par RFB/POP-PBDE (élaboration UNITAR à partir de Acil Allen Consulting, 2013)

Stockage des composants contenant des POP

Les fractions ou pièces/composants démontés contenant des POP doivent être stockées en prenant les mêmes précautions que les autres déchets dangereux. Cela comprend le stockage dans des conteneurs dédiés, étiquetés et scellés, idéalement placés dans des zones spéciales pour ne pas être mélangés et ne pas contaminer d'autres fractions. Les conteneurs doivent être stockés dans une zone sûre et à l'épreuve des intempéries.

Élimination des plastiques dangereux

L'élimination recommandée des plastiques contenant du RFB est l'incinération respectueuse des meilleures techniques disponibles. En Côte d'Ivoire, il n'existe pour le moment peu ou pas de solutions établies pour les déchets plastiques et les fractions qui ne peuvent pas être vendues (y compris les fractions de plastiques dangereux) finissent souvent par être jetées ou brûlées à l'air libre. Lorsque l'incinérateur ENVIPUR aura été mis à niveau, il pourra être utilisé pour l'élimination des fractions dangereuses des DEEE telles que les plastiques bromés.

Dans le cas où ces fractions ne peuvent être expédiées vers des installations de traitement et d'élimination autorisées à l'étranger dans le respect des procédures de la Convention de Bâle, les recycleurs doivent donc identifier la meilleure solution disponible dans leur contexte local (Bill et al. 2019).

Le graphique ci-dessous offre une vue d'ensemble des solutions pour les fractions plastiques dangereuses par rapport à leur viabilité environnementale. Cependant, il ne faut pas oublier que les impacts réels sur l'environnement et la santé humaine dépendent de nombreux facteurs et peuvent être très variables. De plus, avant de mettre en œuvre une solution spécifique, l'autorité environnementale locale doit être consultée afin de vérifier les lois et réglementations existantes concernant la solution choisie (Bill et al. 2019).

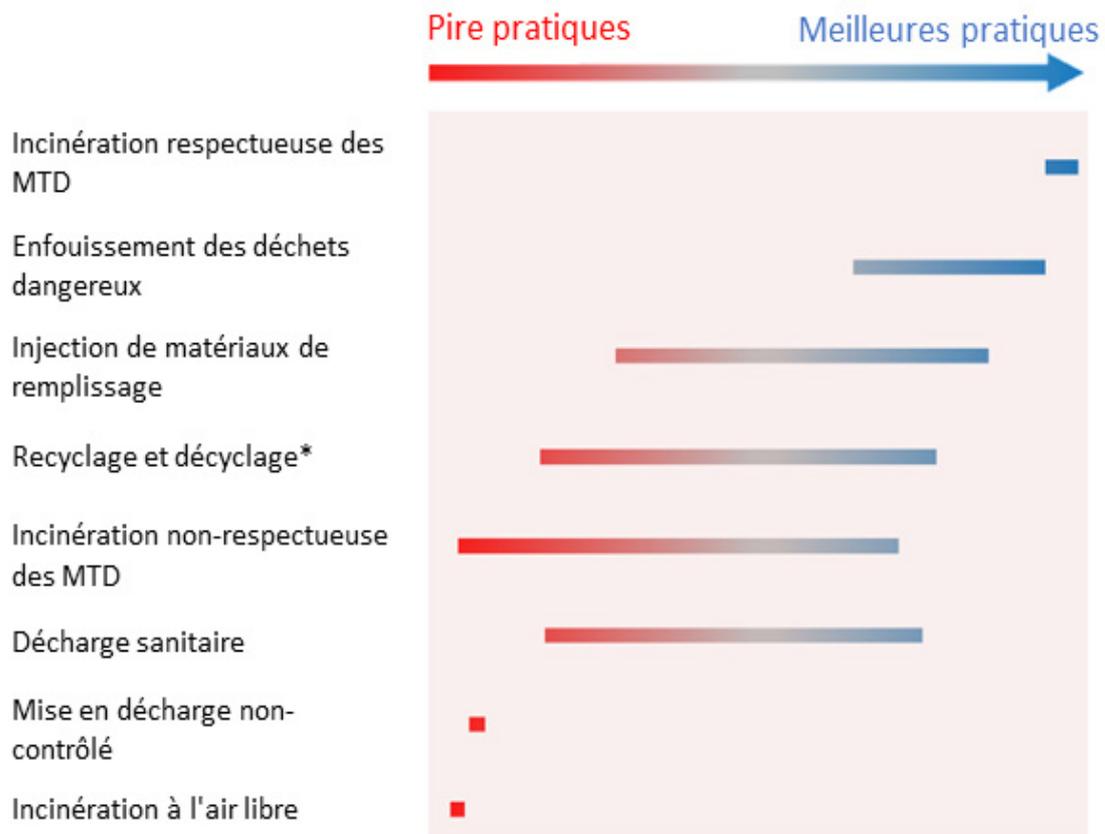


Figure 37 – Viabilité environnementale des solutions de gestion des fractions plastiques dangereuses (élaboration UNITAR à partir de : Bill et. al., 2019)²¹

21 (*) « Décyclage » de l'anglais « downcycling » est la transformation de fractions plastiques en un nouveau matériau de qualité ou "valeur" moindre.

Bibliographie

Acil Allen Consulting, 2013. Brominated flame retardant research: cost-benefit analysis of sorting options for e-waste plastics. Draft report to NZ Ministry for the environment. <https://www.mfe.govt.nz/sites/default/files/bfr-cost-benefit-anaylsis-final.pdf>.

Actu-Environnement, 2021. Déchet ultime. https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/dechet_ultime.php4.

ADEME, 2021. Économie circulaire. <https://www.ademe.fr/expertises/economie-circulaire>.

AMP, 2016. 3E-Manual, Computer desktop v.0.1. https://issuu.com/qampnet/docs/computer_desktop__front__back_

Appia, G., Bedi, G., 2020. Étude proposant une cartographie/un recensement des conditions de travail des femmes et des enfants impliqués dans le secteur des DEEE et VFV.

Baldé, C. P., Forti, V., Gray, V., Kuehr, R., Stegmann, P., 2017. The Global E-waste Monitor 2017: Quantities, Flows, and Resources. <http://collections.unu.edu/view/UNU:6341>.

Basel Convention/UNEP/EMPA, 2011. Projet DEEE Afrique du Secrétariat de la Convention de Bâle - Rapport technique d'étude de diagnostic sur la gestion des DEEE en Côte d'Ivoire. http://www.basel.int/Portals/4/Basel%20Convention/docs/eWaste/E-waste_Africa_Project_Cotelvoire.pdf.

Bench, n.d. Identification, Management, and Proper Disposal of PCB-Containing Electrical Equipment used in Mines. U.S. EPA. <https://www.epa.gov/sites/production/files/documents/pcbldgmt.pdf>

Bill, A., Gasser, M. Haarman, A., Böni, H., 2019. Processing of WEEE plastics. A practical handbook. Empa, Switzerland. <https://www.sustainable-recycling.org/wp-content/uploads/2019/12/Plastic-Handbook-Final.pdf>.

CAR/PP, 2004. Comment introduire dans les industries méditerranéennes : Les meilleures techniques disponibles (MTD), La meilleure pratique environnementale (MPE), Des technologies plus propres (TPP). <http://www.cprac.org/docs/BATfr.pdf>.

CENELEC et EERA, 2017. European Standards for Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE). <https://www.cencenelec.eu/news/publications/Publications/WEEE-brochure.pdf>.

Connecticut Department of Energy and Environmental Protection, 2021. Removal, Storage, and Disposal of PCB Small Capacitors. <https://portal.ct.gov/DEEP/PCB/Removal-Storage-and-Disposal-of-PCB-Small-Capacitors-Guide>.

Convention de Bâle, 1989. <http://www.basel.int/TheConvention/Overview/tabid/1271/Default.aspx>.

Convention de Rotterdam, 1998. <http://www.pic.int/LaConvention/Aper%C3%A7u/tabid/1747/language/fr-CH/Default.aspx>.

Convention de Stockholm, 2001. <http://chm.pops.int/TheConvention/Overview/tabid/3351/Default.aspx>.

Cui et Forssberg, 2007. Characterization of shredded television scrap and implications for materials recovery. *Waste Management* (27): 415-424. Disponible dans le document de formation LaWEEEda 2.9 FINAL TREATMENT – RECYCLING. <http://laweedaeprints.io1cus.co.uk/23/1/LaWEEEda-2.9%20Final%20Treatment%20-%20recycling.pdf>.

DEFRA, 2006. Guidance on Best Available Treatment Recovery and Recycling Techniques (BATRRRT) and treatment of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE). <https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20130403043343/http://archive.defra.gov.uk/environment/waste/producer/electrical/documents/weee-batrrt-guidance.pdf>.

Deubzer, O., 2007. Explorative Study into the Sustainable Use and Substitution of Soldering Metals in Electronics : Ecological and economical consequences of the ban of

lead in electronics and lessons to be learned for the future. <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:f9a776cf-57c3-4815-a989-fe89ed59046e?collection=research>.

Dictionnaire Environnement, 2010. Matière Première Secondaire (MPS) la définition du dico. https://www.dictionnaire-environnement.com/matiere_premiere_secondaire_mps_ID1073.html.

Ecologic France, 2021. Que contiennent les Déchets d'Équipements Electriques et Electroniques (DEEE) ? <https://www.ecologic-france.com/citoyens/que-contiennent-les-deee.html>.

EPA, 2017. Technical Fact Sheet – Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) November 2017. https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-03/documents/ffrrofactsheet_contaminant_perchlorate_january2014_final_0.pdf.

Forti, V., Baldé, C. P., Kuehr, R., Bel, G., 2020. Suivi des déchets d'équipements électriques et électroniques à l'échelle mondiale pour 2020 : Quantités, flux et possibilités offertes par l'économie circulaire. <https://collections.unu.edu/view/UNU:7819>.

GEF, 2018. GEF6 CEO Endorsement / Approval Template – August 29, 2018. https://open.unido.org/api/documents/17392757/download/GEF6_CEO_Endorsement_Cote_d_Ivoire%20Final%20sd%20190528.pdf.

GIZ, 2019. E-Waste Training Manual. <https://www.giz.de/en/downloads/giz2019-e-waste-management.pdf>.

Goodship, V., Stevels, A., Huisman, J. (2019). Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) Handbook. Second Edition. Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials.

Gregory, J., Magalini, F., Kuehr, R., Huisman, J. (2009). E-waste Take-back System Design and Policy Approaches. Solving the e-Waste Problem (StEP) (White Paper). https://www.step-initiative.org/files/_documents/whitepapers/StEP_TF1_WPTake-BackSystems.pdf.

Haarman, A., Gasser, M., 2016. Managing hazardous additives in WEEE plastic from the Indian informal sector A study on applicable identification & separation methods. https://www.sustainable-recycling.org/wp-content/uploads/2016/07/Haarman_2016_SRI-India.pdf.

InCompliance, 2019. Hazardous substance restrictions... and why they are restricted. <https://incompliancemag.com/article/hazardous-substance-restrictions-and-why-they-are-restricted/>.

ILO, 2019. Le travail décent dans la gestion des déchets électriques et électroniques. Document d'orientation – Forum de dialogue mondial sur le travail décent dans la gestion des déchets électriques et électroniques (Genève, 9-11 avril 2019). GDFEEW/2019. https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_dialogue/---sector/documents/publication/wcms_673664.pdf

INRS, 2021. Déchets d'équipements électriques et électroniques - Démanteler et recycler les DEEE sans risque. <https://www.inrs.fr/metiers/environnement/collecte-tri-traitement/deee.html#:~:text=Principaux%20risques%20professionnels&text=Activit%C3%A9%20physique%20%3A%20TMS%2C%20lombalgies%20dus,appareils%20m%C3%A9nagers%2C%20par%20exemple>).

ISO, 2015. ISO 14001:2015. Systèmes de management environnemental — Exigences et lignes directrices pour son utilisation. <https://www.iso.org/fr/standard/60857.html>.

ISO, 1998. ISO 1043-4: Plastics – Symbols and abbreviated terms – Part 4: Flame retardants.

ISO IWA, 2017. ISO IWA 19:2017. Guidance Principles for the Sustainable Management of Secondary Metals. <https://www.iso.org/standard/69354.html>.

Jiang, Y., Yuan, L., Lin, Q., Ma, S., Yu, Y., (2019). ISO, 1998. ISO 1043-4: Plastics – Symbols and abbreviated terms – Part 4: Flame retardants. Polybrominated diphenyl ethers in the environment and human external and internal exposure in China: A review. Science of The Total Environment Volume 696, 15 December 2019, 133902. <https://www>.

sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969719338525.

Karcher, S. Y., Valdivia, S., Schluep, M., 2018. From Worst to Good Practices in Secondary Metals Recovery. Factsheets. <https://www.sustainable-recycling.org/wp-content/uploads/2018/07/worst-practices-web-25.718.pdf>.

Kouassi, A. M., Bedi, G., 2020. Étude diagnostique de la gestion des déchets électriques et électroniques, des véhicules en fin de vie et de leurs polymères en Côte d'Ivoire.

Landrigan P, Goldman LR. 2011. "Children's vulnerability to toxic chemicals: a challenge and opportunity to strengthen health and environmental policy". *Health Aff (Millwood)*. 30(5):842-50. doi: 10.1377/hlthaff.2011.0151.

Li, Y., Li, J., and Wang, L., 2013. "Recycling of PBDEs Containing Plastics from Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE): A Review". *IEEE 10th International Conference on e-Business Engineering*, Coventry, UK, 2013, pp. 407-412. doi: 10.1109/ICE-BE.2013.62. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6686295>.

McPherson A, Thorpe B, and Blake A., 2004. Brominated Flame Retardants in Dust on Computers: The Case for Safer Chemicals and Better Computer Design. <https://www.cleanproduction.org/resources/entry/brominated-flame-retardants-in-dust-on-computers>.

Ministère de la Salubrité, de l'Environnement et du Développement Durable, 2016. République de Côte d'Ivoire. Plan National de Mise en oeuvre de la Convention de Stockholm sur les Polluants Organiques Persistants, PNM version actualisée 2016. <http://chm.pops.int/Portals/0/download.aspx?d=UNEP-POPS-NIP-CotedIvoire-COP7.French.pdf>.

Mmereki, D., Li, B., Baldwin, A., Hong, L., 2015. The Generation, Composition, Collection, Treatment and Disposal System, and Impact of E-Waste. <https://www.intechopen.com/books/e-waste-in-transition-from-pollution-to-resource/the-generation-composition-collection-treatment-and-disposal-system-and-impact-of-e-waste>.

O’Driscoll, K., Robinson, J., Chiang, WS. et al., 2016. The environmental fate of poly-brominated diphenyl ethers (PBDEs) in western Taiwan and coastal waters: evaluation with a fugacity-based model. *Environ Sci Pollut Res* 23, 13222–13234 (2016). <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6428-4>.

OECD, 2007. Manuel d’application pour la mise en œuvre de la Recommandation de l’OCDE C(2004)100 sur la gestion écologique des déchets (GED). <https://www.oecd.org/fr/env/dechets/44593319.pdf>.

Parlement européen, 2012. Directive 2012/19/UE du Parlement européen et du Conseil du 4 juillet 2012 relative aux déchets d’équipements électriques et électroniques (DEEE) Texte présentant de l’intérêt pour l’EEE. OJ L 197, 24.7.2012, p. 38–71. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=celex%3A32012L0019>.

Parlement européen, 2011. Directive 2011/65/UE du Parlement Européen et du Conseil du 8 juin 2011 relative à la limitation de l’utilisation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=celex%3A32011L0065>.

PNUE/PAM, 2004. Lignes directrices pour l’application des meilleures techniques disponibles (MTD), des meilleures pratiques environnementales (MPE) et des technologies plus propres (TPP) dans l’industrie des pays méditerranéens. <https://wedocs.unep.org/rest/bitstreams/1428/retrieve>.

Pronczuk de Garbino J. 2004. “Children’s health and the environment: a global perspective. A resource manual for the health sector”. In: Pronczuk de Garbino J, ed. New York: World Health Organization.

Recycler Information Center, n.d. <https://ric.werecycle.eu/>.

Safaei, A., Symeonidis, A., Valdivia, S., Ottiger, F. , 2018. Life Cycle Assessments of Selected Worst Practices in Secondary Metals Recovery and Recommendations to Move Towards Good Practices. https://www.sustainable-recycling.org/wp-content/uploads/2018/09/LCI-Worst-Practices_180831_.pdf.

Schluep, M., Spitzbart, M., Blaser, F., 2015. Dismantling Guide for IT – Equipment. <https://www.sustainable-recycling.org/reports/dismantling-guide-for-it-equipment/>.

Secrétariat de la Convention de Stockholm, 2008. Directives sur les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales en liaison avec l'article 5 et l'annexe C de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants. http://chm.pops.int/Portals/0/Repository/batbep_guideline08/UNEP-POPS-BAT-BEP-GUIDE-08-1.French.PDF.

SENS, Swico, SLRS, 2020. Rapport technique 2020. <https://indd.adobe.com/view/700ef416-e2db-4c66-84b3-088bb2acd179>.

Sofies, 2019. Study on the Impacts of Brominated Flame Retardants on the Recycling of WEEE plastics in Europe. <https://www.bsef.com/wp-content/uploads/2020/11/Study-on-the-impact-of-Brominated-Flame-Retardants-BFRs-on-WEEE-plastics-recycling-by-Sofies-Nov-2020.pdf>.

Step Initiative, 2014. One Global Definition of E-waste. White Paper. https://www.step-initiative.org/files/_documents/whitepapers/StEP_WP_One%20Global%20Definition%20of%20E-waste_20140603_amended.pdf.

Swico Technical reports. <https://www.swico.ch/en/recycling/basics/technical-report-publications/#technical-report-2020>

UK Environment Agency, 2016. Standard rules SR2015 No15 Waste electrical and electronic equipment authorised treatment facility (ATF) excluding ozone-depleting substances. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/967221/SR2015-No-15-75kte-WEEE-authorised-treatment-facility-excluding-ozone-depleting-substances.pdf.

UNEP, 2021. About Montreal Protocol. <https://www.unep.org/ozonaction/who-we-are/about-montreal-protocol>.

UNEP, 2017. Compendium Of Technologies For The Recovery Materials From WEEE

/ E-Waste. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/31535/WEEE_E-waste.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

UNEP, 2015. Technical guidelines on transboundary movements of electrical and electronic waste and used electrical and electronic equipment, in particular regarding the distinction between waste and non-waste under the Basel Convention. UNEP/CHW.12/5/Add.1/Rev.1. <http://www.basel.int/Portals/4/download.aspx?d=UNEP-CHW.12-5-Add.1-Rev.1.English.pdf>.

UNEP, 2012. Texte du Protocole Additionnel à la Convention d'Abidjan relatif à la coopération en matière de protection et de mise en valeur du milieu marin et côtier de la région de l'Afrique Occidentale, Centrale et Australe contre la pollution due aux sources et activités terrestres. Adopté le 22 juin 2012 à Grand-Bassam (Côte d'Ivoire). [http://abidjanconvention.org/themes/critai/documents/meetings/plenipotentiaries/working_documents/fr/Protocole%20LBSA%20\(22%20juin%202012\).pdf](http://abidjanconvention.org/themes/critai/documents/meetings/plenipotentiaries/working_documents/fr/Protocole%20LBSA%20(22%20juin%202012).pdf).

UNEP et Convention de Stockholm Convention, 2017. Guidance on best available techniques and best environmental practices for the recycling and disposal of articles containing polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) listed under the Stockholm Convention, updated January 2017. <http://chm.pops.int/Implementation/NIPs/Guidance/GuidanceonBATBEPfortherecyclingofPBDEs/tabid/3172/Default.aspx>.

UNEP et Stockholm Convention, 2013. Outil pour l'identification et la quantification des rejets de dioxines, furanes et autres POP non intentionnels En vertu de l'Article 5 de la Convention de Stockholm. Janvier 2013. <http://chm.pops.int/Portals/0/download.aspx?d=UNEP-POPS-TOOLKIT-TOOLK-PCDD-PCDF-2012.Fr.pdf> p.18.

UNEP et Convention de Stockholm, 2012. Directives sur les meilleures techniques disponibles et les meilleures pratiques environnementales pour le recyclage et l'élimination des articles contenant des polybromodiphényléthers (PBDE) inscrits sur la liste de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques. <http://chm.pops.int/Implementation/NIPs/Guidance/GuidanceonBATBEPfortherecyclingofPBDEs/tabid/3172/Default.aspx>.

UNEP, 2006. Report of the Persistent Organic Pollutants Review Committee on the work of its second meeting Addendum. Risk profile on commercial pentabromodiphenyl ether. UNEP/POPS/POPRC.2/17/Add.1. <http://chm.pops.int/default.aspx?tabid=2301>.

Wang, F., 2014. E-waste: collect more, treat better - Tracking take-back system performance for eco-efficient electronics recycling, TU Delft.

Wu, Z., He, C., Han, W., Song, J., Li, H., Zhang, Y., Jing, X., Wu, W., 2020. Exposure pathways, levels and toxicity of polybrominated diphenyl ethers in humans: A review. *Environmental Research* Volume 187, August 2020, 109531. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935120304242>.

Zadi, D. R., 2020. Évaluation des capacités institutionnelles pour réduire les émissions des POPNI et des PBDE du secteur des déchets d'équipements électriques et électroniques et des véhicules en fin de vie.

Zakarya, D., Touré, S., 2018. Rapport de mission. PROJET GESTION DES uPOP.

Annexes

Les Annexes 1 et 2 fournissent des indications sur les niveaux de concentration potentiels de PBDE dans différents types de DEEE, en Côte d'Ivoire et au niveau international, ce qui peut être utile aux recycleurs afin de déterminer les DEEE les plus à risque de contenir des PBDE.

Annexe 1. Inventaire préliminaire des POP-PBDE dans les DEEE en Côte d'Ivoire

En se basant sur les estimations du pourcentage d'article contaminé par les PBDE et les concentrations de déca-PNDE dans les plastiques, ainsi que sur les estimations des volumes d'EEE d'occasion importés pour les articles des catégories 3 et 4, les quantités de Octa-BDE commercial et de POP-BDE contenues dans ces EEE sur les périodes 2009-2015 et au cours de l'année d'inventaire (2016) ont été déterminées et présentées dans le tableau ci-dessous (Kouassi, 2020).

Equipements	Quantité d'EEE d'occasion 2009 – 2015 (Tonnes)	Quantité d'EEE d'occasion 2016 (Tonnes)	Fraction totale de polymère	Teneur en c-OctaBDE (kg de octa/Tonne d'EEE)	Quantité de POP-PBDE 2009 – 2015 (Kg)	Quantité de POP-PBDE 2016 (Kg)
CRT Ordinateurs (Kg)	460,12	302,73	30%	2,54	350,61	230,68
CRT Téléviseurs (Kg)	311,35	21,80	30%	0,87	81,26	5,69
Equipements de la catégorie 3 (Kg)	18 322,17	3 894,05	42%	0,225	1 731,45	367,99
Equipements de la catégorie 4 (Kg)	22 549,11	4 122,99	24%	0,15	811,77	148,43
TOTAL POP-PBDE (Kg) :					2 975,09	752,79

Tableau 9 – Quantité de POP-PBDE dans les équipements d'occasion importés sur la période 2009-2015 et 2016 (Source : Kouassi, 2020)²²

²² Equipement de catégorie 3 = matériel informatique et de télécommunication / Equipement de catégorie 4 = équipement grand public.

Annexe 2. Concentration des POP-PBDE dans divers plastiques DEEE

Les polymères DEEE sont les principaux flux de matières potentiels contenant des POP-PBDE. La teneur et la composition des PBDE dans les plastiques DEEE varient considérablement selon le type de plastique, les composants, les périodes de fabrication et la durée de vie des DEEE. Le tableau ci-dessous résume les types et concentrations de PBDE dans divers plastiques DEEE collectés dans les usines de recyclage et de traitement des DEEE dans le monde (Li, 2013).

Sources	Description de l'échantillon	PBDE	Concentration
Installation de traitement DEEE en Suisse	Boîtiers d'écrans d'ordinateur	BDE-183, -196, -198, -201, 202, 203, 204	75 mg/kg
		BDE-209	40 mg/kg
	Boîtiers de téléviseurs	BDE-47, -99, -100	1.0 µg/kg
		BDE-183, -196, -197, -198, -201, -202, -203, 204	900 mg/kg
	BDE-209	100 mg/kg	
Usine de recyclage des déchets électroniques au Canada	Etuis rigides et boîtiers d'ordinateurs (60% en poids), les imprimantes (30% en poids) et les claviers / souris (10% en poids)	BDE-47, -99, -100, -153, -154, -183, -207, 209	9.68-1.24x10 ⁷ µg/kg
Usine de démantèlement DEEE en Chine	Chutes de circuits imprimés grossièrement coupées	P5BDE, H6BDE	17285 mg/kg
	Boîtiers d'ordinateur (ABS)	H7BDE, O8BDE, N9BDE	3060 mg/kg
	Boîtiers TV (HIPS)	H7BDE, O8BDE, N9BDE	1943.3 mg/kg
Usine de recyclage de DEEE moderne et ultramoderne en Suisse	Pièces en plastique de petits DEEE, y compris les petits appareils électroménagers, les appareils de bureau et de communication, l'électronique de divertissement, les disques compacts portables et les EEE de petite taille	Penta-BDE commercial (Bromkal 70-5 DE)	125 mg/kg
		Octa-BDE commercial (Great Lakes Chemicals DE-79)	2 g/kg
		BDE-209	1.8 g/kg
Grandes installations de recyclage de DEEE et petits ateliers de démantèlement en Chine	Cartes de circuits imprimés (composées de 30% d'ordinateur, 50% de téléviseur et 20% d'instrument)	BDE-47, -99, -100, -183, -209	2679-3045 mg/kg
Usines européennes de traitement DEEE	Fractions riches en polymères générées pendant les processus de récupération des métaux	Octa-BDE technique and BDE-209	800-7400 mg/kg
Allemagne	Plastiques des DEEE grand public, commerciaux et industriels		100-20000 mg/kg
Japon	Cache de téléviseurs	Mono à Deca-BDE	35711-90883 mg/kg

Tableau 10 – Concentration de PBDE dans divers plastiques DEEE (Li, 2013, p.409)



ORGANISATION DES NATIONS UNIES
POUR LE DÉVELOPPEMENT INDUSTRIEL

